

VII CONGRESO CUBANO DE GEOLOGÍA
(GEOLOGÍA'2007)



EVALUACIÓN GEOMORFOLOGICA COMPLEJA PARA LA CARACTERIZACIÓN TECTONICA DE LA DENOMINADA FALLA SAN ANDRÉS EN LA PROVINCIA DE PINAR DEL RIO

Autores: Ramón Cruz Toledo¹, Jorge Sanchez Arango¹, Roberto Otero Marrero¹, Julio Ernesto Gómez Herrera¹, Carlos Sosa Meizoso¹, Carlos Fariñas Hernández¹, Yusneuris Pérez Martínez¹, Lorenza Mejías¹, Osvaldo Rodríguez Moran.¹

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo: Washington # 169, Esq. a Churruca, Cerro, Ciudad de La Habana, Cuba; e-mail: cruzt@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

La geomorfología aplicada de conjunto con la gravimetría, el procesamiento de imágenes y trabajos de campo, aportaron resultados muy alentadores para la comprobación y precisión de la ubicación espacial de la llamada falla que identificamos como San Andrés - San Diego. Estos resultados se resumen en: sistemas alineados del drenaje, un origen tectónico de desgarre según la expresión de las morfoestructuras y el crecimiento del cuarzo en la dirección del movimiento de la referida falla (310 grados). Estas informaciones han sido obtenidas de imágenes satelitales publicadas por Google 2005 y del Museo Virtual obtenido de un sitio especializado de Internet. La expresión de tectónica de desgarre observada en las imágenes y fotos se confirman con los sistemas de drenaje y los frentes de cabalgamiento de las zonas compresivas mapeadas en los trabajos geológicos. La existencia de la falla ha sido apoyada por un estudio de los esfuerzos de Riedel que confirman el carácter sinistral para la Falla Pinar y dextral para la Falla San Andrés – San Diego.

ABSTRACT

The applied geomorphology in connection with the gravimetric map, image processing and fieldworks, contributed to obtain very encouraging results for the confirmation and precision of the spatial location of the fault that we named San Andreas – San Diego Fault. These results are expressed in: the aligned drainage systems, the existence of the strike-slip faults and the growth of quartz in direction of the movement of the mentioned fault (310 degrees). These informations have been obtained from satellite images published by Google 2005 and also from the Virtual Museum of a specialized web site in internet. Tear-faults are observed on the images and pictures which are confirmed with the drainage systems and the thrust faults mapped during the geologic field-works. The existence of the fault has been supported by a study of the Riedel's efforts which confirm the sinistral character of the Pinar Fault and the dextral character for the San Andres-San Diego Fault.

INTRODUCCIÓN

A partir del año 1975 se desarrollan la geomorfología y sus métodos como especialidad en la actividad petrolera.

Desde 1988 hasta 1995 se alcanza por los especialistas del antiguo centro CIDP un alto grado de integración de la geomorfología con otros métodos en el propio camino de la exploración.

En ésta última década (95 - 2005) se ha aplicado Ceinpet la metodología de la Geomorfología a todos los bloques del territorio nacional (Ramon Cruz Toledo. y otros, 1995) donde se identifican las estructuras conjugadas que expresan las posibles trampas, las posibles vías de migración, las posibles zonas levantadas desde el punto de vista geomorfológico y que han tenido plena coincidencia con los métodos geofísicos.



Es desde el 2004 que se plantea bajo la dirección de Dr. Jorge Sánchez realizar trabajos especiales para el proyecto 2724 dirigidos a la geomorfología aplicada hacia la zona marina en el estudio de la zona exclusiva del Golfo de México, con esta estrategia se han realizado dos trabajos anteriores, que han aportados resultados muy novedosos a las investigaciones geomorfológicas aplicadas en Cuba y a nivel internacional.

Estos trabajos titulados: Geomorfología Marina utilizando la Batimetría y Evaluación Geomorfológico compleja para la caracterización tectónica de la denominada falla de San Andrés en la zona de articulación Sierra de los Órganos – Sierra del Rosario en la provincia de Pinar del Río, Ramón Cruz y otros 2004 y 2005 respectivamente se encuentran en el Archivo del Ceinpet **Ver Fig. 1 Imágen Lansat. Área de estudio**

MATERIALES Y MÉTODOS

Uno de los logros de este trabajo resulta precisamente la utilización de un breve volumen de materiales que a pesar de su fácil adquisición en la actualidad resultan de gran utilidad al ser manejados con una óptica diferente y en algunos casos se han utilizados técnicas nuevas aplicadas en el Ceinpet.

Mediante el uso de imágenes de reciente disposición tales como las de Google Earth estas han sido usadas por el método de observación fundamentalmente en áreas costeras donde se hace visible la morfología y relieve del fondo marino en zonas relativamente cercanas a la costa, utilizando de conjunto los lineamientos del drenaje, el procesamiento de imágenes, la gravimetría y para corroborar la existencia de la falla de referencia, un trabajo de campo y un análisis de Riedel.

Los materiales usados fueron:

Cartografía digital 1:100 000 ICGC año 2005 Imágenes Landsat 7 ETM + con tres bandas, Mapa de Anomalías de Bouguer escala 1: 100 000, Imágenes Google

RESULTADOS

Los resultados han sido muy alentadores sobre la base de la aplicación de estos métodos combinados en el análisis de la tectónica con la vinculación de trabajos de campo. Las investigaciones realizadas sobre informaciones obtenidas de imágenes satelitales publicadas por Google 2005 y del Museo virtual originadas de un sitio especializado de Internet confirman su ubicación espacial y extensión desde el mar hasta la Falla Pinar, donde se pudo sustentar las características morfoestructurales a través de estas imágenes satelitales, las características geológicas, los sistemas de drenaje y resultados de las observaciones cinemáticas en el campo para avalar el origen tectónico (desgarre) y el crecimiento del cuarzo en la dirección del movimiento. Esto último resultó una nueva evidencia para su confirmación.

Esta falla tiene una expresión muy bien definida en los mapas de disección vertical, pendientes y los resultantes de los filtros direccionales de mejoramiento de imágenes como son los análisis de sombra (shadow) donde se tipifican altos valores de las propiedades que identifican una falla.

Se aportaron nuevas evidencias para la existencia de la Falla San Andrés - San Diego, según el análisis del patrón de Riedel donde esta se constituye en la componente de esfuerzos "X" antitético muestra como este análisis teórico justifica la existencia de una Falla que divide la zona de articulación Sierra de los Órganos y Rosario la cual nombraremos San Andrés - San Diego donde por los resultados geofísicos en esta zona de articulación al norte de la Falla pinar, se observa una distorsión o torcedura del campo gravimétrico, correlacionable en dirección sureste- noroeste, que



sugiere la posible presencia de una falla de cizalla que pudiera estar asociada a la posible Falla San Andrés.

Se logra además incluir un aspecto petrolero a través de nuestras experiencias en la aplicación de la geomorfología que: Con la precisión de las dos estructuras tectónicas más importantes del relieve pinareño se puede inferir según la metodología aplicada que ambas pueden estar relacionadas con vías de migración y entrapamiento en probables sistemas petroleros en el área incluidos los del Golfo de México, en algunos de los cuales existen conocidas manifestaciones tanto a lo largo de toda la falla Pinar como en ambos lados de la falla San Andrés en las Localidades de Caimito, Burén y en el pozo Caribe 1.

DISCUSIÓN

El paisaje geomorfológico que se observa a través del sistema de montaña tiene una relación de sistema de manto de cabalgamiento de rocas del margen continental (Cobiella J. L. 2002) y del arco volcánico con las diferencias en la competencia mecánica de las rocas a la meteorización.

Desde el punto de vista geomorfológico el alineamiento que divide la zona norte accidentada de la llanura de la cuenca de los Palacios denominado Falla Pinar, es la responsable y generadora principal del relieve en la región desde Guanahacabibes hasta el Mariel con un desplazamiento sinistral que se identifica por la morfología de la costa, la geología de superficie y el gradiente batimétrico.

Esta dirección SW – NE es una dirección reiterada a lo largo de todo el territorio cubano La otra dirección fundamental es el alineamiento relacionado con la denominada Falla de San Andrés o La Palma según otros autores, el cual no solo divide el sistema montañoso Guaniguanico sino que por su carácter transcurrente dextral (argumentado con la batimetría cercana a la costa y la morfología de ésta) desplaza a ambas unidades tectono - estratigráficas Órganos y Rosario deformando a las mismas a lo largo y en la zona cercana del sistema de falla lo cual se observa con claridad en el mapa geológico de Pinar del Río, Ver frentes de cabalgamientos por geología **Fig. 1**

De norte a sur y camino hacia falla Pinar, se aprecian estas regularidades en el afluente del Río Guacamaya, Río Rico y Río Puerco, donde sus aguas drenan hacia la costa norte, en dirección NW similar a la dirección de la falla San Andrés. **Fig. 2**

La observación del Río San Diego esencialmente en su porción central, a la altura de la traza de la falla San Andrés, muestra una señalada desviación de su cauce hacia el sur extendiéndose un buen tramo en esta dirección y demostrando de esta manera el carácter dextral de esta falla lo cual es también corroborado mediante la observación la morfología de la costa en su salida por el norte. Mas hacia el sur el propio Río San Diego al cruzar la traza de la falla Pinar sufre una desviación evidente hacia la derecha es decir al este, lo cual argumenta el carácter sinistral de la falla Pinar, detalle este también observado en otras locaciones a lo largo de toda esta falla, donde se han tomado en consideración otros arroyos y afluentes de la red de drenaje del área.

En un análisis de los sistemas de esfuerzos que generaron Falla Pinar de tipo sinistral y aplicándole el Patrón de Riedel se obtienen diversas direcciones de fractura que mantienen relaciones dinámicas y cinemáticas entre si. **Fig. 6**

Considerando los elementos mencionados se puede establecer la relación existente entre los sistemas X complementarios a R1 (Rosselló E. A. 2001.) y el sistema de fallas denominado San Andrés el cual se desarrolla con una componente dextral de forma antitética a la falla Pinar.



A partir de la teoría de los sistemas de Riedel, en un estudio similar usando el drenaje de la zona, se observa con un sentido casi igual a lo visto para los alineamientos descritos, es decir que se corroboran las direcciones fundamentales de los sistemas de fallas vistos a partir del mismo esfuerzo principal en la dirección SW – NE

Resumiendo en la orientación según los valores de los ángulos que se generan en la descomposición del sistema Riedel, concluimos con: Azimut 310, rumbo N52W (para la falla de San Andrés), Azimut 332, rumbo N28W (para R1), Azimut 38, rumbo N 38 E (para R), Azimut 50, rumbo N50E (para La Falla Pinar)

Cáceres D. et al .2003 hace referencia a tres posibles variantes para la ocurrencia de la Falla de San Andrés y nuestro análisis coincide con la tercera de éstas que refiere a una falla transcurrente sincrónica con la falla Pinar originada como fractura de Riedel. La continuación del trabajo, posibilitó la documentación de otros afloramientos que resultaron interesantes para demostrar la existencia de la falla analizada, como es, el afloramiento existente en la Loma de Abilio al norte de San Diego de los Baños donde aparecen areniscas cuarcíferas de estratificación media y gruesa, con abundantes fracturas rellenas de cuarzo e intercalaciones de lutitas, todas ellas pertenecientes a la Fm. San Cayetano, en el que pudo documentarse un plano de falla, destacándose en el mismo, numerosas fracturas rellenas de cuarzo y una parte de estas vetas o vetillas de cuarzo, paralelas al plano de la falla, donde se muestra crecimiento de cuarzo y estrías que indicaban un movimiento transcurrente, con azimut de buzamiento de 220°/55° y estrías en la dirección 310°/20° de inclinación., tomadas por Ramón Cruz ,Nov 2005.

El trazo determinado a partir de los elementos geólogo geomorfológicos de la falla Pinar que se desplaza a través de zonas de embalses de agua, alineamientos del drenaje, desplazamientos del drenaje en dirección sinistral, características topográficas y geomorfología de la costa desde su salida al sur y al norte. Cruz Toledo R, et al, 2001 y Echevarría Rodríguez Gustavo, et al, 2001.

Esta falla limita al sur las rocas del Cretácico Superior y las del Jurásico de la Formación San Cayetano al norte. Su trazo se ubica desde el Cabo Francés en la bahía de Cortés al sur, continuando hacia las alturas pizarrosas del sur, con alturas de mas de 400 m (Sierra de Los Órganos), continuando hacia el sur de la Sierra del Rosario, con alturas límites de 655 metros. Sale al mar por la costa occidental de La Habana, después de pasar al sur de las alturas del Mariel, con valores de 275 m sobre el n/m.

Desde el punto de vista geomorfológico la falla de San Andrés está en contacto con la Formación San Cayetano en Órganos y con la Formación Artemisa en Rosario y su trazo coincide además con embalses de agua.

Un índice positivo es que a través de la zona de falla San Andrés se presentan manifestaciones de petróleo y de agua sulfurosa, igualmente desde el encuentro de esta con la falla Pinar aparecen otras manifestaciones de petróleo coincidiendo aproximadamente con el cambio del contexto geológico en general presentado en este trabajo.

Desde el Eoceno Medio hasta la actualidad los procesos de estructuración del paisaje geológico en Cuba fueron fundamentalmente la transcurrencia y extensión los cuales llegan a definir con claridad los accidentes tectónicos como la Falla Pinar y la Falla de San Andrés aunque esta última no ha sido evidenciada con la misma seguridad.

En este trabajo se brindan nuevas evidencias geodinámicas sobre su posible existencia y origen tectónico de la misma.



Los resultados obtenidos mediante las modelaciones realizadas a las imágenes Landsat, a las imágenes digitales del terreno, y mediante evidencias geomorfológicas apoyadas en trabajos de campo han sido la base para la caracterización de esta falla. Los estudios gravimétricos, aportaron de conjunto el trazado de las fallas referidas, a partir de las zonas de gradiente **Fig. 1, 2 y 3**

Las evidencias aportadas se sustentan en un fundamento teórico, según el patrón de Riedel que demuestra la existencia de la falla antitética dextral debido a los esfuerzos principales suroeste – noreste (σ_1) y que denominamos Falla San Andrés – San Diego. **Fig. 1 y 2**

Los trabajos de campo nos aportaron las evidencias geodinámicas de una falla de tipo dextral con crecimiento de cuarzo en los planos de fricción y estrías en la dirección 320° que se incluye dentro del rango de los lineamientos observados en el campo entre 310 – 330 grados de dirección. **Ver Fig. 5**

Existen otros elementos que atestiguan la existencia de esta falla por los datos de campo, pero no tan significativos, como este punto al norte del pueblo de San Diego.

Hay además indicios geomorfológicos muy similares a la San Andreas Fault en EEUU con respecto a los esquemas de drenaje, explicados anteriormente, tales como la presencia de valles lagos y bahías y la dextralidad del drenaje provocada por la falla.

Se hallan también manifestaciones de petróleo y agua sulfurosa a través de la falla.

Otro elemento de interés es que en los Órganos las estructuras aparecen arqueadas hacia el sureste y en Rosario hacia el noroeste demostrando un posible origen tectónico de desgarre que puede explicar el origen de esta falla.

Además durante la post-orogénica con una óptica novedosa pueden asociarse estas fallas con el sistema de múltiples escarpes y estructuras de fondo marino en la parte noroccidental de Cuba.

Estos escarpes de relieve tienen una disposición consecuente con la alineación de líneas del drenaje secundarias, con un claro reflejo de la morfología de la costa, en la misma dirección de la falla San Andrés – San Diego. Estas zonas alineadas de desgarre son muy similares a los desplazamientos descritos en la literatura como de carácter dextral. **Fig. 4**

Podemos resumir que ambas fallas son las principales estructuras tectónicas del origen del relieve pinareño. Ambos sistemas de fallas conjugados, sobre la base de la metodología geomorfológica aplicada en el territorio nacional donde las direcciones fundamentales apuntan en la dirección de las trampas y las posibles vías de migración, es por tanto que estas fallas sintéticas y antitéticas del sistema de Riedel comprobado en el complejo de métodos, pueden constituir las vías de migración de los hidrocarburos desde la zona de Cocina debajo de los cabalgamientos hacia diferentes trampas formadas durante la orogénica.

Esta migración de los fluidos pueden extrapolarse hacia los bloques marinos del Golfo de México ya que la tectónica del plioceno fue relativamente limitada en Cuba, por lo tanto, los posibles daños ocasionados a las trampas no deben ser significativos. Tenreiro Rafael, et al. 1997

CONCLUSIONES

1.- Se pudo precisar una Falla que divide la zona de articulación Sierra de los Órganos y Rosario la cual nombraremos San Andrés - San Diego.



- 2.- Esta falla tiene una expresión muy bien definida en los mapas de disección vertical, pendientes y los resultantes de los filtros direccionales de mejoramiento de imágenes como son los análisis de sombra (shadow) donde se tipifican altos valores de las propiedades que identifican una falla.
- 3.- Se aportaron nuevas evidencias para la existencia de la Falla San Andrés - San Diego, según el análisis del patrón de Riedel donde esta se constituye en la componente de esfuerzos "X" antitético.
- 4.- Las investigaciones realizadas sobre informaciones obtenidas de imágenes satelitales publicadas por Google 2005 y del Museo Virtual obtenida de un sitio especializado de Internet confirman su ubicación y extensión desde el mar hasta la Falla Pinar.
- 5.- Se pudo sustentar las características morfoestructurales a través de las imágenes satelitales, geológicas, sistemas de drenaje y resultados de las observaciones cinemáticas en el campo para avalar el origen tectónico (desgarre) y el crecimiento del cuarzo en la dirección del movimiento, lo que resulto una nueva evidencia para su confirmación.
- 6.- Con la precisión de las dos estructuras tectónicas más importantes del relieve pinareño se puede inferir según la metodología aplicada que ambas pueden estar relacionadas con vías de migración y entrampamiento en probables sistemas petroleros en el área incluidos los del Golfo de México, en algunos de los cuales existen conocidas manifestaciones tanto a lo largo de toda la falla Pinar como en ambos lados de la falla San Andrés en las Localidades de Caimito, Burén y en el pozo Caribe 1.
7. - En la zona de articulación de la Sierra del Rosario con la Sierra de los Órganos no se observan gradientes del campo gravimétrico que por su extensión e intensidad se puedan asociar a la existencia de una dislocación de tipo disyuntiva con apreciables desplazamientos verticales entre sus bloques.
8. - En esta zona de articulación al norte de la Falla pinar, se observa una distorsión o torcedura del campo gravimétrico, correlacionable en dirección sureste- noroeste, que sugiere la posible presencia de una falla de cizalla que pudiera estar asociada a la posible Falla San Andrés.

BIBLIOGRAFÍA

- Cáceres Govea Dámaso, et al. 2003 Congreso de Geología y Minería Geología Regional. ISBN 959 – 7117 – 11 - 8
- Cruz Toledo Ramón en el Proyecto 2132 año 1995 "Evaluación de Leads y Prospectos para la exploración petrolera en los bloques 6; 7; 8; 9; 10; 14; 15; 16; 17 y otros.", José Álvarez Castro et. Al. 1995
- Cobiella J. L. 2002: Apuntes y guía de geología de Cuba Archivo Ceinpet, la Habana.
- Cruz Toledo R., Gómez Herrera J., Rodríguez Morán O., Mejías Rodríguez L., Rey Palli R., año 2001. Efectividad de los métodos geomorfológicos en la actividad petrolera IV Congreso de Geol. Y Minería ISBN 959 – 7117 – 10 – X.
- Cruz Toledo Ramón, Fariñas Carlos, Rodríguez Osvaldo, Pérez Yusneury 2004, Geomorfología Marina .En: Evaluación de Leads y prospectos. Proyectos 2228, etapa 1.5, 6pp., 10 fig., archivo ceinpet . La Habana.
- Echevarría Rodríguez Gustavo, et al, 2001 Evaluación de Leads para la Exploración. Etapa 9. Informe sobre prospectos y Objetivos preparados para la Exploración, bloques, 5, 8, 11 y 19. Archivo de petróleo.
- Rossello E. A. 2001. Sistemas tectónicos transcurrentes: Una síntesis de sus condiciones mecánicas y aplicaciones geodinámicas. Asociación Geológica Argentina. Serie D. Publicación Especial. N° 5 19 – 43 (2001).
- Tenreiro Rafael, Cruz Ramón, Fariñas Carlos, et al. 1997. Neotectónica y tectónica postorogénica del archipiélago cubano. Aspectos relacionados con el potencial y la exploración de HC. Ceinpet Archivo E – 257.

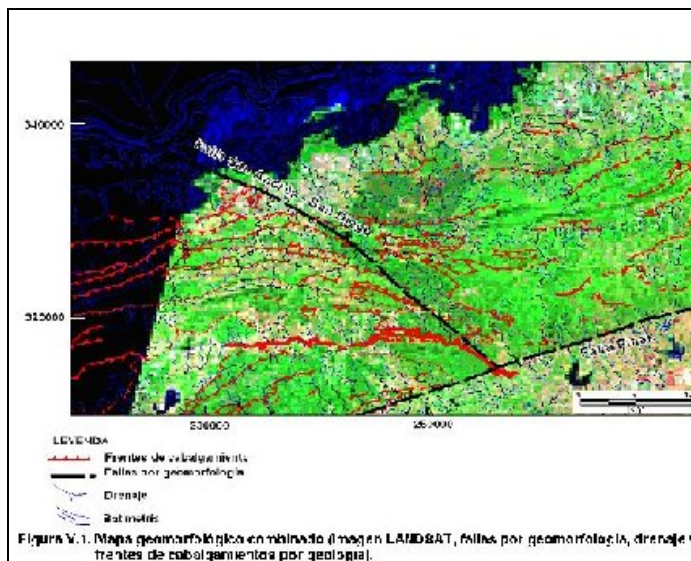


Fig. 1 Mapa geomorfológico-imagen landsat

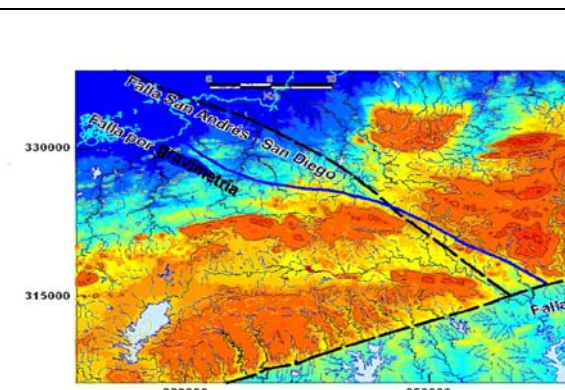


Figura V.3. Mapa geomorfológico combinado (Dissección Vertical, Alturas Máximas, fallas por Geomorfología y Gravimetría).

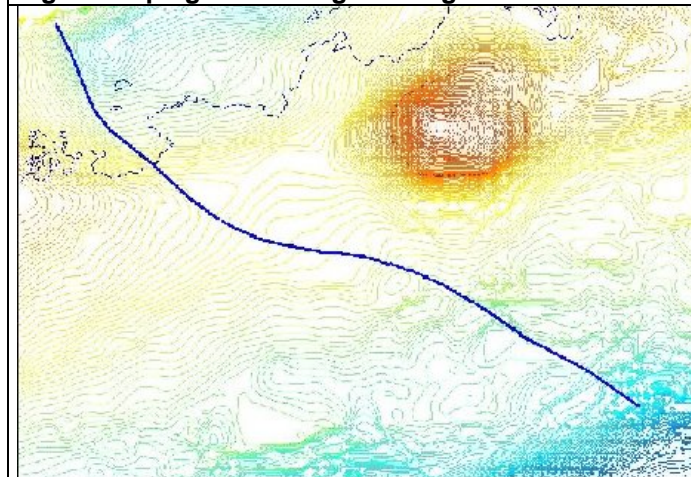


Fig. 3 Mapa anomalías Bouguer

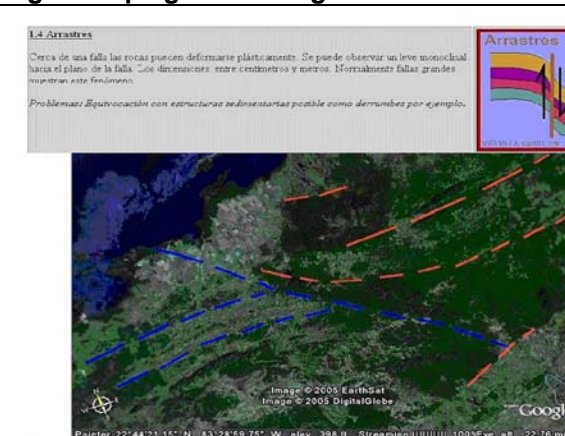


Figura V.2. Imagen satelital tomada de Google.



Fig. 5 Fotos con evidencias de la Falla San Andrés-San Diego mostrando crecimiento de cuarzo.

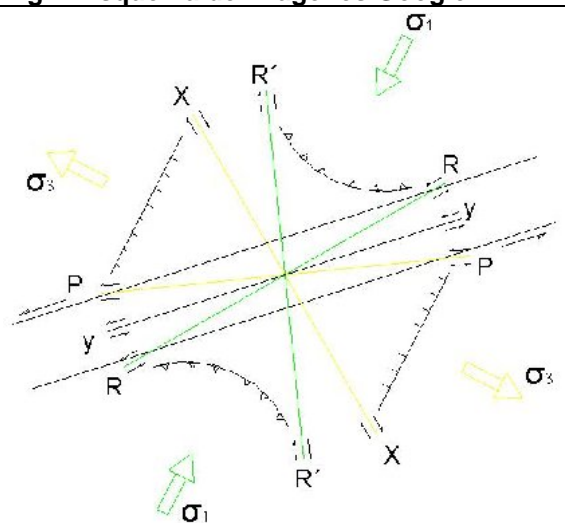


Fig. 6 Esquema sistemas de Riedel



ESTUDIOS ESTRUCTURALES Y MICROTTECTÓNICOS REALIZADOS EN LA REGIÓN OCCIDENTAL DE CUBA. IMPLICACIONES PARA LA EXPLORACIÓN PETROLERA

Carlos Sosa Meizoso¹, Ignacio Hernández¹, Silvia Blanco¹, Asel Aguilar¹, Julio Gómez¹, Yanet Tamayo¹, Yaneisy Rosell¹.

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Calle Washington No 169, esq. Churrucá, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, E-mail: sosa@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

Las investigaciones desarrolladas en la región oriental de la Sierra del Rosario y el sector Cayajabos - Martín Mesa posibilitaron la cartografía geológica y el estudio microtectónico de la misma, elaborándose el mapa geológico – estructural de dos áreas previamente seleccionadas de la región y varios perfiles geológicos esquemáticos. Estos exhiben una compleja situación geológica, en la que se destacan una serie de complicadas estructuras, en las que intervienen las ofiolitas y del arco volcánico Cretácico, cabalgadas sobre los sedimentos del margen continental, provocando en éstas, estructuras con vergencias opuestas del tipo "POP UP", "zonas de triángulos", y "estructuras apiladas", integradas por varios pliegues escamas.

El estudio microtectónico, señaló que los esfuerzos compresivos mantuvieron una dirección predominante del SW-NE, aunque en varias localidades se estudiaron, otras que demuestran la existencia de esfuerzos en otras direcciones a partir de la descomposición de los principales, en los sistemas transcurrentes más importantes, análogamente, otros sistemas de fracturas evidencian que los esfuerzos sufren modificaciones en el tiempo, provocando giros en el sentido horario.

Los sedimentos de este sector, han sido estudiados desde el punto de vista microtectónico, evidenciando que las formaciones Polier, Sumidero, Artemisa y Cacarajícara, con estratificación media, tienen sistemas de fracturas tan intensos como los conocidos en Cuba central y las deformaciones plicativas son en ocasiones tanto o más intensas, por lo que pudieran ser considerados buenos reservorios, no así, cuando los espesores de los estratos son mayores.

Palabras claves: transurrencias, cabalgamientos, apilamientos.

ABSTRACT

Field works done at the eastern part of Sierra del Rosario Mountains as well as the Cayajabos area and Martín Mesa oil field, were able to map the surface geology and microtectonic shown in the rocks basically in two areas previously selected where several geologic profiles were drawn.

These geologic sections show a very complex comprising also ophiolites and Cretaceous volcanic arc rocks overthrust over the southern continental rocks, where opposite thrust sheets known as "POP UP", "triangle zone" and "stacked sheets" are united.

The microtectonic study of fractures, planes, plunge, stratification, and other, show that compressive stress come from the SW – NE although in other areas also come from other direction due to vectorial projection in orthogonal axis X,Y; in the strike slip important faults.

The sediments have been studied, taking into consideration the fracture system showing that several geologic formation such as Polier, Sumidero, Artemisa y Cacarajícara, with middle stratification similar to Central Cuba shown intensive folding and fracturing able to trap good oil fields except where the stratification is thick.

INTRODUCCIÓN

La pesquisa ejecutada en la extensa área que abarca la parte oriental de la Sierra del Rosario y la zona desde Cayajabos - Martín Mesa (Fig.1), que dio origen al presente trabajo, ha sido explorada desde las primeras décadas del siglo pasado. En ella, se han realizado múltiples trabajos geológicos,



ejecutados por renombrados especialistas, tanto cubanos como de otros países; varios de éstos, ejecutados propiamente para la exploración petrolera. Entre ellos sobresalen los de Pszczolkowski, A. y otros, 1976 y 1987; Doval Martínez et, al/1991; Dr. Evelio Linares Cala et, al, 1976 y su tesis doctoral ejecutada en el 2003, importantes trabajos de campo de los profesores Dr. D. Cáceres, el Dr. C. E. Cofino y el Dr. J. L. Cobiella.

El estudio facilitó arribar a conclusiones sobre las diferentes estructuras que pudieron ser cartografiadas, así como sus dimensiones y el comportamiento de los esfuerzos que las afectaron, emitiendo algunas consideraciones sobre las posibilidades exploratorias en esta área, en la cual es obvia la generación, migración y entrapamiento de hidrocarburos de excelente calidad, dada la existencia de depósitos de pequeñas dimensiones que aún producen; además de numerosas menas de asfaltos que se explotaron en el pasado; por lo que, las áreas estudiadas podrían ser tomadas en consideración en los futuros programas de trabajos para la exploración petrolera.

MAPA DE UBICACIÓN DEL AREA DE TRABAJO

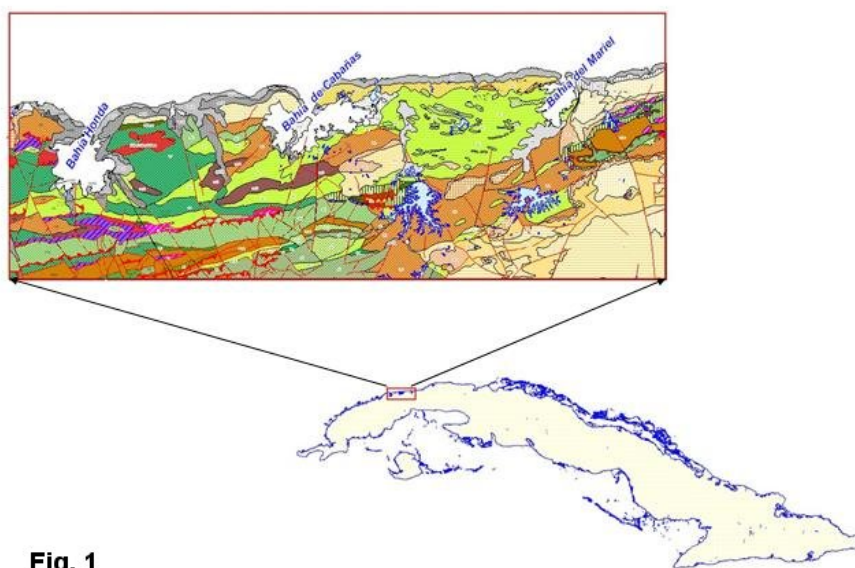


Fig. 1

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se ejecutó a través de itinerarios geológicos, llevados a cabo utilizando los caminos, el curso de los ríos, arroyos y a campo traviesa, con el auxilio de cartas topográficas a escala 1: 50 000 y 1: 25 000, y un GPS, que posibilitaron la realización del trabajo.

En la ejecución de las investigaciones fueron documentados 709 afloramientos desde el punto de vista petrográfico, estratigráfico y en buena medida estructural, para lo cual fueron tomadas 302 muestras a las que se les realizaron 338 secciones delgadas y 33 lavados, contribuyendo a la ampliación del conocimiento geológico de región. Como parte importante del trabajo fueron examinados desde el punto de vista microtectónico 70 afloramientos, en los que se midieron las direcciones de los sistemas de fracturas, la estratificación, la presencia de estilolitos y juntas de disolución, los planos de los pliegues, el plunge, las fallas, así como otros elementos estructurales importantes; elaborándose un mapa de direcciones de los esfuerzos principales, que da la posibilidad de valorar el comportamiento de los mismos.



DESARROLLO

Estratigráficamente, las secuencias de la cuenca del margen continental más antiguas, están asociadas a la Fm. Francisco, del Jurásico Superior Oxfordiense Medio Tardío. Éstas, descansan sobre las rocas de la Fm. San Cayetano, de edad Jurásico Inferior y Medio, hasta el Jurásico Superior Oxfordiano. Le sobreyace la Fm. Artemisa, cuya edad ha sido determinada como Jurásico Superior Oxfordiano Superior – Kimmeridgiano y hasta el Tithoniano.

Suceden concordantemente a las anteriores, la Fm. Sumidero, asociada al Cretácico Inferior Berriasiano – Valanginiano y Hauteriviano Barremiano, partiendo de la información paleontológica de la presente investigación; aunque varios autores la limitan al Berriasiano – Valanginiano (Linares E./2003).

Fue estudiada otra secuencia sincrónica con la anterior, Fm. Polier, datándola del Cretácico Inferior Berriasiano – Valanginiano y Hauteriviano – Barremiano; a pesar de que autores la han situado concordantemente sobre la Fm. Sumidero atribuyéndola al Hauteriviano – Barremiano.

En la región, han sido estudiadas las rocas de la Fm. Santa Teresa, determinadas estratigráficamente del Cretácico Inferior Berriasiano – Valanginiano, hasta el Cretácico Superior Cenomaniano – Turoniano (Ivano Walter Aiello and Marco Chiar/1995), en "Cretaceous Radiolarian Chert of western Cuba"; mientras otros como Doval Martínez/ 1991, afirman que, la edad varía desde el Cretácico Inferior, Hauteriviano hasta el Cretácico Superior, Cenomaniano.

Con menor frecuencia en el área, fueron estudiadas las rocas de la Fm. Carmita, cuya edad ha sido asociada al Cretácico Inferior Aptiano - Cretácico Superior Cenomaniano; aunque en la zona de Martín Mesa fueron documentadas rocas del Hauteriviano – Barremiano que por su apariencia y la asociación con rocas de la Fm. Santa Teresa aflorante al sur de la misma, y las estudiadas en el pozo M.Mesa 7, perforado en la localidad, pudieran asociarse a la formación de referencia.

Sobreyacen discordantemente, a las rocas de la Fm. Polier y S. Teresa – y quizás otras -, las de la Fm. Cacarájicara, del Cretácico Superior Campaniano -Maestrichtiano o Maestrichtiano Superior.

Entre los pliegues de las formaciones mencionadas y otras de diferente naturaleza, describimos sedimentos sinorogénicos de la Fm. Manacas, del Paleoceno –Eoceno Inferior.

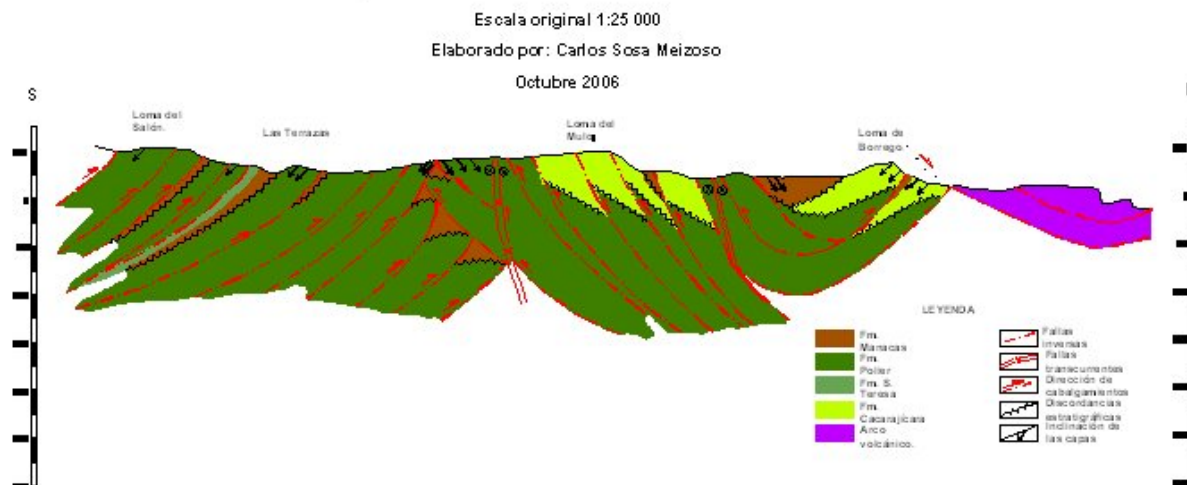
GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La región, desde el punto de vista estructural está integrada por una sucesión de complejas estructuras en las que se evidenciaron pliegues escamas con vergencias opuestas, interpretadas como: del tipo "POP UP", "zona de triángulos", y "apiladas"; que la hacen más compleja, de lo que en otros momentos se ha considerado. Esto puede observarse en los mapas geólogo - estructurales elaborados y los cortes geológicos transversales (Fig.2 y 3), que mantienen direcciones fundamentalmente del SE-NW y NE-SW; en ellos se observa que tales estructuras están integradas por 5 ó 6 pliegues escamas, o a veces más. Las dimensiones de los pliegues estimados en el campo, y calculados a partir de las cartas topográficas a escala 1: 25 000, es de 2.0 y 4.0 Km. según el eje mayor y 70 – 200 m según el eje transversal y el de los apilamientos entre 600 y 1000 m, En algunos afloramientos, no obstante, observamos que las estructuras son considerablemente más pequeñas, como las estudiadas en el eskarpe donde está ubicado el pozo M.M. 24 de unos 70 metros de largo, en el que se distinguen cinco (5) pliegues escamas, y entre algunos de ellos, importantes zonas de



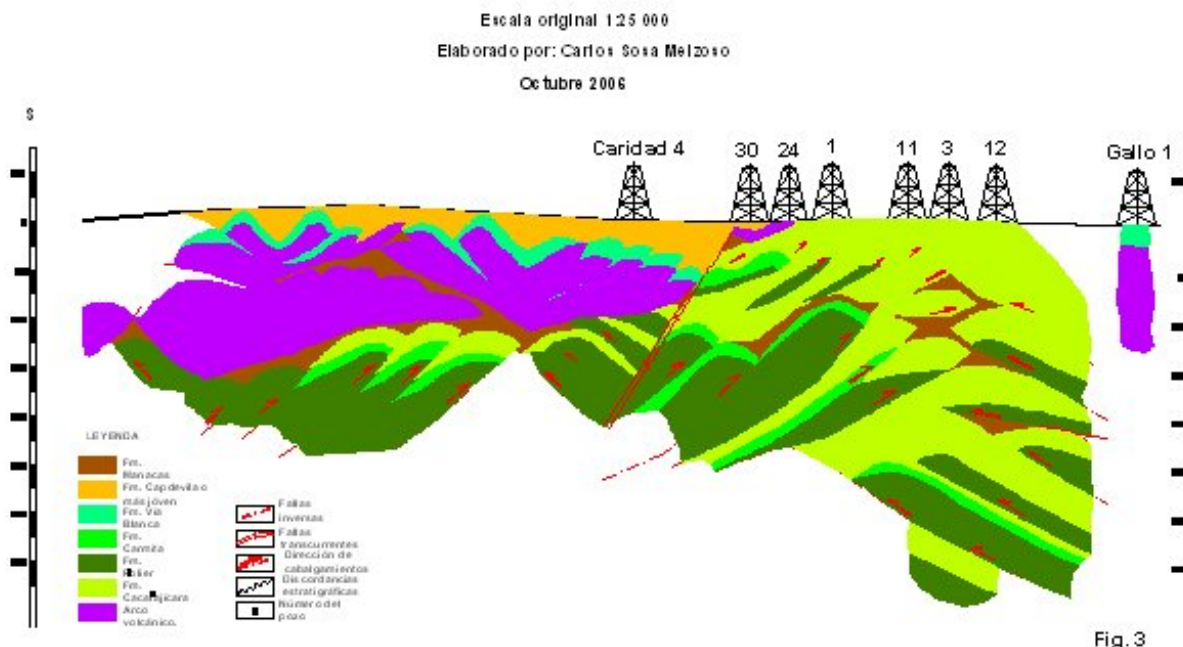
brechas que las separan, de unos 50 – 90 cm. de espesor, que se acuñan hacia abajo.

PERFIL GEOLÓGICO ESQUEMÁTICO DESDE LA LOMA DEL SALÓN A LA SIERRA DE BORRERO.



En otros afloramientos, la rocas se ven muy afectadas por el tectonismo, donde son cuantiosos los pliegues tumbados y en algunos de ellos, se exhiben braquipliegues o pliegues Kink band, hechos demostrativos de la intensidad de los esfuerzos. Complementariamente y como forma de reafirmar la intensidad de estos procesos, está la presencia de numerosas fallas de cabalgamiento de pequeñas dimensiones que cortan y desplazan los mismos pliegues estudiados; así como las fallas transcurrentes que los modifican.

PERFIL GEOLÓGICO ESQUEMÁTICO DEL ÁREA MARTÍN MESA.





Los elementos estructurales de referencia, han sido utilizados para estudiar las direcciones de los esfuerzos mayores, y el sentido de los movimientos, que dieron origen a las complejas estructuras investigadas. En algunas áreas, los planos de los pliegues y la disposición espacial de éstos y las fallas inversas, demuestran que los movimientos fueron de cabalgamiento con vergencia hacia el N - NE, mientras en otros, los retrocabalgamientos han sido perfectamente comprobados, manteniendo vergencias opuestas.

La región ha sido afectada por esfuerzos que no sólo provocaron sistemas cabalgados y retrocabalgados, si no que, crearon un importante sistema de fallas trancurrentes, entre las que se destaca la falla Pinar. Ésta, supuestamente se originó en periodos posteriores a los cabalgamientos principales que tuvieron lugar desde finales del Cretácico Superior, Campaniano - Maestrichtiano o Maestrichtiano, hasta el Eoceno Medio.

Si tomamos en consideración que, los esfuerzos que movieron la "Placa Caribeña" fueron del SW – NE, es decir oblicuos, respecto al borde sur de la "Plataforma Americana", éstos, siempre deben haber originado sistemas transcurrentes, debido a que una de las componentes, provoca desplazamientos laterales, es decir, fallas transcurrentes de tipo sinestrales. Aunque estos no fueran los únicos, ya que de hecho existen otro, que forman parte de los sistemas de fracturas estudiados por Reader. Tales hechos parecen irrefutables; en ningún momento hubo esfuerzos ortogonales, por lo que resulta muy difícil de entender que, los cabalgamientos correspondieron a un período en el que las fuerzas eran de sur a norte y con posterioridad tuvieron giros que crearon tales sistemas de fallas. Aunque, con el tiempo la dirección de los esfuerzos se ha modificado, manteniendo giros horarios.



Todos estos efectos corresponden a procesos evolutivos en los que los sistemas transcurrentes más importantes deben haber surgido en períodos de gran intensidad de los movimientos, quizás, durante el Cretácico Superior, pre Maestrichtiano, período en el cual, se produjo la colisión con la Placa Americana y posteriormente se indujeron ciertos giros horarios, prolongándose en el tiempo hasta crear los nuevos y fuertes desplazamientos que originaron el sistema Battle – Caiman. Los esfuerzos actuantes en épocas contemporáneas de dirección

SSW-NNE-, ejercen una cierta influencia sobre la "Micro Placa Cubana", provocando la reactivación de todos los sistemas, tanto transcurrentes como de cabalgamientos, pero de una intensidad mucho menor a los originados en períodos precedentes.

La comparación de la región oriental de la Sierra del Rosario con el sector Cayajabos M. Mesa, demuestra una extraordinaria coincidencia, tanto desde el punto de vista litológico y formacional, como estructural. En la primera las particularidades estructurales de la misma, están mejor resaltadas, por cuanto son áreas más elevadas y como consecuencia más representativas de los movimientos tectónicos a los que fueron sometidas; mientras que, la parte de M. Mesa y sus áreas aledañas, son menos expresivas, porque han tenido un nivel de erosión menor. Aunque en esta última se ha demostrado la exposición de las rocas de la cuenca del margen continental, con la ejecución de los itinerarios geológicos y los estudios petrográficos y paleontológicos de las rocas aflorantes.



Estos resultados fueron comparados con otros, elaborados en diferentes épocas, como: los trabajos de Hatten- 1954, consideró las rocas de la UTE Órganos, cabalgando de SW - NE, emplazándose los mantos, de manera tal que, mantenían siempre una vergencia norte. Otros como Pszczolkowski, et, al, 1976 y 1987 y en los últimos años los estructuralistas de REPSOL, en S. del Rosario, elaboraron construcciones parecidas, sin tomar en consideración los cuantiosos elementos que demuestran los retrocabalgamientos; mientras Tenreiro, et, al, 1995, elaboraron construcciones estructurales sobre esta región, concibiendo los cabalgamientos siempre con vergencia NNE.

Además, en cada uno de los afloramientos, observamos y diferenciamos los variados sistemas de fracturas, fallas inversas, fallas transcurrentes, planos de plegamientos y la utilización del software ROCK WARE, procesamos todos los elementos, obteniendo los "estereogramas", y las "rosas diagramas" de los elementos estructurales estudiados, las que muestran los principales sistemas conjugados de fracturas, los sistemas paralelos a éstos – distensivos -, y otros perpendiculares a los mismos – distensivos también -, fueron medidos. De igual forma se distinguieron otros paralelos a la estratificación y coincidentes con ésta y con las juntas de disolución, las que fueron tomadas en cuenta durante el estudio.

De esta manera, la investigación microtectónica ejecutada, posibilita conocer el comportamiento de los esfuerzos regionales y locales – en ocasiones -, como se modifican estos en el tiempo y además caracterizar nuestros reservorios y explicar las complejas redes de fracturas observadas en los núcleos y secciones delgadas, que siempre hemos considerado "sistemas erráticos" y un tanto "anárquicos". Pero, después de analizar la distribución de las fracturas, vemos que éstas responden a esfuerzos que han ocurrido en distintos periodos. En ocasiones, hemos dado mayor importancia a algunos sistemas de fracturas – paralelos a la estratificación -, como las responsables de las mayores producciones de petróleo - equivocadamente a veces -, ya que son otros los sistemas generalmente abiertos y capaces de servir como vía de migración y entrega de los fluidos al pozo, ya que ellos, en muchos ciclos, responden a esfuerzos compresivos.

El análisis del comportamiento de los esfuerzos en el tiempo, nos ha permitido observar como estos han sufrido giros horarios, cosa esta evidenciada en los dos y hasta tres sistemas observados en las rocas de un mismo afloramiento.

La determinación de los esfuerzos, no es puramente académica, si no que, existen razones prácticas para considerar estos elementos trascendentes, debido a que, producto de la conducta de los mismos, hay fracturas que se mantienen abiertas y otras cerradas o semi cerradas, como puede ocurrir con las fracturas del sistema conjugado, afectadas por los fallas de tipo transcurrentes.

CONSIDERACIONES SOBRE LAS PERSPECTIVAS PETROLERAS

En la región estudiada, el grado de exposición de las rocas de la cuenca del margen continental, es muy elevado; por ello la no existencia de una cobertura sedimentaria regional, permitiendo el entrapamiento de los hidrocarburos. Éstas, fueron estudiadas entre los pliegues escamas, en las partes inferiores de los mismos y los sistemas apilados.

Algunas áreas donde se perforaron varios pozos como: Cayajabos 3 y CHD – 1X, exhiben importantes cambios litológicos, unidos a la presencia de potentes secuencias de la Fm. Manacas, sugiriendo que no se pierda de vista tales secuencias y áreas, ubicadas por debajo de las sobrecoorridas fuera de secuencia de las Fms. Polier, Cacarajicara y otras.

CONCLUSIONES



1. La región está integrada por una sucesión de complejas estructuras con vergencias opuestas, interpretadas como: del tipo "POP UP", "zona de triángulos", y "apilamientos"; que mantienen direcciones fundamentalmente del SE-NW y NW-SE, e importantes sistemas transcurrentes que cumplen las leyes de Reader.
2. Generalmente, las dimensiones de los pliegues estudiados están entre 2.0 y 4.0 Km. según el eje mayor y 70 – 200 m según el eje transversal, manteniendo los sistemas apilados en esta dirección dimensiones de 600-1000m, aunque algunas se aprecian con dimensiones mucho más reducidas.
3. El estudio microtectónico muestra los diferentes sistemas conjugados, inscriptos en los flancos de los pliegues, los sistemas paralelos a éstos – distensivos -, y los perpendiculares a los mismos – distensivos también; más otros paralelos a la estratificación y coincidentes con ésta y con las juntas de disolución.
4. Los resultados de la investigación sugieren, continuar realizando esfuerzos exploratorios en el bloque 6, reevaluando las líneas sísmicas, a partir los resultados obtenidos con anterioridad y los aportados por esta investigación, por haberse demostrado la existencia de los elementos y procesos del sistema petrolero, que justifican tales inversiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burov, V.; D. Martínez, Y. Yusanov; R. Fernández, V. Debernev y A. Uspensky, 1986: Informe de los Trabajos de Levantamiento Geológico escala 1:50 000 realizados en la Parte Occidental de la Provincia de Pinar del Río. Inv. 3563 O.N.R.M. – MINBAS, La Habana (Inédito).
- Cobiella-Reguera, J. L.; A. Hernández.; N. Díaz; y P. Pérez, 1997: Estudio de algunas areniscas de las Fms. San Cayetano y Polier, Sierra del Rosario, Cuba Occidental: Revista Minería y Geología, Vol. XIV (3), P. 59-68.
- Cofiño-Aranda C.E., 2002 Caracterizar el agrietamiento y la geometría del plegamiento que afecta los depósitos del Jurásico Superior – Cretácico Inferior, en los nappes orientales de la Sierra del Rosario. Explicar la presencia de hidrocarburos en el corte y su relación con zonas petrolíferas de Cuba Central. Archivo. Universidad de Pinar del Río. Inédito.
- Gordon M. and Cáceres D., 1997. "Cenozoic tectonic history of the North America-Caribbean plate boundary zone in western Cuba". Published by American Geophysical Union in Journal of Geophysical Research, Vol 102, number B5.
- Hatten, Ch., 1957, Geology of the Central Sierra de Los Organos, Pinar del Río Province, Cuba. O.N.R.M. – MINBAS, La Habana (Inédito).
- Iturralde-Vinent, M., 1998, Sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba. Acta Geológica Hispánica. Vol. 33 N0.1-4 p. 9-56.
- Linares, E. et al., 1976, Levantamiento geológico y su mapa a la escala 1:50 000 del área Martín Mesa. Archivos del CEINPET. La Habana. (Inédito).
- Linares, E., 2003 Comparación entre las secuencias Mesozoicas de aguas profundas y someras de Cuba Central y Occidental. Significación para la exploración petrolera. Tesis Doctoral. Archivo CEINPET e ISPJAE. La Habana (Inédito)
- Pszczolkowski, A. y otros, 1987, Contribución a la Geología de la Provincia de Pinar del Río. A.C.C. La Habana: Edit. Científico Técnica, 253 p.



CARTOGRAFÍA DE LA FALLA PINAR UTILIZANDO MÉTODOS GEOLÓGICOS, GEOMORFOLÓGICOS, SÍSMICOS Y DE LOS CAMPOS POTENCIALES

Autores: Ignacio Hernández González ⁽¹⁾, C. Sosa Meizoso ⁽¹⁾, J. Gómez Herrera⁽¹⁾.

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Calle Washington No 169, esq. Churrucá, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, E-mail: ihdez@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

La falla pinar ha sido de interés para los geólogos dedicados a la reconstrucción de la historia geológica de la parte más occidental del país y en otras actividades más prácticas como la exploración petrolera. Su presencia ha sido siempre argumentada a partir del contraste de relieve entre las rocas de la Sierra del Rosario y la Sierra de los Órganos, con sus vecinas más jóvenes, de la Cuenca Los Palacios.

Los trabajos de cartografía geológica realizados en la zona oriental de la Sierra del Rosario y el sector Cayajabos-Martín Mesa, unido al estudio microtectónico de afloramientos y el uso de imágenes satelitales y de radar, posibilitaron trazar con bastante precisión la ubicación de la misma. La comparación de estos mapas con secciones sísmicas provenientes de la campaña ejecutada en 1994, no muestra que ciertas zonas de ruido que encontramos en estas secciones concuerdan perfectamente con la posición de la falla, por lo que podemos afirmar que la falla también podía ser localizada por este método.

La existencia de la falla ha motivado inversiones para la exploración petrolera en otras épocas, tanto dedicadas a la detección de elementos gaseosos supuestamente migrados a través de la misma, como a trabajos geofísicos para determinar la presencia de estructuras, y la perforación de pozos petroleros. La existencia de elementos estructurales en los límites de la cuenca unidos a otros geológicos, pudieran justificar nuevas inversiones, que sería necesario estudiar mejor.

ABSTRACT

The Pinar fault had been the subject for geologists interested in the reconstruction of the geological history of the westernmost part of Cuba and in some more practical stuff as oil exploration. This fault had been always easily recognizable because of the relief which varies abruptly from mountain ranges in Sierra del Rosario and Sierra de los Organos, to extensive plains in Los Palacios Basin where the rocks are also younger.

The mapping works carried out in the eastern part of the Sierra del Rosario and Cayajabos–Martín Mesa area together with micro tectonic research and land sat and radar imagery, made possible to draw with great accuracy the position of this fault along the border between the mountains and plains. The comparison of those maps with seismic sections from a seismic survey executed in 1994, Shows how certain noisy zones in those sections matched perfectly with the position expected for the fault. Which make us think that this fault could be located by that method as well.

Once the existence this fault motivated investments in oil exploration, like geophysical surveys in order to find structural traps, and the attempt to detect gas accumulations, trapped after migrating up along the fault. Now the study of new structural and geological information associated to the basin borders could open other opportunities in the oil exploration of this area, which would require further research in the near future.

INTRODUCCIÓN

En la región oriental de la Sierra del Rosario – Martín Mesa (Fig.1), se han realizado múltiples e importantes trabajos geológicos y geofísicos, fundamentalmente dedicados a la cartografía y a la exploración de minerales útiles, entre ellos, los encaminados a la búsqueda de menas metálicas sulfurosas, y los dedicados a la prospección de hidrocarburos, aunque la consagrada a los no metálicos ha tenido buen desarrollo.



En las últimas décadas del siglo pasado, se ejecutaron significativos volúmenes de inversiones en tareas exploratorias para petróleo y gas, realizándose trabajos geofísicos, además de perforarse algunos pozos, entre los que se encuentran varios de significativa profundidad.

Análogamente, en algunos de los trabajos precedentes, se han ejecutado métodos geomorfológicos, como en los levantamientos geológicos a las escalas 1: 50 000 (Doval Martínez et al, 1991) y 1: 250 000, (Pszczolkowski, A. et al. 1975, 1987) los que contribuyeron grandemente a las interpretaciones estructurales de los mismos.

Durante la pesquisa de la zona oriental de la Sierra del Rosario y el sector Cayajabos – Martín Mesa, además de métodos estructurales y microtectónicos, otros geomorfológicos fueron utilizados, sobre todo aquellos que pudieran ayudarnos a trazar las estructuras disyuntivas más trascendentes como la falla Pinar, para analizar su influencia en los elementos estructurales estudiados en la región y comprobar su existencia utilizando diferentes métodos para ello, ya que dudas de su existencia han existido durante mucho tiempo, así como la no visualización de la misma utilizando la sísmica.

MAPA DE UBICACIÓN DEL AREA DE TRABAJO

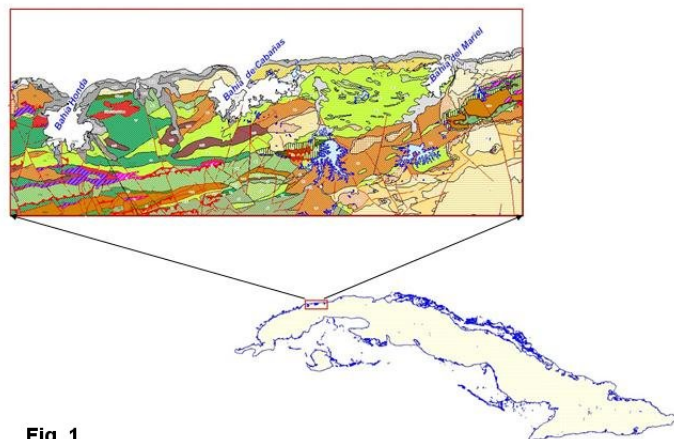


Fig. 1

MATERIALES Y METODOS

Para la ejecución del presente trabajo fue necesario un compendio de disciplinas que incluyen ramas de las investigaciones geológicas como la geología de campo, geología estructural, la microtectónica, la geomorfología, la geofísica.

La base del trabajo fueron los trabajos de cartografía geológica realizado por los autores en el área de estudio, este posibilitó definir elementos necesarios

tanto geológicos como estructurales y la localización de los puntos adecuados para los estudios microtectónico. Como complemento se utilizaron variedad de imágenes satelitales y de radar, que fueron procesadas para definir la posición de la falla, como se verá más adelante, además para esta tarea se usaron mapas de relieve detallado y mapas de campos potenciales.

Por último se realizó una reinterpretación de algunas líneas sísmicas que atraviesan la zona donde se ubica la falla, lo que permitió comparar esta nueva visión de estos materiales con los resultados anteriormente obtenidos del complejo de métodos y comprobar su perfecta coincidencia.

RESULTADOS

Con el objetivo de trazar lo más certeramente posible la falla Pinar, utilizamos imágenes satelitales que para algunas áreas, parecen ser bastante eficientes, ya que el contraste entre las zonas elevadas de la Sierra del Rosario y las correspondientes a la Cuenca de los Palacios es bien evidente, sin embargo, en algunas zonas más llanas, afloran rocas semejantes y el método no es todo lo

eficiente que parecía; evidenciado por la cartografía geológica. Tales contradicciones debíamos resolverlas, aunque, las cartas topográficas parecen mostrar tales límites.

Para dar cabal cumplimiento a los objetivos que nos trazamos, utilizamos los métodos propiamente estructurales y microtectónicos, que son elocuentes para demostrar la existencia de la misma (Fig. 2 y 3), y elaboramos algunos mapas, que nos podían ayudar a esclarecer los elementos dudosos que teníamos.



Desde el punto de vista estructural y microtectónico fueron estudiados varios afloramientos en los que las rocas encajantes se veían afectadas de manera significativa por el desplazamiento de la falla objeto de estudio (Fig.3), dejando una indeleble huella, con la inscripción de numerosos sigmoides de diferentes direcciones, todas respondiendo a los sistemas fracturados estudiados por Reader, provocando además, un alto grado de trituración de las rocas de la Fm. Polier – en uno de los afloramientos –, mientras en otros, rocas serpentiniticas presentaban sistemas sigmoidales semejantes, pero menor grado de trituración.

En otros, las estrías diagonales originadas por el desplazamiento del bloque del sur-sureste (Fig. 2), demuestra el desplazamiento sinistral del mismo y el hundimiento al sur éste, complementado por el crecimiento de la calcita que corrobora el desplazamiento y el sentido que hemos descrito.

El Mapa de Entropía del Relieve, posibilitó dibujar la traza de la Falla Pinar; mientras el Mapa de Pendientes, demuestra que las áreas al norte de la Falla Pinar son zonas levantadas respecto a las meridionales de la cuenca y otras más septentrionales; a través de este último, se pudo ubicar de manera clara la traza de la falla Pinar, la que no parece tener contradicciones con los mapas geológicos.

La interpretación del Mapa Residual del Campos Gravitatorio, muestra con total claridad una zona de "máximos gravimétricos" en el área de M. Mesa y sus zonas aledañas, con una configuración alargada, comportamiento que se explica por la presencia de las rocas de la "cuenca del margen continental", expuestas en esa área. Al mismo tiempo, la imagen refleja en su borde sur un cambio brusco, coincidente con la traza de la Falla Pinar, en la zona de M. Mesa – Chacón, e inmediatamente al sur de la misma, una franja estrecha con valores mínimos del campo gravimétrico, reflejando áreas donde los espesores de los sedimentos terciarios aumentan bruscamente y más al sur otra franja alargada de máximos, que pudiera ser la expresión de los mantos de rocas ofiolíticas levantados, que además han sido conocidos por la perforación del pozo Caridad 4 y algunas áreas donde afloran las mismas más al sur. Por otro lado, desde el oeste de Cayajabos, el contraste de los campos potenciales refleja certeramente la falla de referencia.

Algunos elementos observados en los cortes sísmicos de la campaña realizada por Geopetrol en 1994 – señales ruidosas –, fueron asumidos como el reflejo de las ondas sísmicas en la falla en cuestión y al situarlas en el mapa con la ubicación de las líneas sísmicas ejecutadas, observamos la extraordinaria coincidencia con la traza de la falla situada por métodos geomorfológicos (Fig. 4)

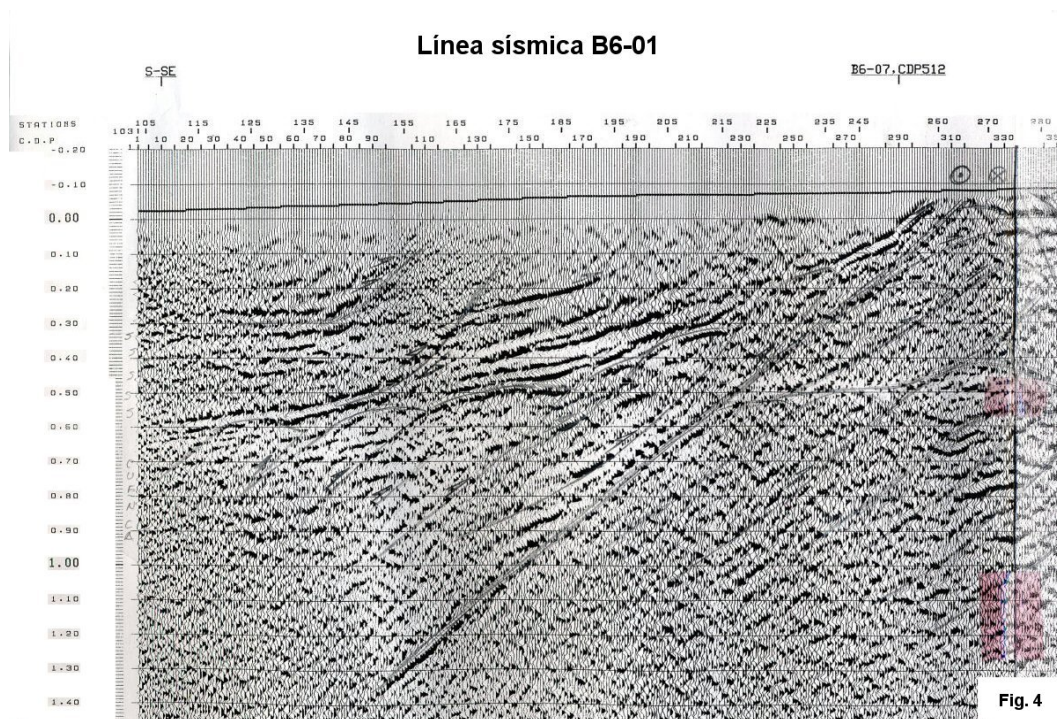


Fig. 4

De manera complementaria, intentamos cartografiar la falla utilizando el Mapa de Relieve Detallado de la zona, el que con diáfana claridad, posibilitó trazar la misma en el sector Cayajabos - M. Mesa, distinguiendo que su traza era coincidente con las precedentes. La información procesada de esta última imagen, muestra también con mayor claridad la zona donde afloran las rocas de la cuenca del margen continental en el área de Martín Mesa; complementariamente, parece evidenciar que la falla analizada, presenta más de una salida en la costa, la que hemos interpretado como una "cola izquierda", que por ser los movimientos sinestrales, debe ser distensiva.

DISCUSION

Varios autores cubanos y extranjeros han analizado la falla estudiada y han expuesto sus criterios acerca de la época en que la misma tuvo sus orígenes. El desarrollo del trabajo investigativo realizado en la zona oriental de la Sierra del Rosario y el sector Cayajabos – Martín Mesa, posibilitó enjuiciar este problema científico y llegar a algunas conclusiones como:

Si tomamos en consideración que, los esfuerzos que movieron la "Placa Caribeña" fueron del SW – NE, es decir aproximadamente diagonales al borde sur de la "Plataforma Americana", éstos, siempre deben haber originado sistemas transcurrentes, debido a que una de las componentes, debe provocar desplazamientos laterales, es decir, fallas transcurrentes de tipo sinestrales, aunque no los únicos, ya que de hecho existen otros que forman parte de los sistemas de fracturas estudiados por Reader. Tales hechos parecen irrefutables; en ningún momento hubo esfuerzos ortogonales, por lo que resulta muy difícil de entender que, los cabalgamientos correspondieron a un período en el que las fuerzas eran de sur a norte y con posterioridad tuvieron giros que crearon tales sistemas de fallas;



aunque obviamente, con el tiempo la dirección de los esfuerzos se ha modificado, provocando giros horarios.

Todos estos efectos corresponden a procesos evolutivos en los que los sistemas transcurrentes más importantes deben haber surgido en períodos de gran intensidad de los movimientos, quizás, durante el Cretácico Superior, pre Maestrichtiense, período en el que debe haberse producido la colisión con la Placa Americana y posteriormente la inducción de los giros analizados, prolongándose en el tiempo hasta crear los nuevos y fuertes desplazamientos que originaron el sistema Battle – Caiman. Los esfuerzos actuantes en épocas contemporáneas - de dirección SSW-NNE-, ejercen una cierta influencia sobre la "Micro Placa Cubana", provocando la reactivación de todos los sistemas, tanto transcurrentes como de cabalgamientos, pero de una intensidad mucho menor a los originados en períodos precedentes.

CONCLUSIONES

1. El complejo de métodos geólogo – estructurales, geomorfológicos y de los campos potenciales, conjuntamente con la interpretación de las secciones sísmicas ejecutadas con tecnologías avanzadas, confirman la existencia de la falla Pinar, posibilitando con precisión su cartografía.
2. Los métodos geomorfológicos permiten suponer que la falla Pinar tiene una terminación en la costa norte, formando una cola izquierda, que por su desplazamiento sinistral, es distensiva.
3. El estudio estructural y microtectónico de los afloramientos donde se ven afectadas las rocas por el desplazamiento de la falla, ha dejado huellas indelebles que demuestra su presencia como son: estructuras sigmoidales con direcciones que responden a los sistemas de fracturas de Reader; así como las estrías y el crecimiento de la calcita, que demuestran la dirección y el sentido del desplazamiento.
4. La dirección oblicua de la colisión unida a las deformaciones a las que han sido sometidas las rocas en el entorno de la falla analizada, más intensas para las más antiguas que para más jóvenes, parecen elementos demostrativos de que la misma se originó en épocas pre Maestrichtiense.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burov, V.; D. Martínez, Y. Yusanov; R. Fernández, V. Debernev y A. Uspensky, 1986: Informe de los Trabajos de Levantamiento Geológico escala 1:50 000 realizados en la Parte Occidental de la Provincia de Pinar del Río. Inv. 3563 O.N.R.M. – MINBAS, La Habana (Inédito).
- Cofiño-Aranda C.E., 2002 Caracterizar el agrietamiento y la geometría del plegamiento que afecta los depósitos del Jurásico Superior – Cretácico Inferior, en los nappes orientales de la Sierra del Rosario. Explicar la presencia de hidrocarburos en el corte y su relación con zonas petrolíferas de Cuba Central. Archivo. Universidad de Pinar del Río. Inédito.
- Gordon M. and Cáceres D., 1997. "Cenozoic tectonic history of the North America-Caribbean plate boundary zone in western Cuba". Published by American Geophysical Union in Journal of Geophysical Research, Vol 102, number B5.
- Pszczolkowski, A. y colectivo de autores, 1975, Texto Explicativo al Mapa Geológico a escala 1:250 000 de la Provincia de Pinar del Río. Brigada Cubano – Polaca Inst. Geol. Paleont. A.C.C. La Habana: O.N.R.M. La Habana.
- Pszczolkowski, A. y otros, 1987, Contribución a la Geología de la Provincia de Pinar del Río. A.C.C. La Habana: Edit. Científico Técnica, 253 p.

DESCIFRAMIENTO DE LA EVOLUCIÓN DE ESTRUCTURAS TECTONICAS MEDIANTE LA UTILIZACION DE METODOS MICROTECTONICOS (CASO DE ESTUDIO FALLA PINAR)

Carlos E. Cofiño Arada y Dámaso Cáceres Govea.

Calle Martí #270 esquina 27 de Noviembre, Departamento de Geología, Facultad de Geología –Mecánica.
Universidad de Pinar del Río. CP 20100 Pinar del Río. Pinar del Río. Cuba.

Email: cenriques@geo.upr.edu

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un análisis de como se puede explicar el comportamiento de una falla durante su desarrollo, por cuanto se quiere resaltar la importancia que se le brinda a mediciones de elementos estructurales observados en microestructuras que se desarrollan en planos que se originan como resultado de los eventos que la generan.

Es a partir de observaciones realizadas en diversos afloramientos, descritos a lo largo del rumbo de la estructura de la Falla Pinar, que ha permitido tomar esta, como un caso de estudio para explicar la efectividad de estos métodos.

El uso de la microtectónica y el análisis estructural, permite detectar e interpretar diversos indicadores cinemáticos que denotan su funcionamiento transcurrente siniestro en la etapa inicial. Estructuras superpuestas en diferentes planos de falla, han permitido detectar desplazamientos subhorizontales que marcan una etapa intermedia de transición, para culminar su evolución como una clásica falla gravitacional.

ABSTRACT

This investigation presents an analysis of the behavior of Pinar fault, which is based on facts obtained from a number of outcrops which are exposed along this structure. The use of microtectonic methods and structural analysis, has allowed for the detection and interpretation of several kinematic indicators that indicate its sinistral transcurrent functioning in an initial stage. Superimposed structures in different fault planes have permitted the possibility of detecting subhorizontal offsets, which show an intermediate stage of transition up to the completion of its geological evolution as a classical gravitational fault.

INTRODUCCIÓN

La falla Pinar constituye una de las estructuras de su tipo más importante del territorio cubano y en especial para la parte occidental, es una gran dislocación tectónica de larga duración, a la que se le ha determinado cambios en la naturaleza de sus desplazamientos. Esta gran falla divide a la provincia de Pinar del Río en dos bloques muy bien diferenciados, la Cordillera Guaniguanico y la Llanura Sur de Pinar del Río.

Muchos han sido los investigadores que se han dedicado a su estudio, los que han llegado a conclusiones muy disímiles, desde plantear la no existencia de la falla, hasta argumentar su funcionamiento como una estructura profunda que origina desplazamientos de bloques del basamento (Díaz y otros 1988). Otros la han descrito como un sistema de fallas normales imbricadas de norte a sur (Martínez y otros, 1984, 1988), como una falla de desplazamiento diestro (Piotrowska 1976) o como una falla de desplazamiento sinistral (Gordon y otros 1997).

La totalidad de las investigaciones realizadas con anterioridad en la zona han tenido como base el estudio de macroestructuras. En este caso, es interés resaltar la importancia de las observaciones microestructurales y el análisis estructural en el desciframiento e interpretación de los desplazamientos medidos en áreas afectadas por tales movimientos, que permiten demostrar la efectividad de estos métodos y así poder utilizar las relaciones existentes entre las micro y las macroestructuras.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo, se pretende demostrar y explicar el funcionamiento de la falla Pinar, a partir del mapeo de microestructuras y la interpretación de los elementos estructurales revelados, manifestado por cambios en la naturaleza de sus desplazamientos.

Una gran cantidad de estructuras han sido mapeadas en las inmediaciones de la zona de falla Pinar desde las cercanías del poblado de San Cristóbal en Pinar del Río, hasta cerca del caserío de Cayajabos en la provincia Habana. La totalidad de estas observaciones se realizaron siguiendo el rumbo W- E de dicha estructura.

Punto N° 1 (X-284 700, Y-325 350). Ubicado a 6 km de San Cristóbal por la carretera a Bahía Honda en su margen derecho. Se observa un gran afloramiento de serpentinitas muy facturadas, donde aparecen bloques de calizas formando cuerpos en forma de budinas. Además se describen abundantes escamas de calcita y estrías que indican la dirección de los desplazamientos en los distintos planos de fallas.

PF₁ 65° → 130°, 08° → 125°

PF₂ 85° → 215°, 08° → 310°

PF₃ 90° → 030°, 08° → 305°

PF₄ 80° → 190°, 10° → 260°

A la izquierda de la carretera, en una cantera abandonada, se observa una secuencia plegada de las rocas de la Formación Artemisa. Las rocas poseen yacencia S₀ 050° / 45° y la vergencia de los pliegues es suroeste.

Punto N° 2 (X-294 250, Y-329 200). Cantera abandonada en el margen derecho de la carretera a Soroa. En los afloramientos de serpentinita se observan muchos elementos estructurales que ayudan a determinar distintos desplazamientos provocados por la falla, indicadores de movimientos tales como estriaciones y escamas de calcita, han permitido distinguir 3 momentos de desplazamientos en el tiempo.

En el primero, las estriaciones tienden a ser horizontales o sub horizontales con desplazamiento siniestro, el segundo se superpone al anterior y las estrías marcan una orientación de 45° en el plano y el tercero indica el movimiento vertical originado por una falla normal provocando que el bloque que se encuentra al norte se presente levantado con respecto al bloque sur.

El plano de la falla principal medido presenta una orientación 85° → 160°, además se observan otros sistemas de fallas secundarios con orientaciones 25° → 065°, 70° → 220°.

En el piso de la cantera aparecen otras pequeñas estructuras que pertenecen a la misma familia de las descritas anteriormente, son estructuras de esquistosidad cizallamiento que demuestran el sentido de los movimientos que afectaron esta zona e hicieron funcionar la falla Pinar como una estructura de riedel principal, con desplazamiento siniestro (Cáceres, 1997).

Punto N° 3 (X-302 450, Y-333 325). Ubicado en el margen derecho del río San Juan. El afloramiento abarca un área de 100 × 25 m, donde se observan serpentinitas asociadas con la zona de falla Pinar. Se describen numerosas estructuras de esquistosidad cizallamiento que expresan desplazamientos siniestros relacionados con la zona de falla Pinar, así como fragmentos de rocas rodeados por material serpentinitico que muestran una apariencia sigmoidal, indicando el sentido del desplazamiento. La posición de bloques fracturados y tumbados en la dirección del desplazamiento recuerdan estructuras típicas de bookshelf sliding descritas por Ramsay (1987). Otras estructuras medidas confirman el predominio de desplazamientos sinestrales en la zona de falla.

Punto N° 4 (X-304 650, Y-334 575). Alternancias de calizas y lutitas de la Formación Polier. Las calizas son algo arenosas, de color gris, con abundantes vetas de calcita. Las lutitas son de color

carmelita, en forma de láminas muy finas con yacencia S_0 $150^\circ/20^\circ$, S_0 $170^\circ/15^\circ$ y las estructuras disyuntivas cortan a las rocas con ángulos bajos (PF_1 $35^\circ \rightarrow 150^\circ$, PF_2 $30^\circ \rightarrow 175^\circ$). Este tipo de estructura se repite en el corte, como evidencia de que las mismas se originaron durante los cabalgamientos.

Punto N° 5 (X-305 825, Y-335 325). Ubicado debajo del puente del río que atraviesa el campismo La Chorrera. Está constituido por calizas de color gris claro, que alternan con areniscas finamente estratificadas, ambas con abundantes vetillas de calcita (Formación Polier). La secuencia en su conjunto aparece plegada, lo que permite, a partir del análisis de sus elementos, determinar el sentido de las fuerzas que provocaron el plegamiento.

A continuación por el cauce del río aguas arriba, a 100 m se observan algunas estructuras, como fallas inversas y pliegues con planos axiales y ejes bastante verticalizados, cuya orientación corrobora los desplazamientos sinestrales de las fallas. En estas secuencias aparecen calizas de color gris oscuro, laminadas e intercaladas con calizas de estratificación más gruesa. Además, aparece un plegamiento en las calizas donde se evidencian elementos estructurales tales como pliegues con vergencia suroeste, con ejes bastantes verticalizados y fallas inversas que aseguran los desplazamientos sinestrales que caracterizan la zona de falla Pinar.

Punto N° 6 (X-309 300, Y-337 650). Situado a 1 km del puente de Cayajabos por la Autopista Nacional en dirección a Pinar del Río. Se observan una serie de cuerpos lenticulares envueltos en una matriz serpentinitica, dando lugar a estructuras en las que se puede determinar el sentido y dirección de los desplazamientos de éstas a través de su plano principal, con una orientación este-oeste. Se aprecia un gran escarpe de falla donde se describen estrías y escamas de calcita que indican desplazamientos. Las estriaciones presentan orientación $30^\circ \rightarrow 110^\circ$, mientras el plano de falla se inclina al suroeste ($70^\circ \rightarrow 200^\circ$). En el piso del escarpe aparecen una serie de estructuras (fragmentos de rocas desplazados) que confirman los desplazamientos siniestros.

DISCUSIÓN

La Falla Pinar constituye la estructura tectónica de mayor extensión mapeada en superficie en el occidente de Cuba, la cual se extiende por su rumbo por más de 160 km. Mediante trabajos sísmicos y gravimétricos de trabajos anteriores (Fernández de Lara, 1995), se comprueba que el escalón gravimétrico general está compuesto por una serie de escalones de menor desplazamiento vertical (del orden de 300-600 m) que se acuñan unos contra otros. Asociados a estos escalones se detectan cuerpos serpentiniticos emplazados en los planos de fallas que se mapean por magnetometría y han sido comprobados por perforaciones y observados durante los trabajos de campo.

La estructura que hoy señala el escalón geomorfológico (Falla Pinar), es el elemento más septentrional de un sistema de fallas y se desvía hacia el noreste del eje principal del sistema, al este del elemento transversal que limita la zona estructuro-facial Guaniguanico de la zona estructuro-facial San Diego de los Baños.

Hacia el este el sistema va perdiendo magnitud en su desplazamiento vertical, debido al abandono de la dirección principal de los elementos más septentrionales, llegando a atenuarse totalmente su reflejo, producto del aumento de los espesores de cobertura, ocurridos en el escalón transversal que limita al este el bloque Martín Mesa.

Un análisis de los datos obtenidos a partir de mediciones de distintos elementos estructurales mapeados en afloramientos (Puntos. N°1, N°2, N°3, N°4, N°5 y N°6) por el rumbo, en la porción oriental de la de la falla Pinar, podemos categóricamente explicar su evolución en el tiempo.

En un principio, esta funcionó como una fractura de riedel principal originada a partir de la rotación hacia el noreste del stress principal durante los cabalgamientos ocurridos en el Eoceno Inferior

(Gordon y otros 1997), la presencia de estructuras de esquistosidad cizallamiento, de bookshelf sliding, tiling o imbrication de objetos descritos macroscópicamente en (Blumenfeld 1983) y explicados en (Passchier and Trouw 1998) confirman su funcionamiento como una gran zona de shear con desplazamiento siniestro. Otros indicadores detectados, medidos y mapeados (estrías y escamas de calcita etc.) en varios puntos a lo largo de su rumbo dan elementos para comprender que en la evolución de esta gran estructura han intervenido otros desplazamientos subhorizontales hasta gravitacionales al final de su desarrollo (fotos). De forma general, el sistema de falla Pinar en la actualidad tiene un buzamiento subvertical hacia el sur (70° - 80°) y se extiende en profundidad en el orden de 10 km.

De todo lo anterior se deduce que la rotación horaria del máximo stress compresivo, crea el marco propicio para el desarrollo de una fractura de Riedel principal (falla Pinar), aproximadamente a 30° de éste. Durante su evolución, los desplazamientos horizontales son sustituidos por otros subhorizontales, hasta que en su etapa final, funciona como una estructura gravitacional, que separa los bloques norte y sur, hoy representados por la cordillera de Guaniguanico y la Llanura Sur de Pinar del Río, respectivamente.

CONCLUSIONES

1. Los métodos microtectónicos y el análisis estructural, representan una herramienta indispensable para el desciframiento e interpretación de los desplazamientos en estructuras complejas.
2. La Falla Pinar ha evolucionado en el tiempo, funcionando en sus inicios como una falla transcurrente siniestra, seguida por desplazamientos subhorizontales, hasta que en su etapa final se manifiesta como una estructura gravitacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cáceres, D. Estructura Geológica y Pronóstico Preliminar para metales básicos + Barita en la parte central de las Alturas Pizarrosas del Sur (tesis doctoral) 1997. Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río.
- Cáceres, D. Diferentes fases deformacionales en la porción más meridional de Sierra de los Órganos. Resumen III Congreso Cubano de Geología y Minería. 1998. Pag. 67-68.
- Cobiella Reguera, J. Estratigrafía y eventos jurásicos en la cordillera de Guaniguanico, Cuba occidental. Minería y Geología Vol III, (3), 1996a .. Pag 11-25.
- Díaz Duque, J.A. Azze Pavón, A.B., Díaz O, Casarreal, G. Utilización del Gradiente Total Normal de la Gravedad en el Estudio de la Estructura Profunda de la provincia de Pinar del Río. Minería y Geología Vol 5 N° 3 1987 pag 45-50.
- Fernández de Lara, R.. Esquema estructural de la parte central de Cuba. 1995.inédito.
- Gordon, M. Mann, P. Cáceres, D et al. Cenozoic tectonic history of the North American- Caribbean plate boundary zone in western Cuba. Journal of Geophysical Research Vol 102, May 1997 .. Pag 10055-10082.
- Martínez, D y Otros. Algunas consideraciones acerca de la tectónica en la provincia de Pinar del Río. Bol. Geociencia, 1987.
- Martínez, D. Estratigrafía, Tectónica y Magmatismo de la Z. E. F. Guaniguanico 1989, inédito.
- Martínez, D.. Generalización del mapa geológico a escala 1:100 000 del Occidente de Cuba 1994. IGP, Ciudad de la Habana.
- McClay, K. The mapping of geological structures, Geological Society of London. England.. Handbook Series Editor M H de Freitas, 1987.
- Piotrowska, K. Outline of Tectonic of the Pinar del Rio Province (Cuba). Studia Geological Polonica, Serie des Sciencies de la Terre Vol XXIV, 1976 .. Pag 183- 191.
- Pszczolkowski, A. Lithostratigraphy of Mesozoic and Palaeogene rocks of the Sierra del Rosario, Western of Cuba. Studia Geological Polonica Vol 105, 1994a ..Pag 39-64.
- Pszczolkowski, A. Geological cross – section through the Sierra del Rosario thrust belt, western of Cuba. Studia Geologica Polonica, V. 105, 1994a ..Pag 67-90.
- Ramsay, J. Hurber, M. The techniques of modern structural. Geology, Vol 1y 2. Academic. Pres, Inc, London, 1983.



- Ragan, D. Structural geology and introduction of geometrical techniques. Second Edition Inc
Arizona. ..John Wiley and sons, 1973.
- Twiss, R. J. and Moores E.M. Structural Geological. Copyright by H. Freeman and Company. Printer in USA.
1992.
- Passchier, C. W. And Trouw, R. A. J. Microtectonic Copyright Springer- Verlag Berlin Heidelberg. Printer in
Germany 1998.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA ZONA DE FALLAS LA TROCHA: ESCALA REGIONAL

Israel Cruz Orosa, Jesús Blanco Moreno, Yaniel Misael Vázquez Taset

*Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez", Las Coloradas, s/n, Moa, Holguín, Cuba, E.
Mail icruzo@ismm.edu.cu*

RESUMEN

Se realiza un análisis estructural a escala regional de la zona de fallas La Trocha, a partir de la interpretación de un gran volumen de información geólogo – geofísica, la cual fue clasificada como: morfométrica, gravimétrica, geológica de superficie y del subsuelo.

Se obtuvo el modelo digital del terreno (MDT), a partir de la digitalización de 24 cartas del Mapa Topográfico de la República de Cuba 1:50000, editado por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía en 1977. El procesamiento del MDT permitió obtener los principales morfoalineamientos existentes en la región. Se procesó la información obtenida del levantamiento gravimétrico de la Cuenca Central a escala 1:100000, elaborándose los mapas de anomalías de Bouguer, continuaciones analíticas ascendentes y de gradientes. La información geológica de superficie se tomó del Mapa Geológico de la República de Cuba 1:100000, editado por el Instituto de Geología y Paleontología en el año 2001, mientras que la información geológica del subsuelo proviene en su mayoría de los pozos perforados durante la actividad petrolera en la Cuenca Central.

La interpretación combinada de la información geólogo – geofísica permitió un acercamiento a las características geométricas de la zona de fallas La Trocha. Se establecieron las direcciones predominantes en la zona de desplazamiento principal y la posible evolución de los esfuerzos tectónicos. Se propone un modelo de evolución para la región, considerando la existencia de una estructura en flor negativa, la cual ajusta las características existentes y explica el desarrollo simultáneo de una cuenca tensional, la Cuenca Central.

ABSTRACT

A structural analysis of the La Trocha Fault Zone at a regional scale was carried out, following the interpretation of a great volume of geological and geophysical information, which was classified as: morphometric, gravimetric, superficial and underground geology.

A digital elevation model (DEM) was obtained, starting with the digitalization of 24 parts of the Topographical Map of the Republic of Cuba 1:50000, published by the Geodesy and Cartography Cuban Institute in 1977. The processing of the DEM allowed obtaining the main existing alignments in the region. The information of the gravimetric mapping of the Central Basin at a scale of 1:100000 was processed. The maps of anomalies of Bouguer, ascending analytic continuations and gravimetric gradients were constructed. The geological information of the surface was taken from the Geologic Map of the Republic of Cuba 1:100000, published by the Geology and Palaeontology Institute in 2001, while the underground geological information was obtained from the wells perforated during the oil activity in the Central Basin.

The combined interpretation of the geological and geophysical information allowed an approach to the geometric characteristics of the La Trocha Fault Zone. The predominant directions were established in the zone of main displacement and the possible evolution of the tectonic efforts. An evolution model was proposed for the region, considering the existence of a flower structure, which adjusts the existing characteristics and explains the simultaneous development of a tensional basin, the Central Basin.

INTRODUCCIÓN

La estructura geológica de Cuba típicamente se interpreta como un cinturón plegado que yace en posición alóctona, acrecionado al margen meridional de la Placa Norteamericana (Iturralde-Vinent, 1981, ed. 1996, 1998; Bush y Sherbakova, 1986; Pushcharovsky, 1989; Kerr et al., 1999). La evolución del territorio cubano ha

estado caracterizada por una compleja historia de convergencia entre placas, que se confirma por la existencia de las estructuras y secuencias típicas de estos ambientes.

Las fallas de deslizamiento por el rumbo asociadas a conjuntos colisionales oblicuos como el que nos ocupa, son caracterizadas por una zona de desplazamiento principal que puede ser recta o curvilínea vista en planta, a la vez que en perfil aparecen como zonas de fallas subhorizontales que afectan el basamento cristalino y en ocasiones pueden cortar la corteza hasta profundidades medias (Blanco, 1999). Como generalidad los principales factores que controlan el desarrollo de estos tipos de fallas son los siguientes:

- 1) El grado en que los bloques adyacentes convergen o divergen por su rumbo y buzamiento.
- 2) La magnitud de los desplazamientos ocurridos.
- 3) Las propiedades de los sedimentos y rocas que son deformados.
- 4) La configuración de las estructuras preexistentes.

Muchos de los aspectos de las fallas rumbo-deslizantes incluyen evidencias de simultaneidad a escala regional con acortamientos y extensiones, a la vez que manifiestan direcciones aleatorias en la vergencia de los empujes y nappes asociados (Christie-Blick y Biddle, 1985; Uchupi, 1990; Harding, 1990). Particularmente en el sistema de fallas La Trocha tal simultaneidad se justifica espacial y temporalmente por la ocurrencia, desde finales del Cretácico y hasta el Eoceno Superior, de importantes procesos colisionales relacionados primero con la colisión de los terrenos Pinos y Escambray (?) con el Arco Volcánico Albiense - Campaniense y luego con la acreción del Cinturón Plegado Cubano sobre el margen meridional de la Placa Norteamericana. Otra particularidad de las zonas de fallas rumbodeslizantes, muy común en la zona de fallas La Trocha, es la presencia de los pliegues y fallas en echelon, que pueden estar desarrollados dentro o adyacentes a la zona de desplazamiento principal y la coexistencia de fallas normales e inversas en la zona de los movimientos (Christie-Blick y Biddle, 1985; Uchupi, 1990; Harding, 1990).

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de fallas La Trocha constituye uno de los principales elementos tectónicos del territorio cubano. Geográficamente está ubicada en la zona central del país, ocupando parte de las provincias de Ciego de Ávila y Sancti Spíritus. Se considera una estructura disyuntiva de deslizamiento por el rumbo (Draper y Barros, ed. 1994; Iturralde-Vinent, ed. 1997, 1998; Blanco, 1999), cuyo origen se relaciona con el proceso de colisión oblicua y obducción del Cinturón Plegado Cubano sobre el margen pasivo meridional de la Placa Norteamericana (Blanco, 1999). Desde el punto de vista geológico marca el límite entre Cuba Centro Occidental (bloque Las Villas) y Cuba Centro Oriental (bloque Camagüey), conociéndose evidencias de su existencia por datos de teledetección y morfometría (Pérez-Pérez, ed. 1997; Cruz-Toledo et al., 2002, 2005; Cruz-Orosa, 2006); datos geológicos de superficie y del subsuelo (Milián, 1986; Pushcharovsky, 1989; Blanco, 1999; Cruz-Orosa, 2006) y datos geofísicos (Rodríguez y Prol, 1980; Cuevas et al., 1989; Rodríguez y Domínguez, 1993; Álvarez, 2000; Blanco et al., 2000; Peña-Reyna, 2005; Cruz-Orosa, 2006).

Para la realización de este trabajo se utilizó una gran cantidad de datos geólogo – geofísicos, los cuales fueron agrupados como:

- 1) Información morfométrica.
- 2) Información gravimétrica.
- 3) Información geológica de superficie.
- 4) Información geológica del subsuelo.

La mayoría de la información geólogo – geofísica que se utilizó proviene de los trabajos de prospección e investigaciones realizadas en la zona central del país con fines petroleros, aunque

también se dio amplia utilización a las bases cartográficas topográficas y geológicas existentes. La información morfométrica se obtuvo a partir del Mapa de la República de Cuba 1:50000, editado por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía en 1977. Se digitalizaron 24 hojas topográficas, obteniéndose el modelo digital del terreno (MDT) y una serie de información morfométrica derivada de este. La información geofísica se obtuvo de un levantamiento gravimétrico de la Cuenca Central a escala 1:100000, a partir de este se elaboraron los mapas de anomalías de Bouguer, continuaciones analíticas ascendentes y de gradientes horizontales y verticales. La información geológica de superficie se tomó del Mapa Geológico de la República de Cuba 1:100000, editado por el Instituto de Geología y Paleontología en el año 2001, mientras que la información geológica del subsuelo proviene en su mayoría de los pozos profundos perforados durante la actividad petrolera en la Cuenca Central.

El procesamiento y manejo de la información geólogo – geofísica se realizó en su totalidad digitalmente, para esto se utilizaron los paquetes informáticos Didger® versión 3.02; AutoCad Map® 2000; Surfer® versión 8.01; IMAG-PC versión 1.2 (COPEXTEL, 1993); GridFiltering versión Veta (ISM, 2002); ArcView GIS® 3.2 y RockWorks® 2004.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La interpretación combinada de la información morfométrica, gravimétrica y geológica permitió caracterizar estructuralmente la zona de fallas La Trocha y lograr un acercamiento a los modelos de evolución tectónica de la región de estudio.

Características Morfométricas

Para desarrollar la investigación y caracterizar estructuralmente la zona de fallas La Trocha se confeccionó y utilizó los siguientes mapas:

- ❖ Mapa de niveles hipsométricos (MDT).
- ❖ Mapa de pendientes del terreno.
- ❖ Mapa de aspecto del terreno.
- ❖ Mapa de disección vertical.
- ❖ Mapa de red fluvial y sus derivados.
- ❖ Mapas de funciones utilizando análisis con ventanas móviles (media, valor mínimo, valor máximo, varianza y desviación estándar).

La zona de fallas La Trocha se caracteriza por constituir una frontera entre dos regiones con relieve notablemente diferente. Hacia el oeste la región de Las Villas presenta un relieve relativamente elevado y rugoso, caracterizado por dos conjuntos geomorfológicos importantes: la Cordillera Norte de Las Villas y el Macizo Guamuhaya. La primera se extiende al norte de las provincias Villa Clara, Sancti Spiritus y Ciego de Ávila y se caracteriza por conformar franjas estrechas y alargadas con rumbo NW-SE, paralelo al rumbo de los mantos de cabalgamientos que existen en toda el área. El Macizo Guamuhaya, o Escambray como también se conoce, contiene las cotas máximas en Cuba Central, se presenta formando un sistema de cúpula-bloque con una compleja estructura interna y su formación se supone relacionada a levantamientos del Mioceno Superior (Arcia-Rodríguez et al., ed. 1997). En cambio la región de Camagüey se presenta con extensas llanuras que abarcan toda la zona emergida, de costa a costa, existiendo solo algunas pequeñas elevaciones hacia el norte que constituyen la Sierra de Cubitas y la Sierra de Camaján.

La mayor parte del área de estudio presenta cotas que no rebasan los 100 metros de altura, siendo evidente una tendencia a ir disminuyendo desde un eje central hacia las costas. Particularmente el sector centro occidental, que constituye el extremo oriental de la Cordillera Norte de las Villas, en

algunos puntos sobrepasa los 400 metros sobre el nivel medio del mar. En esta zona se ha descrito la existencia de sistemas de horst escalonados (Arcia-Rodríguez et al., ed. 1997) y en algunas localidades hay evidencias de sistemas de colinas que marcan alineamientos de gran envergadura y que rompen la trayectoria típica de los sobrecorrimientos asociados a los mantos de cabalgamiento del frente de colisión. En ocasiones ambos sistemas llegan a tener una relación casi perpendicular.

En el norte de la región de estudio, específicamente en las localidades de Punta Alegre, Turiguanó y Cunagua, existen estructuras anulares formando cúpulas que sobresalen en un relieve de fondo muy llano. Tales estructuras están relacionadas a procesos de diapirismo de las secuencias evaporíticas depositadas durante la apertura de la cuenca del protocaribe en el Jurásico Superior (Iturralde-Vinent, ed. 1997, 1998) y constituyen una evidencia que corrobora la hipótesis de que Cinturón Plegado Cubano está sobrecorrido y acrecionado sobre el margen meridional de la Placa Norteamericana. A partir de la interpretación conjunta de la información morfométrica del área de estudio, se pudo establecer que las direcciones predominantes de los morfoalineamientos son NW-SE y NE-SW (figura 1).

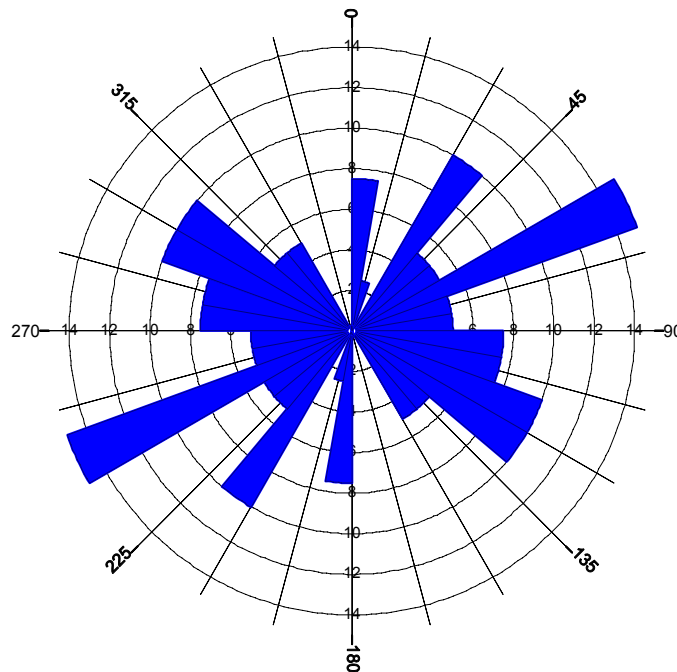


Figura 1: Diagrama de rosetas de los principales morfoalineamientos del área de estudio, detectados a partir de la interpretación conjunta de la información morfométrica.

La primera familia tiene una clara relación con el rumbo de emplazamiento de los mantos de cabalgamiento, ocurridos durante el proceso de colisión oblicua entre el Cinturón Plegado Cubano y el margen meridional norteamericano. Estos morfoalineamientos aparecen relacionados a zonas direccionales de pendientes fuertes y en menor medida con alineaciones de la red fluvial, fundamentalmente en la zona centro occidental del área de estudio, que es ocupada por el extremo oriental de la Cordillera Norte de Las Villas. En el diagrama de rosetas se puede notar una transición en la frecuencia de aparición desde la dirección E-W a la NW-SE, donde alcanza la frecuencia máxima, posiblemente relacionada con la evolución de los esfuerzos en la zona de fallas La Trocha.

En la dirección NE-SW se distinguen dos máximos en la frecuencia de aparición de los morfoalineamientos. El primero con rumbo N 30° E, se relaciona fundamentalmente con alineaciones de la disección vertical y con zonas alineadas de pendientes, desviación estándar y red fluvial,

aparece sobre todo hacia el sector SW del área de estudio en el límite entre el terreno Escambray y la Cuenca Central; mientras que el segundo máximo de esta familia, con rumbo N 60° E, se relaciona con los morfoalineamientos que aparecen en el extremo oriental de la Cordillera Norte de Las Villas, marcados por sectores lineales de los niveles hipsométricos, pendientes, disección vertical y desviación estándar fundamentalmente. Como generalidad la dirección de morfoalineamientos NE-SW en el área de estudio se relaciona con la zona de desplazamiento principal del sistema de fallas La Trocha y su sistema subordinado. El hecho de que existan diferencias en el rumbo de los morfoalineamientos de las zonas norte y sur que marcan esta estructura, nos indica que la zona de desplazamiento principal no es recta, sino que describe una trayectoria curvilínea, con las consecuentes implicaciones en la evolución de los esfuerzos y la cuenca tensional asociada, la Cuenca Central.

Características Gravimétricas

El campo de anomalías de Bouguer en la zona de fallas La Trocha describe una intensa anomalía negativa, alargada y estrecha, que se extiende en dirección NE-SW (figura 2). Generalmente las zonas de cambio de signo presentan altos gradientes, lo que indica que el contacto entre los objetos geológicos con valores positivos y negativos del campo es abrupto. Hacia los extremos este y oeste se observa un fuerte cambio en el carácter del campo gravimétrico, a diferencia de la parte central en estas zonas las anomalías presentan una dirección predominante NW-SE, paralela al eje central de la isla y al rumbo de emplazamiento de los mantos tectónicos que conforman el Cinturón Plegado Cubano.

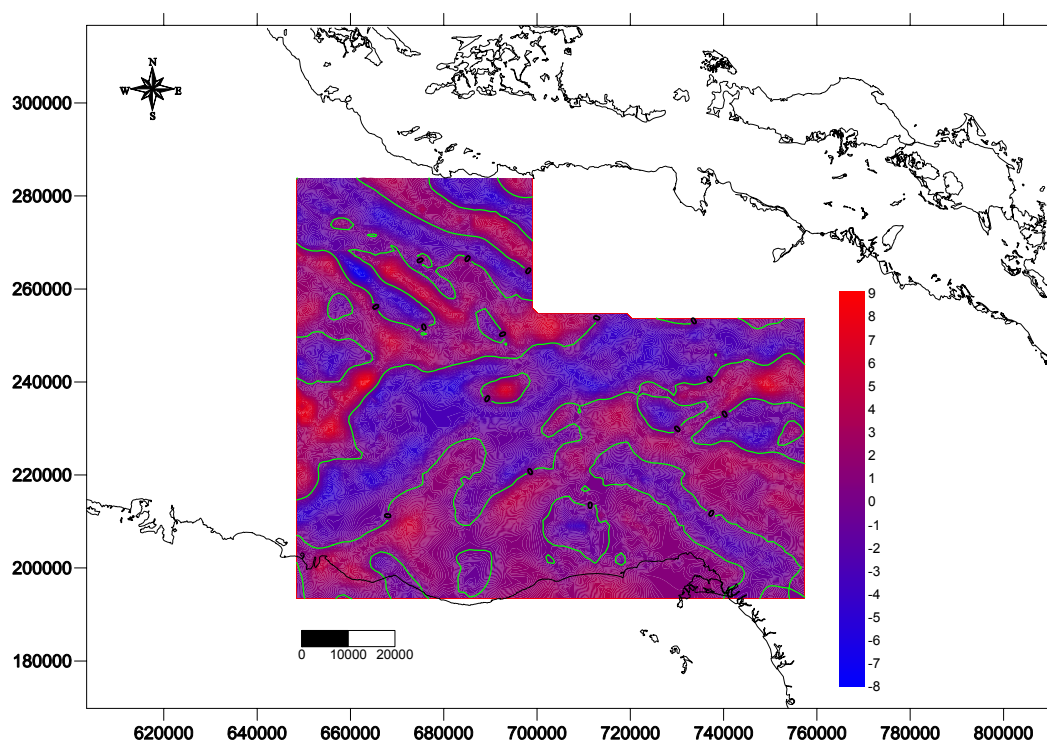


Figura 2: Mapa de anomalías de Bouguer Δg (mGal) que abarca el área de desarrollo de la zona de fallas La Trocha y la Cuenca Central.

Evidentemente la información gravimétrica indica la existencia de una zona de fallas que separa las regiones de Las Villas y Camagüey. La anomalía negativa del campo gravimétrico ubicada al centro

del área, confirma el desarrollo de una cuenca sedimentaria asociada genética y estructuralmente a la zona de fallas, en la cual se depositaron desde el Cretácico Superior Campaniano-Maastrichtiano rocas sedimentarias, predominantemente facies terrígeno-arcillosas (Sánchez-Arango, 1977; Milián, 1986, 1987a, b, 1989; Blanco, 1999).

En los mapas de continuaciones analíticas ascendentes (CAA) se puede reconocer la existencia de anomalías que están presentes en el mapa de Δg con mayor intensidad y gradiente, mientras otras que se observan en el mapa de Δg aquí no existen, lo que indica que las mismas son producidas por cuerpos muy someros. En general en los mapas de CAA (500, 1000, 2000 y 3000 metros) continúa manifestándose la anomalía central, alargada en dirección NE-SW, separando hacia este y oeste respectivamente áreas donde las anomalías del campo gravimétrico presentan una dirección predominante NW-SE.

Los mapas de gradientes al igual que los de CAA y Δg confirman la existencia en el área de estudio de dos direcciones principales de alineamientos, NW-SE y NE-SW. La primera paralela al rumbo de emplazamiento del Cinturón Plegado Cubano y la segunda marcando el rumbo de la zona de desplazamiento principal del sistema de fallas La Trocha. Los esquemas de gradientes se han representado utilizando técnicas de iluminación artificial para acentuar la visibilidad de las estructuras.

En todos los mapas gravimétricos mostrados (Δg , CAA y gradientes) se puede apreciar la existencia de una faja de dirección predominante NE-SW, que marca una estructura disyuntiva de primer orden y que separa, hacia el este y oeste respectivamente, dos zonas donde el campo gravimétrico se presenta con anomalías alargadas en dirección NW-SE, posiblemente relacionadas con las estructuras de sobrecorrimiento existentes en el Cinturón Plegado Cubano. La gran anomalía negativa situada en el centro del área, marca con bastante claridad los límites de la cuenca tensional que se asocia al sistema de fallas La Trocha, la Cuenca Central. En el interior de la anomalía central se observan anomalías más pequeñas de dirección NW-SE, que pueden estar relacionadas con la existencia de mantos de cabalgamiento en el basamento de la cuenca, como es de suponer considerando que esta se desarrolló durante el período de colisión entre el Cinturón Plegado Cubano y el margen meridional norteamericano.

Constitución Geológica

En el área de estudio afloran dos niveles estructurales: el Substrato Plegado (Cinturón Plegado Cubano) y el Neoautóctono (Neoplatформа) (Iturralde-Vinent, ed. 1996, ed. 1997). La estructura geológica de la región confirma la existencia de un cinturón plegado cubierto desde el Eoceno Superior por una secuencia de desarrollo platafórmico. En la zona además se conocen evidencias de los eventos resultantes de la colisión del terreno Escambray y el arco volcánico del Cretácico y del proceso de colisión oblicua y acreción del Cinturón Plegado Cubano sobre el margen meridional de la Placa Norteamericana, con la consecuente generación de las estructuras típicas de estos ambientes (escamas y mantos de sobrecorrimientos, fallas rumbodeslizantes y estructuras en flor) y la formación de los elementos geomorfológicos que reflejan tales sucesos.

En la figura 3 se han representado las principales estructuras disyuntivas que han sido incorporadas al Mapa Geológico de la República de Cuba 1:100000, editado por el Instituto de Geología y Paleontología en el año 2001. Se muestran por separado las estructuras que han sido descritas como sobrecorrimientos con el objetivo de resaltar los eventos que dieron origen a las mismas.

Las estructuras descritas como fallas normales, inversas o de deslizamiento por el rumbo (excluyendo solo los sobrecorrimientos), existen en toda el área y presentan direcciones predominantes NE-SW, prácticamente perpendiculares al rumbo de emplazamiento del Cinturón Plegado Cubano. Estas

estructuras afectan sobre todo el sustrato plegado, aunque en menor medida pueden aparecer reactivadas y afectando la Neoplataforma.

Los sobrecorrimientos describen una dirección predominante NW-SE, asociada al Sistema Cubano (Iturralde-Vinent, ed. 1997) que tiene su origen relacionado a los procesos de colisión y acreción del Cinturón Plegado Cubano sobre el margen meridional de la Placa Norteamericana. Aparecen fundamentalmente hacia el norte del área, donde afloran las secuencias de la Plataforma de Bahamas y del Complejo Ofiolítico. También se han descrito como sobrecorrimientos muchas estructuras en el complejo metamórfico del Escambray, que evidentemente responden a la dirección NW-SE predominante, pero con la diferencia de que acá se deben considerar además los resultados del proceso de colisión entre el Escambray y el Arco Volcánico Albiense-Campaniense durante el Cretácico Superior (?) y la posterior exhumación de este terreno. La posición relativa de los afloramientos del frente de colisión en la región de Las Villas y en Camagüey, aportan criterios para establecer la evolución del movimiento relativo entre ambas regiones y del movimiento predominante durante la colisión en la zona de fallas La Trocha.

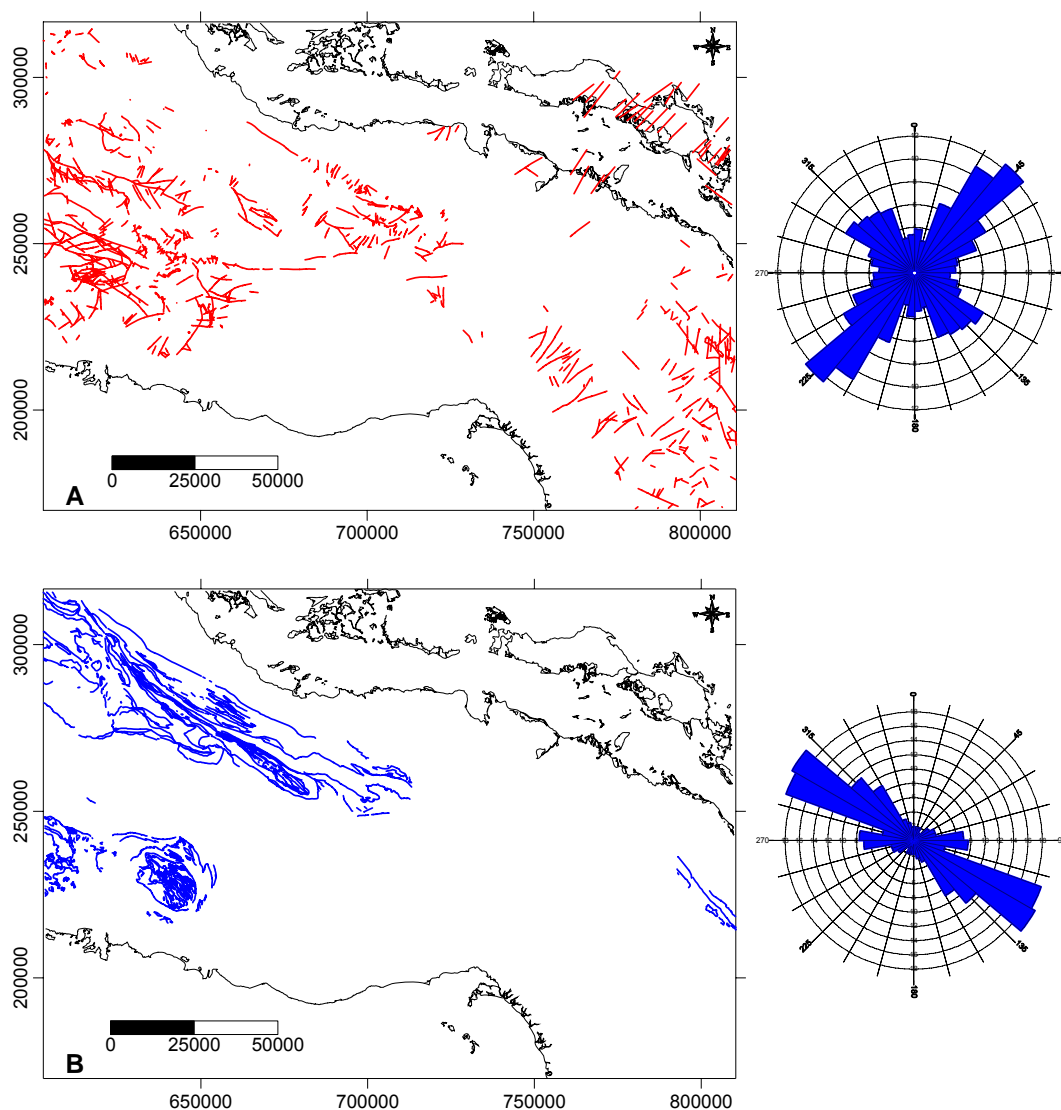


Figura 3: Esquemas de las estructuras disyuntivas reportadas en el área de estudio. A, estructuras descritas como fallas (directas, inversas y transcurrentes); B, estructuras descritas como sobrecorrimientos (confeccionado a partir del Mapa Geológico de la República de Cuba 1:100000, Instituto de Geología y Paleontología, 2001).

Análisis Estructural

Integrando la información morfométrica, geofísica y geológica que ha sido presentada, podemos confirmar la existencia de una zona de fallas que constituye un límite tectónico entre las regiones de Las Villas y Camagüey, la zona de fallas La Trocha. Esta estructura y su sistema subordinado se presentan casi perpendicularmente al rumbo principal del emplazamiento de los mantos tectónicos que conforman el Cinturón Plegado Cubano en la zona central del país y se caracteriza por un movimiento predominantemente rumbodeslizante siniestro (Draper y Barros, ed. 1994; Iturralde-Vinent, ed. 1997, 1998; Blanco, 1999; Cruz-Orosa, 2006).

El sistema de fallas La Trocha tuvo su génesis en un ambiente compresivo, vinculado al proceso de colisión oblicua entre el Cinturón Plegado Cubano y el margen meridional de la Placa Norteamericana. Este proceso posiblemente tuvo su origen relacionado con la apertura de la Cuenca de Yucatán a finales del Cretácico (Pindell, ed. 1994; Donnelly, ed. 1994) y se extendió hasta el Eoceno Superior cuando comienza la actividad transformante en el límite noroccidental de la Placa del Caribe. Durante todo este período se desarrolló el Cinturón Plegado Cubano, que estaba conformado hasta ese momento por las secuencias procedentes de los márgenes del sur (?) (terrenos Guaniguanico, Pinos y Escambray); las secuencias representativas de la actividad volcánica del Mesozoico (PIA, Arco Volcánico Boninitico y Arco Volcánico Albiense-Campaniense); las secuencias del Complejo Ofiolítico (Ofiolitas Septentrionales) y finalmente las secuencias representativas del margen pasivo meridional de la Placa Norteamericana (zonas de Cayo Coco, Remedios, Camajuaní y Placetas).

La dirección de la colisión y emplazamiento del Cinturón Plegado Cubano sobre el margen norteamericano fue sub-latitudinal, de sur a norte. El movimiento y avance del frente de colisión fue diferenciado según bloques que fueron separados entre sí por un sistema de fallas rumbodeslizantes de dirección predominante SW-NE (figura 4), que permitieron la rotación y reacomodo horizontal y vertical de los bloques según las proporciones del avance generado, la forma y dimensiones de las estructuras preexistentes en el margen meridional de la Placa Norteamericana.

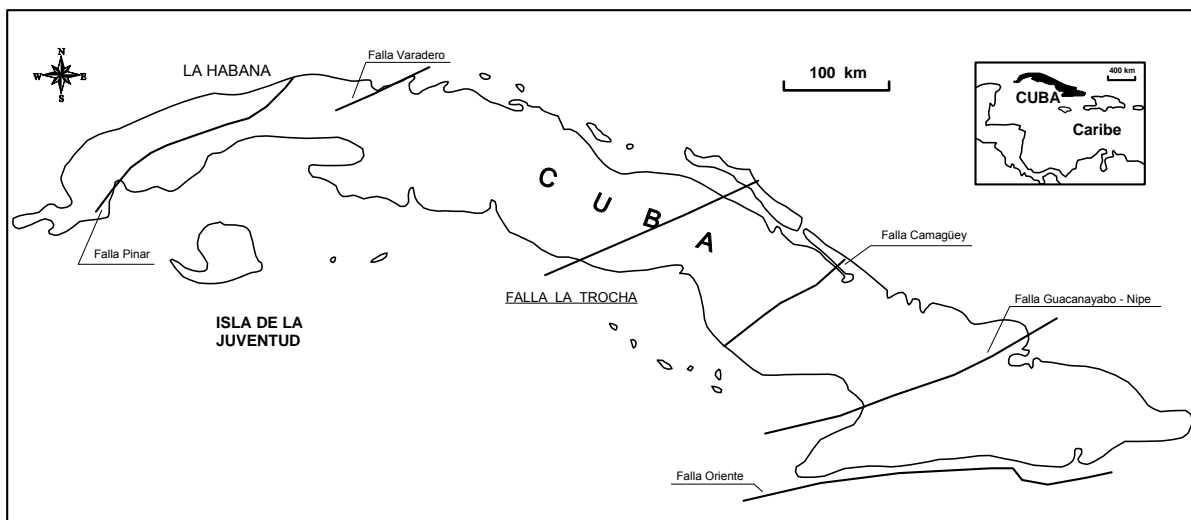


Figura 4: Principales estructuras rumbodeslizantes reportadas en el territorio cubano (modificado de Iturralde-Vinent, ed. 1997).

Particularmente en la zona de fallas La Trocha el movimiento relativo de los bloques fue siniestro (Draper y Barros, ed. 1994; Iturralde-Vinent, ed. 1997, 1998; Blanco, 1999), que puede ser confirmado hoy en día por la disposición relativa del frente de cabalgamiento en las regiones de Las Villas y Camagüey. El hecho de que en la región de Las Villas los niveles de deformación sean más intensos que en el extremo oriental de la zona de fallas La Trocha, nos indica que los esfuerzos generados durante la colisión fueron mayores.

La zona de desplazamiento principal del sistema de fallas La Trocha comúnmente ha sido marcada como una línea recta de rumbo NE-SW (Pushcharovsky, 1989), sin embargo los datos que han sido manejados para esta investigación demuestran que tal interpretación no es del todo correcta. La tendencia general confirma el rumbo NE-SW, pero distinguiendo dos zonas algo diferentes. La información morfométrica indica que en el sector sur de la zona de fallas, justo en el límite entre el Escambray y la porción sur de la Cuenca Central, los alineamientos presentan un rumbo N 30° E, este dato es confirmado por gravimetría, pues coincide con una zona de alto gradiente entre dos anomalías muy intensas y de signo opuesto. En cambio, en el sector norte del sistema de fallas predominan los alineamientos con rumbo N 60° E, en relación con sectores lineales de los niveles hipsométricos, pendientes, disección vertical y coincidiendo con una zona de alto gradiente gravimétrico, que marca el límite geológico entre el extremo oriental de la Cordillera Norte de Las Villas y la porción norte de la Cuenca Central.

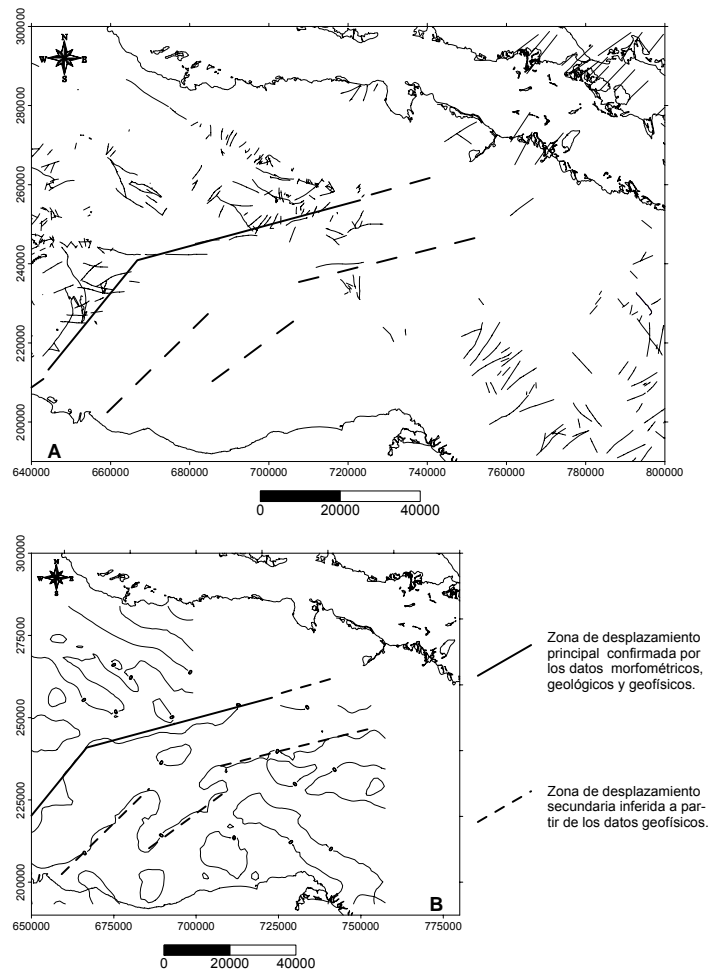


Figura 5: Configuración de la zona de desplazamiento principal del sistema de fallas La Trocha lograda a partir de la interpretación combinada de los datos morfométricos, geofísicos y geológicos. A, relación con las estructuras descritas en superficie (no se incluyen los sobrecorrimientos); y B, relación con el campo gravimétrico.

La configuración de la zona de desplazamiento principal del sistema de falla La Trocha, lograda a partir de la interpretación combinada de los datos morfométricos, geofísicos y geológicos utilizados durante esta investigación, se muestra en la figura 5. Este límite es particularmente nítido en el esquema geológico de superficie, sobre todo en los sectores donde aflora el substrato plegado en contacto con las secuencias de la Cuenca Central. La información gravimétrica también marca muy bien la zona de desplazamiento principal y además indica la posible existencia de otras estructuras sub-paralelas a las primeras, que pueden constituir una zona de desplazamiento secundaria y el límite oriental de la Cuenca Central, de estas estructuras no se conoce evidencia alguna en superficie.

Una característica del área de estudio que no podemos omitir, es el hecho de que coexisten dos importantes sistemas de fallas rumbodeslizantes, relacionados ambos con el proceso de colisión: 1) el Sistema Cubano (NW-SE), que incluye las estructuras de sobrecorrimientos presentes en la región, sobre todo en el sector noroccidental, aunque es un sistema importante en todo el Cinturón Plegado Cubano; y 2) el Sistema La Trocha, con dirección NE-SW. Como se ha visto la relación espacial de estos sistemas tiende a la perpendicularidad, justificando la existencia en toda el área de estudio, y sobre todo en el substrato, de un sistema tipo Riedel característico de la tectónica transcurrente, con las consecuentes implicaciones para la estructura regional, incluyendo los márgenes y el basamento de la Cuenca Central.

Particularmente en la porción norte de la Cuenca Central, su basamento y el margen occidental, existen evidencias que confirman la existencia de este proceso. El basamento de la Cuenca Central en su porción norte, que ha sido muy estudiado durante la actividad petrolera desarrollada en esta zona, se presenta muy fracturado y dividido en numerosos bloques tectónicos, en los que se han descrito desplazamientos de hasta 1000 metros en dirección sub-latitudinal y de 100 a 300 metros en dirección sub-longitudinal (Blanco, 1999). En el margen noroccidental de la Cuenca Central se observa el desarrollo de estructuras en abanico, que pueden estar relacionadas con la evolución de los esfuerzos y el movimiento de la zona de fallas La Trocha. El estudio detallado de esta zona puede aportar evidencias importantes que permitan esclarecer las características del proceso de colisión, sus límites temporales y la evolución de los esfuerzos durante y después de terminado el proceso.

A lo largo de la zona de desplazamiento principal del sistema de fallas La Trocha se percibe un cambio de los esfuerzos predominantes. La zona norte se caracteriza por la existencia de fallas inversas, típicas de un proceso trans-compresivo y la presencia de pliegues en echelon, desarrollados en las formaciones del Eoceno Medio - Oligoceno (Blanco, 1999), mientras que hacia el extremo sur predominan los esfuerzos trans-distensivos, combinados con la existencia de fallas normales y el ensanchamiento y subsidencia de la porción sur de Cuenca Central, donde se alcanzan los espesores máximos de sedimentos en toda la cuenca. Este cambio de los esfuerzos predominantes a lo largo de la zona de desplazamiento principal del sistema de fallas La Trocha, puede ser explicado a partir del análisis de las características geométricas del sistema, considerando además el predominio de un movimiento rumbodeslizante siniestro de rumbo NE-SW y una rotación en sentido horario de los bloques situados a ambos lados de la zona de desplazamiento principal.

Los aspectos analizados sugieren que la evolución de la zona de fallas La Trocha, posiblemente estuvo caracterizada por el desarrollo de una estructura en flor negativa (figura 6) durante el período

Campaniano Superior – Eoceno Superior, favoreciendo el desarrollo simultáneo de la Cuenca Central. Tal hipótesis puede ser confirmada a partir del análisis del registro sedimentario depositado en la cuenca durante ese intervalo de tiempo. Por otra parte, la existencia en la actualidad de una zona de fallas inversas (Zaza-Tuinicú) en el límite noroccidental de la Cuenca Central, puede ser evidencia de una inversión tectónica generada a partir del predominio de los movimientos verticales desde finales del Eoceno Superior, a partir de la cual se puede haber generado una estructura en flor positiva en la zona norte de la Cuenca Central. Esta hipótesis debe ser conformada mediante datos más detallados, que puedan argumentar la variación de los esfuerzos tectónicos predominantes y una evolución diferenciada de los sectores norte y sur de la Cuenca Central.

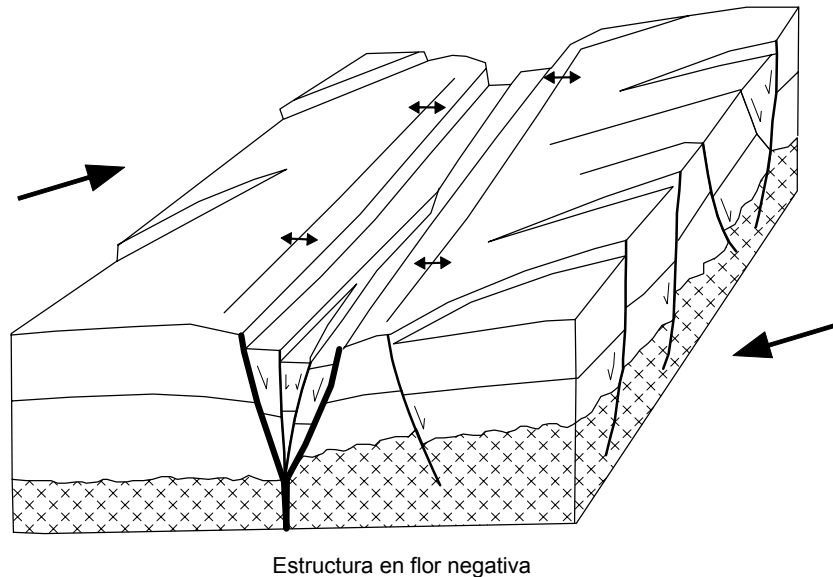


Figura 6: Bloque diagrama característico de ambientes transtensivos (modificada de Christie-Blick y Biddle, 1985), representativo de la evolución de la zona de fallas La Trocha durante el período Campaniano Superior – Eoceno Superior.

CONCLUSIONES

La zona de fallas La Trocha tuvo su génesis relacionada con el proceso de colisión entre el Cinturón Plegado Cubano y el margen meridional de la Placa Norteamericana. La configuración actual se caracteriza por la existencia de alineamientos con rumbo N 60° E hacia la porción norte de la zona de fallas, mientras que en la porción sur predominan las alineamientos con rumbo N 30° E. La información gravimétrica revela la existencia de estructuras en profundidad que pueden constituir zonas de desplazamiento secundarias y el límite oriental de la Cuenca Central.

Entre el Campaniano Superior y el Eoceno Superior en la zona de fallas predominó un movimiento rumbodeslizante siniestro y distensivo, posiblemente relacionado con el desarrollo de una estructura en flor negativa, que propició el desarrollo simultáneo de la Cuenca Central. Desde finales del Eoceno Superior al parecer predominaron los movimientos verticales, que propiciaron la configuración actual caracterizada por una continua subsidencia de la porción sur de la Cuenca Central, mientras que la porción norte se mantiene más levantada y su límite occidental es tectónico de tipo inverso, evidenciando que los esfuerzos locales son compresivos.

En próximas investigaciones se prevé continuar el análisis estructural de la zona de fallas La Trocha a una escala más detallada y haciendo uso de las técnicas de microtectónica, con el objetivo de confirmar las características geométricas, la evolución tectónica regional y sus implicaciones para el desarrollo de la Cuenca Central.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, J. L., L. A. Cuevas, E. Díaz, B. Polo, 2000. Interpretación Integrada de los Campos Geomagnético y de Anomalías de Bouguer total en el Caribe centro occidental. Memorias del I Congreso Cubano de Geofísica, Revista Electrónica Memorias de GEOINFO, 13 p.
- Arcia-Rodríguez, M., G. Barranco, R. del Busto, C. Cañete-Pérez, M. Cotilla, E. González, R. Gutiérrez, J. Hernández, S. Interián, E. Marqués, J. Mateo, O. Muñiz, M. Palet, E. Propín, C. Valdés, 1997. Características geólogo-geográficas de Cuba. En G. Furrázola Bermúdez, K. Núñez Cambra (eds.). Estudios sobre geología de Cuba, Instituto de Geología y Paleontología, 13-34 (publicado en marzo de 1998).
- Blanco, J. A., J. A. Batista, B. Riverón, 2000. Estructura de la cuenca de antepaís en la zona de sutura de la región Esmeralda-Minas, provincia de Camagüey según datos gravimétricos. Libro de resúmenes, Geofísica 2000, I Congreso Cubano de Geofísica, Edición Sociedad Cubana de Geología, Cuba, p. 61.
- Blanco, J., 1999. Estratigrafía y paleogeografía de las cuencas superpuestas de Cuba centro-oriental. Tesis doctoral. ICT, ISMM, Moa. Cuba. 146 p.
- Bush, V. A., I. N. Sherbacova, 1986. New data on the deep tectonics of Cuba. *Geotectonics*. 20(3). 24-43.
- Christie-Blick, N., K. Biddle, 1985. Strike-slip deformation basin formation and sedimentation. *Soc. Econ. Paleont. Mineral., Spec. Pub.*, 37, 386 p.
- Cruz-Orosa, I., 2006. Análisis tectono-estratigráfico de la zona de fallas La Trocha, Cuba Central. Tesis de Maestría. ICT, ISMM, Moa. Cuba. 90 p.
- Cruz-Toledo, R., J. Álvarez-Castro, L. Mejías- Rodríguez, 2005. Geomorfología fluvial con un objetivo petrolero. Trabajo presentado en evento, VI Congreso Cubano de Geología, La Habana, Cuba. 10 p.
- Cruz-Toledo, R., J. Gómez, J. Álvarez-Castro, O. Rodríguez-Morán, L. Mejías- Rodríguez, 2002. La geomorfología para la búsqueda de objetivos petroleros en los bloques 12 y 13. Trabajo presentado en evento, Geofísica 2002, La Habana, Cuba. 11 p.
- Cuevas, J. L., M. Fundora, M. Pacheco, B. Polo, 1989. I Congreso Cubano de Geología, La Habana, Nuevo mapa de anomalías gravimétricas de Bouguer para la República de Cuba a escala 1:500 000. pp 114.
- Donnelly, T., 1994. Caribbean sea floor. En: *Caribbean Geology an introduction*. Donovan, S. K.; Jackson, T. A. (eds), Jamaica.
- Draper, G., J. A. Barros, 1994. Cuba. En: *Caribbean Geology an introduction*. Donovan, S. K.; Jackson, T. A. (eds), Jamaica. 65-86.
- Harding, T., 1990. Identification of wrench faults using subsurface structural data: criteria and pitfalls. *AAPG*. 74(10). 1590-1609.
- Iturralde-Vinent, M.A., 1996. Introduction to Cuban Geology and Geophysics. In: *Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba* (Ed. Iturralde-Vinent, M.A.). IGCP Project 364, Special Contribution 1, 3-35.
- Iturralde-Vinent, M.A., 1997. Introducción a la geología de Cuba. En G. Furrázola Bermúdez, K. Núñez Cambra (eds.). Estudios sobre geología de Cuba, Instituto de Geología y Paleontología, 35-68 (publicado en marzo de 1998).
- Iturralde-Vinent, M.A., 1998. Sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba. *Acta Geológica Hispánica*, 33, 9-56.
- Iturralde-Vinent, M.A., D. Tchounev, R. Cabrera, ed. 1981. Geología del territorio de Ciego-Camagüey-Las Tunas: Resultados de las investigaciones científicas y del levantamiento geológico escala 1:250000. Academias de las Ciencias de Cuba y Bulgaria, 940 pp. y mapas. (Inédito, Oficina de Minerales).
- 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. *Geological Society of America Bulletin*, 111, 1581-1599.
- Milián, E., 1986. Estratigrafía del área Catalina, Cuenca Central, basado en datos del subsuelo. *Serie Geológica*. 1. 18-30.
- Milián, E., 1987a. Análisis, generalización y evaluación de las posibilidades gasopetrolíferas de la Cuenca Central y elaboración de recomendaciones sobre los trabajos de prospección geológica. CUPET. Majagua, (inédito). 37 p.

- Milián, E., 1987b. Caracterización de las facies colectores y sellos, y su distribución areal para los depósitos Cretácico-Paleógenos de la Cuenca Central de Cuba, (inédito) Fondo UFEP Majagua. Ciego de Ávila (inédito). 215 p.
- Milián, E., 1989. Análisis formacional de la Cuenca Central de Cuba. Revista Tecnológica. 1.
- Peña-Reyna, A., 2005. Modelación 3D de datos gravimétricos de la parte norte de la Cuenca Central. Trabajo de Diploma. ICT, ISMM, Moa. Cuba. 70 p.
- Pérez-Pérez, C., 1997. Principales estructuras geológicas de Cuba determinadas por medio de la teledetección. En G. Furrázola Bermúdez, K. Núñez Cambra (eds.). Estudios sobre geología de Cuba, Instituto de Geología y Paleontología, 69-74 (publicado en marzo de 1998).
- Pindell, J.L., 1994. Evolution of the Gulf of Mexico and the Caribbean. In: Caribbean Geology: An Introduction (Eds. Donovan, S.K., Jackson, T.A.). U.W.I. Publishers' Association, Kingston, Jamaica, pp. 13-39.
- Pushcharovsky, Y., 1989. Tectonics of the Republic of Cuba. Explanatory note to the tectonic map of Cuba scale 1:500 000 (en ruso): Ed. Nauka, Moscow, 77 p.
- Rodríguez, M., R. Domínguez, 1993. Informe sobre los resultados del levantamiento gravimétrico en Jatibonico-Pina-Esmeralda. Empresa Nacional de Geofísica. Cuba.
- Rodríguez, M.J., L. Prol, 1980. Informe sobre el levantamiento gravimétrico detallado del área Mayajigua-Morón. Empresa Nacional de Geofísica, Cuba.
- Uchupi, J., 1990. Cuencas de pull-apart en el Caribe. Geofísica Internacional, 2.

ESTUDIO GEOQUIMICO COMPARATIVO DEL VULCANISMO CALCOALCALINO DEL SECTOR LOS MANGOS Y LA FORMACION MATAGUA

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

RESUMEN

El vulcanismo cretácico desarrollado en la región central del territorio cubano, ha sido ampliamente divulgado en la literatura. La investigación que nos ocupa, contempla el vulcanismo calcoalcalino cretácico correspondiente al sector Los Mangos de la formación Los Pasos y su comparación desde el punto de vista geoquímico con la formación Matagua, en primer lugar, con el objetivo de iniciar el estudio comparativo entre las formaciones calcoalcalinas de edad cretácica de Cuba Central y lograr así un conjunto representativo de estas rocas para la región factible de ser considerado como patrón de referencia. Para esto se realizaron comparaciones en cuanto a la clasificación química observándose un comportamiento semejante entre las rocas de ambos grupos. En ambos conjuntos se presentan señales de modificaciones ocurridas a bajas temperaturas materializadas por la alteración de la plagioclasa, entre otras. En general el comportamiento de las rocas de la formación Matagua indica una tendencia calcoalcalina transicional, mientras que los Mangos es fuertemente calcoalcalina. Se sugiere para una mejor caracterización de las rocas de ambos conjuntos el estudio químico de las principales fases minerales y accesorias, así como la identificación mas precisa de los procesos geológicos y sus fuentes mediante la utilización de la geoquímica isotópica.

ABSTRACT

The cretacic vulcanism Developer in the central region of Cuba has been widely spread in the literature. Our investigation comprises cretaceous calcoalkaline vulcanism dealing with Los mangos sector, of Los Pasos Formation and its comparison from the geochemistry point of view Matagua Formation, the initial aim of the comparative study between the calcoalkaline formations of Cretacic age from Central Cuba and so achieve a representative group of these rocks for the region, likely to be considered as a reference pattern. For this comparisons were established for the chemical classification with similar behaviour between the rocks of both groups. These groups show alterations taking place at low temperatures. In general, the behaviour of rocks of Matagua Formation indicates a calcoalkaline transitional tendency while Los Mangos has calcoalkaline character. It is suggested for a better characterization of rocks from the two groups, the geochemical study of mineral phases and accessories, as well as a more precise identification of the geologic process and their sources by the use of the isotropic geochemistry.

El vulcanismo cretácico desarrollado en la región central del territorio cubano, ha sido ampliamente divulgado en la literatura. La investigación que nos ocupa, contempla el vulcanismo calcoalcalino cretácico correspondiente al sector Los Mangos de la formación Los Pasos y su comparación desde el punto de vista geoquímico con la formación Matagua, en primer lugar, con el objetivo de iniciar el estudio comparativo entre las formaciones calcoalcalinas de edad cretácica de Cuba Central y lograr así un conjunto representativo de estas rocas para la región factible de ser considerado como patrón de referencia.

El sector Los Mangos esta constituido por cuerpos subvolcánicos de composición desde básica hasta ácida y sus tobas de igual constitución, con predominio de las intermedias. Mientras que la

fm. Matagua esta integrada por lavas y lavobrechas basálticas andesito-basálticas y andesíticas, así como sus tobas de igual composición que las tobas y de granulometría muy fina.

Para una mejor visualización del comportamiento químico de los elementos mayores de las rocas de ambos conjuntos se han determinado diferentes intervalos en que se sitúan respectivamente las rocas de los mismos. Se ha tenido en cuenta que mientras que en el muestreo de la fm. Matagua se consideraron tanto rocas de origen efusivo como subvolcánicos, en el sector Los Mangos solo son de origen subvolcánico. De esta forma se puede observar que existe una cierta diferenciación entre los valores de los elementos mayores incluso al compararse los del mismo origen.

Se observa que el SiO_2 , en la fm. Matagua se mueve entre 43,98 y 60,14, mientras que en las del sector Los Mangos lo hacen en un intervalo entre 49,22 y 78,12. Lo que indica un vulcanismo de composición básica hasta media en la fm. Matagua en comparación con el sector Los Mangos representado como una serie expandida (términos básicos hasta ácidos).

El K_2O y el Na_2O se distribuyen en intervalos aproximadamente iguales para ambos conjuntos, si bien el Na_2O en el sector Los Mangos es algo más elevado.

El Al_2O_3 y el CaO poseen comportamientos semejantes disminuyendo sus valores con el avance de la cristalización; aunque para determinadas muestras superficiales se presentan valores de CaO dispersos del "trend" general, posiblemente reflejando el elevado grado de alteración de las plagioclasas.

Los valores de TiO_2 permanecen aproximadamente constantes en las porciones menos evolucionadas con un aumento moderado en cuanto se desarrolla la serie.

En general se muestran nítidas variaciones composicionales de los elementos mayores con el aumento de los valores de SiO_2 .

En la relación ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$) utilizada tanto para diferenciar tipos de rocas ígneas como para expresar el carácter sódico o potásico de las mismas, Le Maitre *et al.* (1986) propone una división con base a la relación $\text{K}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} - 2$, donde se considera una roca como potásica cuando $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ y sódica cuando $\text{K}_2\text{O} < \text{Na}_2\text{O}$. De acuerdo a este criterio mientras que las rocas del sector Los Mangos se presentan como sódicas a excepción de las tobas con valores de potasio mas elevados, en la fm. Matagua la excepción resulta en las muestras de rocas efusivas.

Al relacionar las proporciones cationicas de K, Ca y Na se verifica la tendencia de ambos conjuntos a seguir la línea clásica calcoalcalina; pero con un enriquecimiento en K_2O de la tobas en el caso de las rocas del sector Los Mangos frente a las de la fm. Matagua con mayores contenidos de este elemento sobre todo en las muestras superficiales.

El estudio litogeoquímico probando comprender la evolución geoquímica de las rocas fue efectuado utilizándose como índice de diferenciación el SiO_2 , correlacionándolo con otros elementos mayores. La tendencia general de las curvas obtenidas sugiere que para ambos conjuntos el proceso de cristalización fraccionada e importante en la evolución del magma responsable por la formación de los conjuntos relacionados.

Los óxidos de Fe, Ca y Mg muestran una disminución con el aumento del SiO_2 , lo cual sugiere el fraccionamiento del anfíbol y la plagioclasa. Por su parte el comportamiento de los óxidos de Na y K son de crecimiento con el aumento del SiO_2 , con una gran dispersión de muestras (principalmente superficiales), que pueden ser reflejo de perturbaciones post-magmáticas. Al confrontar curvas de tendencias que se producen con los "trend" clásicos (Mueller & Saxena, 1923) para las rocas de las series magmáticas calcoalcalinas, las variaciones de las rocas estudiadas en relación al modelo

teórico son reflejo de las alteraciones que afectaron estos conjuntos, en el caso de las de origen subvolcánico, probablemente hidrotermales, para las superficiales los procesos de intemperismo.

La geoquímica de los elementos trazas es una herramienta importante en la determinación de la petrogénesis de las rocas ígneas y de los posibles ambientes geológicos responsables por sus formaciones. Sin embargo se debe considerar que algunos de estos elementos, particularmente los alcalinos pueden ser modificados tanto por el metamorfismo, independiente del grado, como por la presencia de fluidos.

De igual forma que en las relaciones anteriores, el comportamiento de las muestras superficiales de la fm. Matagua resultan algo dispersas cuando comparadas con el resto. En general los contenidos de Ba, Zr, Y y Rb en las andesitas son mayores.

Resulta evidente que para contenidos de SiO₂ correspondientes a las andesitas existen diferencias significativas en las concentraciones de los elementos trazas en relación a la totalidad de las rocas analizadas, sean del sector Los Mangos como de la fm. Matagua, lo que sugiere que esta secuencia pudiera tener características geoquímicas diferentes.

La confrontación de los datos de ambos complejos nos indica que no obstante el sector Los Mangos poseer particularidades calcoalcalinas al igual que la fm. Matagua, los datos obtenidos sugieren que el sector puede ser una fase más avanzada de este tipo de vulcanismo.

Tanto las rocas del sector como las de la formación muestran un carácter subalcalino, clasificándose como sódicas.

Se percibe al analizar los resultados químicos de los elementos mayores que el contenido de MgO en el sector Los Mangos disminuye casi en una proporción 1:2 en relación a la formación Matagua, sin embargo al separar los resultados de las muestras superficiales de las subvolcanicas los contenidos son similares.

Los resultados de los elementos trazas también apuntan para un líquido más evolucionado cuando se retiran los contenidos superficiales lo cual puede reflejar una importante contaminación del manto por sedimentos pelágicos durante la subducción y los procesos de alteración post-mágmaticos.

Finalmente con los datos obtenidos durante este trabajo es posible establecer algunas consideraciones. Las principales conclusiones son:

No obstante ambos conjuntos presentar un carácter predominantemente calcoalcalino, se observan diferencias en los contenidos de los elementos trazas que indican hacia un carácter más transicional de la fm. Matagua en comparación con el sector Los Mangos.

La composición de las series de dichos conjuntos rocosos, muestran una serie expandida en Los Mangos más coherente con la serie clásica calcoalcalina para arcos de islas que la presente en la serie de Matagua, constituida principalmente los términos básicos hasta medios.

Se requiere entonces de investigaciones que permitan aclarar el carácter transicional o propiamente calcoalcalino de la fm. Matagua, como son estudios específicos y más profundos de los procesos post-mágmaticos, considerando la movilidad de los principales elementos.

UN NUEVO ENFOQUE PARA EL ANÁLISIS DE LAS CUENCAS SEDIMENTARIAS CON EL EJEMPLO DE LAS FORMACIONES DE LA REGIÓN ORIENTAL DE CUBA

Nicolás Vega Garriga¹ y Yamina Ríos Martínez¹

(1) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas

RESUMEN

Se presenta un nuevo enfoque con fines didácticos, para el análisis de las cuencas sedimentarias a la luz de las concepciones de la Tectónica de Placas, tomando como referencia el ciclo de Wilson, la clasificación de las “Cuencas Modelos” propuestas por Miall y las particularidades de las unidades litoestratigráficas y litodémicas del Léxico Estratigráfico Cubano, obteniéndose que para la región oriental de Cuba existieron cuencas relacionadas con márgenes divergentes de edad Oxfordiano – Maestrichtiano, cuencas relacionadas con márgenes convergentes de edad Tithoniano – Paleoceno Inferior y Paleoceno Inferior – Eoceno Superior, cuencas generadas durante el proceso de colisión continental y suturamiento de edad Paleoceno Superior – Eoceno Medio y cuencas asociadas con márgenes de las fallas transformantes y megacizallas de edad Oligoceno Superior al Cuaternario. Aparecen tablas que ilustran la metodología empleada para el análisis de las cuencas así como un esquema idealizado de la evolución de las mismas.

ABSTRACT

A new approach with didactic goals is shown, to analysis sedimentary basins to the light of the conceptions of the Tectonics of Plates, taking as a reference the Wilson cycle for the classifications of “Model Basin”, proposed by Miall and the peculiarities of the lithostratigraphic units and the litodemics from the Cuba Stratigraphic Code also. We drove to the conclusion that for Eastern Cuba region, there existed main types of basins, related to the divergent margin basins of age Oxfordian – Maastrichtian, convergent margin basins of age Tithonian – Lower Paleocene and Lower Paleocene – Upper Eocene, basins generated during the process of continental collision and suturing of age Upper Paleocene – Middle Eocene and basins associated with transform plate margins and megashears of age Middle Eocene – Quaternary. Illustrative tables of the used methodology are shown for the basin analysis. An ideal scheme of the evolution of such basins is also presented.

INTRODUCCIÓN

Hasta la década de los años 60, en el ámbito mundial, las cuencas sedimentarias fueron explicadas y caracterizadas en términos de la teoría geosinclinal y los estudios realizados no pudieron explicar, en toda su magnitud, como se formaban estas cuencas, porqué tenían estilos tectónicos recurrentes, o determinadas asociaciones litológicas; muchas de estas interrogantes se despejan ahora, con la teoría de la Tectónica de Placas.

La mayoría de las cuencas sedimentarias se explican sobre la base de los procesos geológicos que ocurren en los márgenes de las placas, o en el interior de las mismas, siendo de esta manera, más comprensibles su estructura y estratigrafía.

Se han creado una serie de “Cuencas Modelos” que sistematizan su estructura, sistemas deposicionales, petrología, etc., con el fin de interpretar las cuencas sedimentarias modernas y antiguas; ellas son entonces una poderosa herramienta para la interpretación de la historia de las placas tectónicas regionales.

Esta nueva interpretación recomienda abandonar, enteramente, términos viejos tales como geoanticlinales, cuencas intramontanas, etc., pues son, en muchas ocasiones, imprecisos o de poco valor, lo que contribuye a confundir aún más la interpretación geológica.

En nuestro país aún subsisten terminologías viejas, aplicadas a nuevas interpretaciones, por lo que se ha complicado entender, de una manera lógica y armónica, el desarrollo geológico de Cuba.

En el presente trabajo se presenta un nuevo enfoque, con fines didácticos, para el análisis de las unidades litoestratigráficas y litodémicas de la región oriental de Cuba a la luz de las concepciones de la Tectónica de Placas, tomando como referencia la clasificación de las "Cuencas Modelos" propuestas por Miall (Miall A. D., 1985).

MATERIALES Y METODOS

La clasificación de las cuencas se basa en el ciclo de Wilson, de apertura y cierre de los océanos (extensión-subducción-colisión), y las mismas pueden ser divididas en cinco categorías de acuerdo a A. D. Miall 1985, según los siguientes criterios: Posición de la cuenca (margen de placa e interior de placa), tipo de límite de placa (margen convergente, margen divergente y margen transcurrente) y tipo de corteza (continental y oceánica).

Clasificación de las cuencas:

1- Cuencas de los márgenes divergentes. Es el sitio de desarrollo de cuencas, donde las placas se rompen y se separan como resultado de la expansión del fondo oceánico. Se forman los rifts intracratónicos que preceden a la expansión del fondo oceánico, rifts protooceánicos tipo mar Rojo, cuencas marinas tipo Atlántico, aulacógenos y rifts fallidos.

2- Cuencas de los márgenes convergentes. Son cuencas relacionadas con los arcos magmáticos activos y las zonas de subducción, son muy variadas en su geometría, relleno sedimentario y evolución, dependiendo de la naturaleza de las placas, continental u oceánica, el ángulo de encuentro, la velocidad de subducción, el ángulo de la zona de Benioff y el aporte de sedimentos; los principales componentes de los sistemas convergentes son la bóveda o elevación exterior, la fosa, el complejo de subducción, la cuenca frontal del arco, el arco magmático y la región trasera del arco.

3- Cuencas generadas durante el proceso de colisión continental y suturamiento. Las suturas son zonas orogénicas complejas donde las placas continentales se unieron por la subducción de la corteza oceánica y se caracterizan por la intensa deformación estructural, metamorfismo regional, plutonismo y rasgos distintivos de los estilos de las cuencas sedimentarias. También ocurren suturas al colisionar continentes con arcos de islas y entre microcontinentes; la convergencia puede ser recta u oblicua que son los casos más comunes con el desarrollo de fallas mayores de deslizamiento-separación o transformación intracontinental.

4- Cuencas asociadas con los márgenes de las fallas transformantes y megacizallas. De manera simple, los límites de las placas son divergentes, convergentes y de transformación, relacionándose con las trayectorias de las placas que forman ángulo recto solamente a lo largo de cortos segmentos de márgenes; la regla son los movimientos oblicuos y muy oblicuos siendo los mismos de deslizamiento-separación, en la unión de placas y en el interior de placas adyacentes.

5- Cuencas cratónicas. Estas son las cuencas desarrolladas sobre corteza continental, presentan contextos extensivos, sedimentación predominantemente continental a transicional, relleno poco deformado / basculado y ocasionalmente vulcanismo asociado.

Tomando como base la clasificación de A. D. Miall, 1985, se confeccionaron varias tablas preliminares de trabajo. En dichas tablas fueron colocadas las cuencas y subcuencas modelos en el eje horizontal y la Tabla Geocronológica en el eje vertical. A partir de esta estructura, se comenzó a buscar la posición que ocuparían en las tablas, las diferentes unidades litoestratigráficas y litodémicas del Léxico Estratigráfico Cubano, revisado con el Programa LÉXICO (Trujillo R. A. y Vega N. 1994), atendiendo a las características estratigráficas, estructurales, petrológicas, edad, etc., de cada unidad (Grupo, Formación, Complejo, etc) en particular.

Este enfoque resulta de gran interés, pues se toma en consideración el ambiente geotectónico en que se formaron dichas unidades de rocas, complementando el Léxico Estratigráfico Cubano.

RESULTADOS

De las tablas preliminares, se pudo notar que las formaciones geológicas desarrolladas en la región oriental de Cuba se habían generado en cuatro tipos principales de cuencas:

- 1-Cuencas de los márgenes divergentes durante el Oxfordiano – Maestrichtiano
- 2-Cuencas de los márgenes convergentes durante las etapas:
 - a) Tithoniano – Paleoceno Inferior
 - b) Paleoceno Inferior – Eoceno Medio
- 3-Cuencas desarrolladas durante la colisión continental y suturamiento durante el Paleoceno Superior – Eoceno Medio
- 4-Cuencas de las fallas transformantes y transcurrentes durante el Oligoceno Superior – Cuaternario.

DISCUSIÓN

A continuación se hace un análisis de las mismas:

1-Cuencas de los márgenes divergentes de edad Jurásico Superior Oxfordiano-Cretácico Superior Maestrichtiano

Según nuestra investigación, asociadas a este tipo de cuencas, se ubicaron las formaciones Sierra Verde, Bariay, Chafarina y Gibara, las tres primeras según su litología se corresponden con el subtipo de cuenca tipo Mar Rojo y la última con el tipo Atlántico. Estas unidades se caracterizan por ser de naturaleza fundamentalmente calcárea (calizas, dolomitas, mármoles, esquistos calcáreos) y también terrígenas como filitas, metaleuritas, aunque existen intercalaciones de metabasaltos. Estas rocas se encuentran plegadas y/o metamorfizadas.

La formación Bariay, que litológicamente se caracteriza por poseer basaltos afíricos, con intercalaciones de silicitas y calizas, aleurolitas, basaltos doleritas, microgabros, etc., y metamorfismo hidrotermal de la facies zeolítica, la consideramos forma parte de la capa 3 de la corteza oceánica (ver Tabla I).

Tabla I. Cuencas de los márgenes divergentes de edad Jurásico Superior Oxfordiano-Cretácico Superior Maestrichtiano

TABLA GEOCRONOLÓGICA				CUENCAS DE LOS MÁRGENES DIVERGENTES				
				Cuencas de los rifts		Cuencas de los márgenes oceánicos		Aulacógenos y rifts fallidos
				Cuencas de la bóveda	Cuenca de los bordes	Tipo Mar Rojo	Tipo Atlántico	
ERA	PERIODO	EPOCA	EDAD					
C E N O Z O I C A	Cuaternario	Holoceno	Reciente					
		Pleistoceno	Superior					
	Neógeno	Plioceno	Inferior					
			Superior					
		Mioceno	Inferior					
			Medio					
			Superior					
			Inferior					
	Paleógeno	Oligoceno	Superior					
			Inferior					
		Eoceno	Superior					
			Medio					
			Inferior					
		Paleoceno	Superior					
			Inferior					
			Inferior					
M E S O Z O I C A	Cretácico	Superior	Maestrichtiano				4	
			Campaniano					
			Santoniano					
			Coniaciano					
			Turoniano					
			Cenomaniano					
		Inferior	Albiano					
			Aptiano					
			Barremiano			1 2		
			Neocomiano			3		
	Jurásico	Superior	Tithoniano					
			Kimmeridgiano					
			Oxfordiano					
			Oxfordiano					

Simbología:
1-Sierra Verde (svr) 2-Bariay (bry) 3-Chafarina (chf) 4-Gibara (gb)
Límite inferior —————> Límite superior

2.a-Cuencas de los márgenes convergentes de edad Jurásico Superior Oxfordiano-Cretácico Superior Maestrichtiano

Dentro de estas cuencas, las principales unidades y subtipos existentes son:

Cuencas internas del arco: Aquí se ubicaron las unidades Iberia, Santo Domingo y Sierra del Purial, que se caracterizan litológicamente por tener abundantes componentes volcánicos, representados por lavas de composición basáltica y andesítica fundamentalmente, y componentes sedimentarios (conglomerados, areniscas, calizas, margas, argilitas, etc.), que se corresponden con un arco volcánico desarrollado, según la edad de las unidades, en el Cretácico.

Cuencas traseras del arco: Aquí fueron ubicadas las unidades Palma Mocha, Manacal y Tejas. Estas unidades, litológicamente, se caracterizan por ser de constitución terrígena (areniscas, argilitas, aleurolitas, etc.) y tobáceas de composición básica, y en menor proporción, andesítica, provenientes la mayoría, de la erosión y deposición de materiales del arco volcánico descrito anteriormente.

Cuencas del frente del arco: En este subtipo de cuencas fueron ubicadas las unidades La Jíquima, Yaguaneque, Lindero y Tinajita, cuyas características litológicas generales se refieren a rocas terrígenas, derivadas del arco, bien estratificadas, así como rocas carbonatadas (calizas), en ocasiones silicificadas y arrecifales. Su ubicación espacial en la actualidad, al norte de las rocas volcánicas Cretácicas (Iberia, Santo Domingo y Sierra del Purial), fueron aspectos que también se tomaron en cuenta, para su ubicación dentro de este subtipo de cuenca.

Cuencas del complejo de subducción: En este subtipo de cuencas se ubican las unidades La Picota, Mícara y Gran Tierra, que se caracterizan por ser fundamentalmente terrígenas (conglomerados, brechas, areniscas, argilitas, aleurolitas, etc.), con secuencias olistostrómicas y olistolitos de brechas y ultrabasitas serpentinizadas. En la parte superior de la Formación Mícara puede aparecer el componente tobáceo y la edad de la misma, traspasa el límite del Cretácico llegando al Paleoceno Inferior Daniano basal.

Los depósitos presentan estratificación gradacional y cruzada, estos elementos, junto a las inclusiones de escamas de serpentinitas, pueden indicar su formación en este subtipo de cuenca, dando lugar a los prismas de acreción, los cuales limitan las cuencas frontales del arco en las que se depositaron las formaciones La Jíquima, Lindero y Yaguaneque (ver tabla II).

Tabla II. Cuencas de los márgenes convergentes de edad Jurásico Superior Oxfordiano-Cretácico Superior Maestrichtiano

TABLA GEOCRONOLÓGICA				CUENCAS DE LOS MÁRGENES CONVERGENTES					
				Cuencas de retroarco	Complejo de la fosa y la subducción		Cuencas del frente del arco	Cuencas interarco y traseras del arco	
					Fosa	Complejo de subducción		Internas	Traseras
ERA	PERIODO	ÉPOCA	EDAD						
C E N O Z O I C A	Cuaternario	Holoceno	Reciente						
		Pleistoceno	Superior						
			Inferior						
	Neógeno	Plioceno	Superior						
			Inferior						
			Superior						
		Mioceno	Superior						
			Medio						
			Inferior						
	Paleógeno	Oligoceno	Superior						
			Inferior						
		Eoceno	Superior						
			Medio						
			Inferior						
		Paleoceno	Superior						
			Inferior			2 3	4 5 6 7	10	13
M E S O Z O I C A	Cretácico	Superior	Maestrichtiano			1	2 3	4 5 6 7	10 13
			Campaniano						
			Santoniano						
			Coniaciano					9	11
			Turoniano					8	12
		Inferior	Cenomaniano						
			Albiano						
			Aptiano						
			Barremiano						
			Neocomiano						
	Jurásico	Superior	Tithoniano						
			Kimmeridgiano						
			Oxfordiano						

Simbología:
1-La Picota (lp) 2-Mícara (mr) 3-Gran Tierra (gt) 4-La Jíquima (lj) 5-Yaguaneque (yq) 6-Lindero (ld) 7-Tinajita (tn)
8-Iberia (ib) 9-Santo Domingo (sd) 10-Sierra del Purial (sp) 11-Palma Mocha (pmc) 12-Tejas (tj) 13-Manacal (mc)
Límite inferior → Límite superior

2.b-Cuencas de los márgenes convergentes de edad Paleoceno Inferior – Eoceno Superior

Las principales unidades se agrupan dentro de los subtipos siguientes:

Cuencas internas del arco: Se ubican las unidades pertenecientes al Grupo El Cobre y las formaciones Pilón y El Caney, constituidas por rocas vulcanógenas y vulcanógeno-sedimentarias; las rocas más abundantes son tobas, tobas aglomeráticas, lavas y lavas aglomeráticas de composición andesítica, andesito-dacítica y dacítica; se intercalan tufitas y calizas; se asocian cuerpos hipabisales y diques de diversa composición. Existen además tobas cineríticas, tufitas, tobas calcáreas, calizas tobáceas, areniscas polimícticas, vulcanomícticas y grauvacas.

Cuencas traseras del arco: Las formaciones Sabaneta, Vigía, Barrancas, Mucaral, San Ignacio, Charco Redondo, Puerto Boniato, Farallón Grande, San Luis, Camarones y Sierra de Capiro se originaron en este tipo de subcuenca y se caracterizan, en general, por poseer la siguiente litología: tobas vitroclásticas, litovitroclásticas, intercalaciones de tufitas, tobas riolíticas-riodacíticas, calizas brechosas, conglomerados vulcanomícticos, margas, areniscas calcáreo-tobáceas, calcilutitas, pueden aparecer pequeños cuerpos de basaltos, andesitas, andesito-basaltos y andesito-dacitas (ver tabla III).

Si no encontramos otras unidades originadas en los otros subtipos de cuencas (del frente del arco, del complejo de subducción y de la fosa) es porque el arco volcánico que estamos analizando fue desmembrado por las fallas transcurrentes que se originaron en la región a mediados del Eoceno, por lo que las unidades correspondientes a las mismas deben ser buscadas en el resto de las Antillas Mayores.

Tabla III. Cuencas de los márgenes convergentes de edad Paleoceno Inferior – Eoceno Superior

TABLA GEOCRONOLÓGICA				CUENCAS DE LOS MÁRGENES CONVERGENTES						
				Cuencas de retroarco	Complejo de la fosa y la subducción		Cuencas del frente del arco	Cuencas interarco y traseras del arco		
					Fosa	Complejo de subducción		Internas	Traseras	
ERA	PERIODO	ÉPOCA	EDAD							
CENOZOICA	Cuaternario	Holoceno	Reciente							
		Pleistoceno	Superior							
			Inferior							
	Neógeno	Plioceno	Superior							
			Inferior							
			Superior							
	Paleógeno	Mioceno	Superior							
			Medio							
			Inferior							
		Oligoceno	Superior							
			Inferior							
		Eoceno	Superior					15 16	17 19	20 23 24 25 26 27
			Medio							
	Inferior									
Paleoceno	Superior					14		21 22		
	Inferior									
MESOZOICA	Cretácico	Superior	Maestrichtiano							
			Campaniano							
			Santoniano							
			Coniaciano							
			Turoniano							
			Cenomaniano							
		Inferior	Albiano							
			Aptiano							
			Barremiano							
			Neocomiano							
			Tithoniano							
	Jurásico	Superior	Kimmeridgiano							
			Oxfordiano							

Simbología:
14-Pilón (pln) 15-El Caney (ecy) 16-Grupo El Cobre (gec) 17-Sabaneta (sn) 18-Vigía (vg) 19-Barrancas (bs) 20-Mucaral (mol)
21-San Ignacio (si) 22-Charco Redondo (chr) 23-Puerto Boniato (pb) 24-Farallón Grande (fg) 25-San Luis (sl) 26-Camarones (cm)
27-Sierra de Capiro (sdc)

Límite inferior → Límite superior

3-Cuencas desarrolladas durante la colisión continental y suturamiento de edad Paleoceno Superior – Eoceno Medio

Debido a la migración del antiguo arco volcánico Cretácico hacia la placa norteamericana, éste comienza a colisionar con aquella, formándose una zona orogénica compleja, donde las rocas se deforman intensamente y en algunas ocasiones se metamorfinizan.

Se desarrolla una cuenca frontal gigante, entre la placa norteamericana y el complejo del arco (subcuenca frontales de las tierras), donde se originaron los olistostromas Haticos y Rancho Bravo y las formaciones El Embarcadero y El Recreo. Las dos primeras, constituidas por brechas y conglomerados polimícticos, areniscas, aleurolitas e intercalaciones de margas y arcillas. Los fragmentos de los conglomerados son de serpentinitas, gabros, diabasas, basaltos, andesitas y sus tobas, a veces, de composición ácida. Por su parte, las formaciones El Embarcadero y El Recreo están constituidas por brechas calcáreas, calizas biodetríticas y brecha-conglomerado polimíctico, con abundantes fragmentos de rocas ígneas, calizas arcillosas, margas, aleurolitas y areniscas. Los fragmentos de las rocas terrígenas, tanto de las secuencias olistostrómicas como de las formaciones, proceden de la erosión de las escamas ofiolíticas del arco volcánico Cretácico y de las rocas de la plataforma de Bahamas (ver tabla IV).

Tabla IV. Cuencas desarrolladas durante la colisión continental y suturamiento de edad Paleoceno Superior – Eoceno Medio

TABLA GEOCRONOLÓGICA				CUENCAS DESARROLLADAS DURANTE LA COLISIÓN CONTINENTAL Y SUTURAMIENTO		
ERA	PERIODO	ÉPOCA	EDAD	Cuencas frontales a las tierras	Cuencas periféricas	Cuencas intrasutura
C E N O Z O I C A	Cuaternario	Holoceno	Reciente			
		Pleistoceno	Superior			
			Inferior			
	Neógeno	Plioceno	Superior			
			Inferior			
			Superior			
		Mioceno	Medio			
			Inferior			
			Superior			
	Paleógeno	Oligoceno	Superior			
			Inferior			
		Eoceno	Superior	2 3 4		
			Medio			
			Inferior	1		
		Paleoceno	Superior	1		
			Inferior			
	M E S O Z O I C A	Cretácico	Maestrichtiano			
			Campaniano			
			Santoniano			
			Coniaciano			
			Turoniano			
			Cenomaniano			
		Inferior	Albiano			
			Aptiano			
			Barremiano			
			Neocomiano			
			Tithoniano			
			Kimmeridgiano			
			Oxfordiano			
	Jurásico	Superior				

Simbología:
1-Haticos (ht) 2-El Embarcadero (em) 3-El Recreo (er) 4-Rancho Bravo (rb)
Límite inferior —————> Límite superior

4-Cuencas de las fallas transformantes y transcurrentes de edad Oligoceno Superior – Cuaternario

En la literatura geológica cubana, es característico encontrarse referencias a las cuencas superpuestas; estas son ahora reinterpretadas como cuencas que se asocian con las fallas transformantes y transcurrentes y en particular, a las subcuencas relacionadas con fallas transformantes que limitan placas. Las unidades de Cuba Oriental que se relacionan a estas subcuencas son los Grupos Nipe, Guacanayabo, Guantánamo y las formaciones Cabacú, Sevilla Arriba, Bayamo, Camacho, etc (ver Tabla V).

Debido a que las fallas transcurrentes ocurren en los sitios de todos los ambientes, podemos encontrar variadas asociaciones de facies; siendo las litologías fundamentales de estas unidades las brechas con fragmentos de esquistos verdes, filitas y serpentinitas; conglomerados, areniscas de grano grueso, aleurolitas, margas, arcillas, calizas biodetríticas arcillosas, limosas; calcarenitas y otras. El material clástico es fundamental para las unidades más viejas predominando el material calcáreo a medida que ascendemos en el corte.

Tabla V. Cuencas de las fallas transformantes y transcurrentes de edad Oligoceno Superior – Cuaternario

TABLA GEOCRONOLÓGICA				CUENCAS DE LAS FALLAS TRANSFORMANTES Y TRANSCURRENTES		
ERA	PERIODO	ÉPOCA	EDAD	Cuencas de pull-apart en sistemas de fallas en escalón	Cuencas en los límites de fallas	Cuencas en sistemas de fallas trenzadas
CENozoico	Cuaternario	Holoceno	Reciente	7 ↑ 9 ↑ 12 ↑		
		Pleistoceno	Superior	6 ↑ 8 ↑ 15 ↑		
	Neógeno	Plioceno	Inferior	10 ↑ 13 ↑ 16 ↑		
			Superior			
		Mioceno	Superior		14 ↑	
			Medio			
	Paleógeno	Oligoceno	Inferior	11 ↑		
			Superior			
		Eoceno	Superior	1 2 3 4 5		
			Medio			
			Inferior			
		Paleoceno	Superior			
			Inferior			
MESozoico	Cretácico	Superior	Maestrichtiano			
			Campaniano			
			Santoniano			
			Coniaciano			
			Turoniano			
			Cenomaniano			
		Inferior	Albiano			
			Aptiano			
	Jurásico	Superior	Barremiano			
			Neocomiano			
			Tithoniano			
			Kimmeridgiano			
			Oxfordiano			

Simbología:
1-Grupo Nipe (gnp) 2-Grupo Guacanayabo (gge) 3-Grupo Guantánamo (ggm) 4-Cabacú (cbc) 5-Sevilla Arriba (sa)
6-Bayamo (by) 7-Camacho (cmc) 8-Camaroncito (ert) 9-Cauto (ca) 10-Dátil (dt) 11-Gorda (god) 12-Jamaica (jmc)
13-Punta Imías (pi) 14-Vázquez (vq) 15-Río Maya (rm) 16-La Cruz (lcz)
Límite inferior → Límite superior

Es necesario destacar que la Formación Güira de Jauco, junto a las unidades litodémicas Metamorfitas La Corea, Metamorfitas Macambo y las ofiolitas de las provincias orientales, representan la antigua corteza oceánica sobre la que se desarrollaron las cuencas anteriormente mencionadas, caracterizándose las dos primeras por la siguiente litología: anfibolitas granatíferas con intercalaciones de metasilitas granatíferas, esquistos glaucofánicos, actinolíticos, clorito-

actinolíticos, zoicíticos; eclogitas, etc., que evidencian su formación en los rifts oceánicos, constituyendo la capa 1 y 2 de la corteza oceánica. Estas rocas sufrieron un proceso de metamorfismo de alta presión en el proceso de subducción y colisión continental.

Esquema idealizado de evolución de las cuencas de la región oriental de Cuba.

Derivado de estos resultados anteriormente expuestos, se elaboró un esquema idealizado, donde se aprecia la evolución de las cuencas en este intervalo, señalando los lugares donde, idealmente, debieron originarse las formaciones de referencia según su edad.

Las unidades litoestratigráficas más antiguas que aparecen en la región oriental de Cuba, se originaron en el estadio de formación de márgenes divergentes plenamente desarrollados, pues no se han hallado otras unidades que reflejen las etapas anteriores (figura 1).

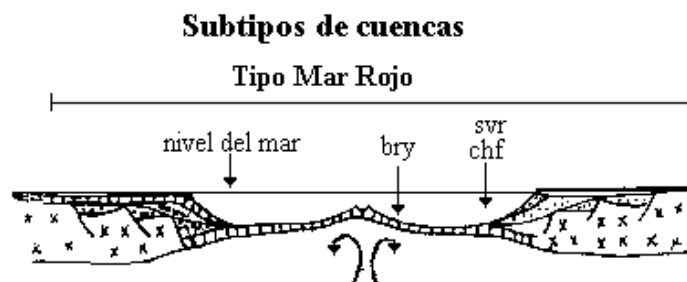


Figura 1. Unidades asociadas a las cuencas de los márgenes divergentes de edad Jurásico Superior Tithoniano

En el Maestrichtiano, podemos observar el momento en que se han desarrollado todas las subcuencas de los márgenes convergentes, cuando la corteza oceánica de la placa norteamericana subduce por debajo de la placa caribeña (figuras 2 y 3).

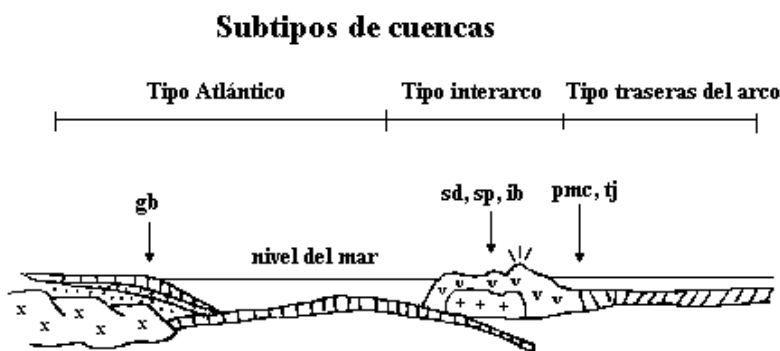


Figura 2. Unidades asociadas a las cuencas de los márgenes convergentes de edad Cretácico Superior Cenomaniano

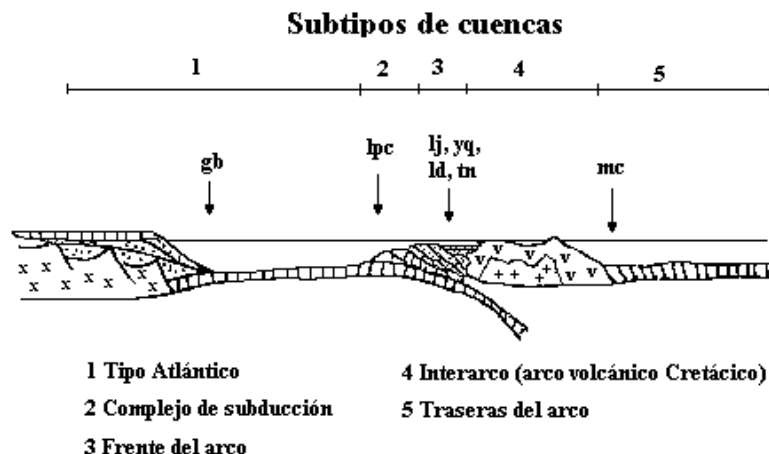


Figura 3. Unidades asociadas a las cuencas de los márgenes convergentes de edad Cretácico Superior Maestrichtiano parte baja.

A finales del Maestrichtiano y en el Paleoceno Inferior, comienza un acercamiento del arco volcánico Cretácico y la placa norteamericana, que empiezan a colisionar en el Paleoceno Superior. En el Eoceno Inferior (figura 4), podemos observar como producto a este desplazamiento, se forman, una cuenca distensiva entre los arcos volcánicos Cretácico (extinto) y el del Paleógeno, y las cuencas frontales de las tierras, entre la placa norteamericana y el arco Cretácico extinto.

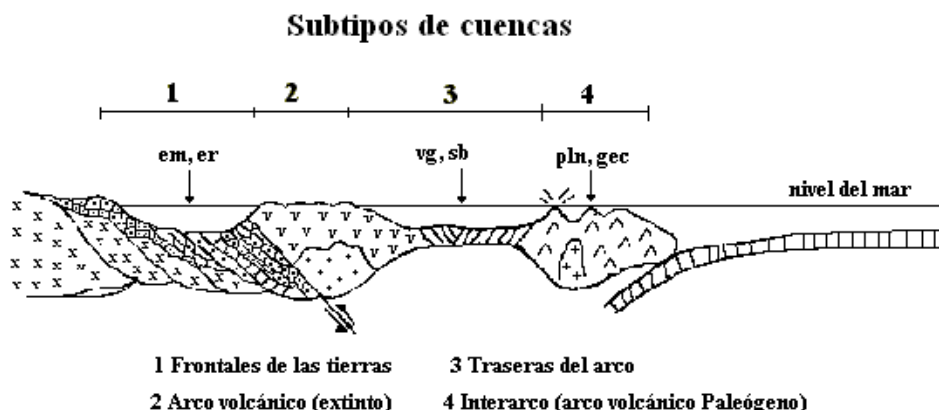


Figura 4. Unidades asociadas a las cuencas de los márgenes convergentes y las desarrolladas durante el proceso de colisión continental durante el Eoceno Inferior

En el Eoceno Medio (figura 5), continúan los procesos de colisión entre el arco volcánico Cretácico (extinto) y la placa norteamericana, el desarrollo de la cuenca distensiva, que empieza a transformarse en una cuenca relacionada con fallas de transformación y el desarrollo del arco volcánico Paleógeno, así como de las subcuencas del frente del arco, el complejo de subducción y la fosa.

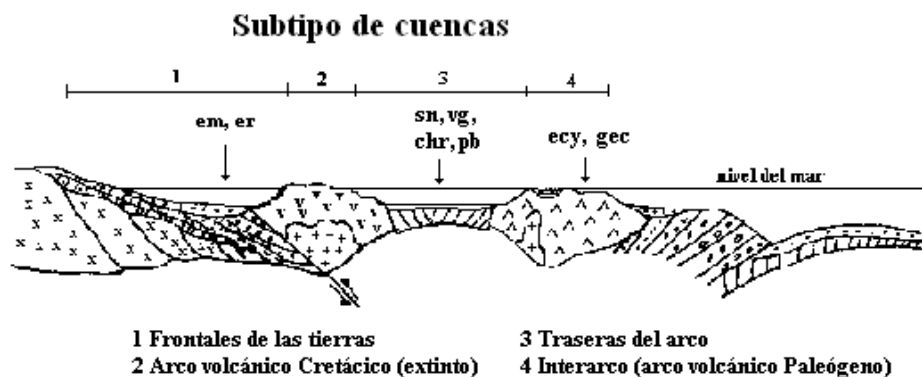


Figura 5. Unidades asociadas a las cuencas de los márgenes convergentes y las desarrolladas durante el proceso de colisión continental durante el Eoceno Medio parte baja.

En la etapa correspondiente al Eoceno Superior (figura 6), el arco volcánico del Paleógeno está concluyendo su actividad, continúan desarrollándose las cuencas relacionadas con la parte trasera del arco y las cuencas frontales de las tierras (estas unidades no aparecen en la región oriental de Cuba y si en el resto de las Antillas Mayores).

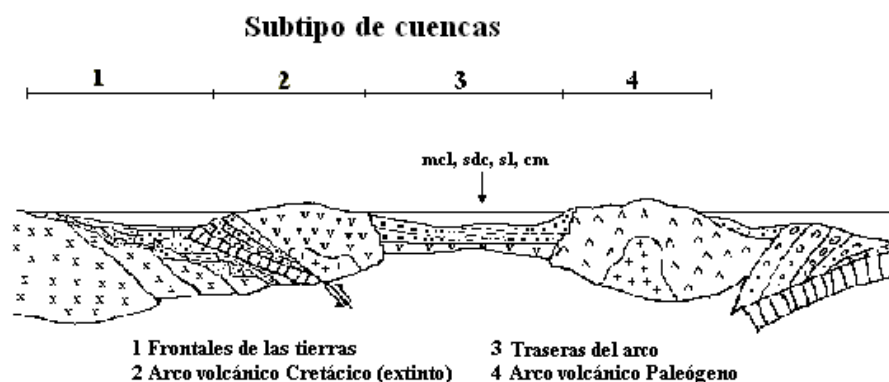


Figura 6. Unidades asociadas a las cuencas de los márgenes convergentes durante el Eoceno Superior, ya finalizada la colisión continental.

En el Mioceno Inferior (figura 7), se aprecia como el proceso de desmembramiento producido por las fallas transformantes toma su máxima expresión, una gran falla de deslizamiento por el rumbo (falla Bartlett-Caimán) divide el arco volcánico Paleógeno (extinto), desplazando sus partes por diferentes lugares del actual mar Caribe (Jamaica, La Española, Puerto Rico, etc.). Tienen un amplio desarrollo las cuencas generadas producto a estas fallas, y queda como remanente, una cuenca frontal profunda entre la placa norteamericana y las secuencias deformadas del arco volcánico Cretácico (extinto) y ofiolitas, las que llegan incluso hasta el Cuaternario.

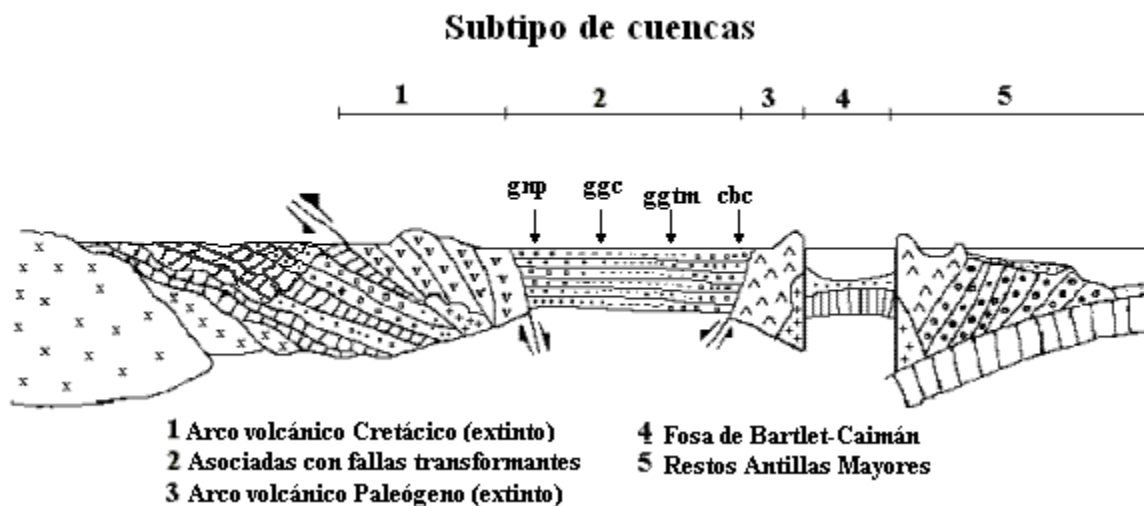


Figura 7. Unidades asociadas a las cuencas de las fallas transformantes durante el Mioceno Inferior parte baja.

Queremos aclarar, que este estudio se realiza de forma preliminar y didáctica, con el objetivo de servir de guía para investigaciones posteriores, donde se tomen en cuenta estos elementos, para el análisis de las cuencas sedimentarias en cualquier territorio estudiado.

CONCLUSIONES

1-Para determinar los tipos y subtipos de cuencas donde se originaron las formaciones geológicas, que hoy aparecen en determinada región, se precisa realizar un análisis minucioso de las características geólogo-estratigráficas de las mismas, relacionando estrechamente esta información, con los rasgos principales de las cuencas y sedimentos asociados, según plantea la clasificación de Miall.

2-Este enfoque didáctico permite actualizar la concepción de las cuencas sedimentarias con un enfoque tectónico, según la teoría de la Tectónica de Placas.

3-Según el enfoque propuesto se pudo notar que las formaciones geológicas de la región oriental de Cuba se habían generado en cuatro tipos principales de cuencas:

- Cuencas de los márgenes divergentes de edad Oxfordiano – Maestrichtiano
- Cuencas de los márgenes convergentes de edad Oxfordiano – Paleoceno Inferior y Paleoceno Inferior – Eoceno Superior
- Cuencas desarrolladas durante la colisión continental y suturamiento de edad Paleoceno Superior – Eoceno Medio
- Cuencas de las fallas transformantes y transcurrentes de edad Eoceno Medio – Cuaternario

BIBLIOGRAFÍA

- Miall, A.D. (1985): Principles of Sedimentary Basin Analysis (1th ed.), Canadá. Springer-Verlag 465 pp.
Trujillo R. A. y Vega N. (1994): Programa LÉXICO: Versión electrónica del Léxico Estratigráfico Cubano. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa. nvega@sismo.holguin.inf.cu

REVALIDACIÓN DE LA FORMACIÓN RÍO SABANALAMAR DEL PLEISTOCENO SUPERIOR DE CUBA ORIENTAL

Leandro Luis Peñalver, Carlos Pérez Pérez, Miguel Cabrera Castellanos.

Instituto de Geología y Paleontología. MINBAS. Vía Blanca 1002 y Carretera Central. San Miguel del Padrón. CP 11000. Ciudad de la Habana. Cuba, Tel: 696-7232, Fax: (537) 696-7004, Email: carlos@igp.gms.minbas.cu

RESUMEN

Como parte de los trabajos relacionados con la confección del Mapa Geológico Digital de Cuba a escala 1: 100 000, recientemente se realizaron recorridos de campo en Cuba Oriental que permitieron diferenciar macroscópicamente los depósitos de la Formación Río Sabanalamar de otras unidades con edad también pleistocénica. Los depósitos analizados están constituidos por guijarros con intercalaciones y lentes de arenas arcillosas de color gris y gris amarillento, estando el paquete recubierto por un suelo rojo carbonatado, que constituye la característica exterior de la formación. En ese suelo se reconocen tres horizontes: el vegetal-húmico, el iluvial-arcilloso y el iluvial-carbonatado.

La interpretación de las fotos aéreas e imágenes satelitarias permitió identificar escarpas prolongadas que bordean los ríos Sabanalamar, del Medio e Imías, lo que pudo ser comprobado en el campo, donde se notó lo vasto de esas planicies, que se elevan a 25 m sobre el lecho de los ríos, alcanzando una altura absoluta de 40-50 m sobre el nivel del mar.

Estos depósitos sólo se han podido identificar en los valles intramontanos de la región San Antonio del Sur-Imías.

Se propone elevar a la Comisión del Cuaternario del Léxico Estratigráfico de Cuba la aprobación de esta unidad litoestratigráfica variando el nombre al de Río Sabanalamar, por cuanto se ha comprobado reiteradamente su individualidad, tal como fue planteado por I.P. Kartashov y sus colaboradores en 1981. En el trabajo se definen las localidades tipo y cotipo de la unidad, así como su distribución, formas de yacencia, su origen y la edad relativa que se le asigna a sus depósitos.

Se comparan sus sedimentos con los de otras unidades pleistocénicas que se distribuyen en la misma área.

ABSTRACT

As part of the works related with the making of the Geological Map of Cuba to scale 1: 100 000. recently field works were carried out in the east of Cuba and this allowed to differentiate macroscopically the Rio Sabanalamar Formation deposits from other Pleistocenic age units.

The analyzed deposits are constituted by cobbles with intercalation and lenses of sands loamy of yellowish gray and gray color. Those deposits are overlaying by a carbonated red soil, which constitutes the external characteristic of the Formation. In that soil three horizons are recognized: the vegetable-humic, the eluvial-loamy, and the eluvial-carbonated.

The interpretation of the aerial photography and satellite images allowed to identify in the Sabanalamar del Medio and Imías Rivers, large scarps along the river, following their borders, which could be checked later in the field, where were recognised the wide area of this unit represented by plain that rise to 25 m over the bottom of the rivers channel, reaching an absolute height of 40-50 m above the sea level. These deposits have been able to identify only inside the valleys of the San Antonio del Sur –Imías region.

These work intends propose to the Quaternary Commission of The Estratigrafical Lexic of Cuba the approval of this litostratigraphical unit as new one, named Rio Sabanalamar. As showing in this paper this unit has its individuality, just as it was outlined by I.P. Kartashov and their collaborators in 1981. The principal location of unit, as well as its distribution, its origin and the relative age assigned to its deposits, are defined. The comparison with the other Pleistocenic sediments presented in the area was also done.

INTRODUCCIÓN

Durante el mes de marzo del 2006, como parte de los trabajos relacionados con la confección del Mapa Geológico de Cuba a escala 1: 100 000, se realizaron recorridos y comprobaciones de campo en diferentes regiones de Cuba Oriental. Una de ellas se correspondió con la zona de Tortuguilla-Imías, caracterizada por las excelentes terrazas pleistocénicas que ocupan el borde costero, así como por depresiones intramontañosas rellenas con diferentes tipos de depósitos Cuaternarios.

Precisamente en estas depresiones intramontañosas se distribuyen algunas secuencias de rocas terrígenas, muy cercanas por su edad pleistocénica, pero con características diferenciables unas de otras. Se encuentran aquí guijarros con intercalaciones y lentes de arenas arcillosas de color gris, que representan los depósitos de la Formación Río Sabanalamar, que se verán con detalles mas adelante.

En la década del ochenta del siglo XX, durante los trabajos de la Comisión del Cuaternario del Léxico Estratigráfico de Cuba en su Primera Versión, se decidió homologar estos depósitos con los de la Formación Jamaica, muy cercana por sus características litológicas, pero que geomorfológicamente constituye otro tipo de superficie. Se tuvo en cuenta, fundamentalmente, que los suelos desarrollados sobre ambas formaciones, no eran un elemento diferenciador como habían señalado sus autores, que destacaron un suelo rojo sobre la Formación Río Sabanalamar y uno de color gris pardo sobre la Formación Jamaica.

En aquella ocasión se propuso la unidad con el nombre de Sabanalamar. Sin embargo, ese nombre quedo invalidado, ya que se comprobó que el mismo fue utilizado para rocas paleogénicas en décadas anteriores.

Por esta razón, se propone en esta ocasión el nombre de Río Sabanalamar, con lo que se respeta la sugerencia realizada en la Primera Versión del Léxico Estratigráfico de Cuba en cuanto el nombre. Al mismo tiempo, se brindan muchos datos de interés que deben servir a la Comisión del Cuaternario del Léxico Estratigráfico de Cuba para completar toda la información que exige el Código Estratigráfico utilizado.

Características litólogo-mineralógicas de la Formación Río Sabanalamar.

I.P. Kartashov et al (1981) la definieron como guijarros, a veces conglomerados débilmente cementados con intercalaciones y lentes de arenas arcillosas, todo de color gris y gris amarillento. La característica exterior de la formación es el suelo rojo carbonatado desarrollado sobre sus depósitos.

Estos sedimentos tienen composición polimíctica. En los guijarros están presentes silicitas, epidocitas, vulcanitas propilitizadas, serpentinitas, esquistos cristalinos, anfibolitas, calizas, etc. Como regla general, los guijarros están bien redondeados.

La fracción areno-limosa contiene fragmentos de las citadas rocas y también de cuarzo, calcedonia, epidota, feldespatos, hornblendas, micas, zeolitas, cloritas, calcita, yeso, etc.

El cemento de los guijarros es calcáreo-arcilloso o preferentemente calcáreo, predominando la calcita en el calcáreo y las esmectitas en el arcilloso. Junto con este último aparecen también metahalloysita e hidromicas.

El rasgo exterior característico de la formación es el suelo rojo que se desarrolla sobre la misma y donde se distinguen los siguientes horizontes:

1-Vegetal-húmico: de color gris oscuro, arcilloso, en forma de terrones, con guijarros y cantos rodados. Tiene un espesor de 0.2 a 0.3 m.

2-Iluvial-arcilloso: de color rosado en la parte superior, blanquecino en la inferior, débilmente arcilloso, con guijarros y cantos rodados. Tiene un espesor de 0.5 a 0.6 m.

3-Iluvial-carbonatado: de color rosado en la parte superior, blanquecino en la inferior, débilmente arcilloso, con guijarros y cantos rodados. Tiene un espesor de 0.5 a 0.6 m.

En los guijarros que yacen más abajo del horizonte iluvial-carbonatado se observan sólo vestigios de la redistribución del material carbonatado en el cemento.

En el horizonte iluvial-arcilloso, el componente carbonatado del cemento prácticamente se ha destruido por completo. También se destruye el material clástico de los depósitos, así como los guijarros y cantos rodados tienen la superficie recubierta por una costra roja blanda, con espesor de 2 a 5 mm. El pigmento rojo que colorea los depósitos, está representado por los hidróxidos de hierro, que se liberan durante la destrucción de los minerales oscuros.

Localidad tipo:

Escarpa de la orilla derecha del Río Sabanalamar, 3 km al noroeste del pueblo de San Antonio del Sur, provincia de Guantánamo en las coordenadas 160 000 N y 713 600 E.



Figura 1: Foto de la Localidad tipo de la Formación Río Sabanalamar (Coordenadas – 160 000 N y 713 600 E).

Los guijarros de la Fm Río Sabanalamar constituyen la superficie de una planicie en forma de terraza con alturas de alrededor de 40 m sobre el nivel del mar y de 25 m sobre el lecho del río Sabanalamar. Ellos presentan un espesor de 2 a 3 m, que puede alcanzar hasta 10 m en algunas localidades y sobreyacen a rocas pre-pleistocénicas.



Figura 2: Detalle de los guijarros que conforman la Fm. Río Sabanalamar. Localidad tipo.

Análisis de la interpretación de fotos aéreas e imágenes de satélite.

En las fotos aéreas estos depósitos se aprecian muy bien debido a su coloración gris clara, la textura suave y, sobre todo, por su distribución geomorfológica en el relieve donde dan lugar a colinas bajas aplanadas en su cima ubicadas a lo largo del pie de monte y escarpas prolongadas a lo largo del cauce de los ríos de la zona: Sabanalamar, Del Medio e Imías.

De la misma forma en las imágenes de satélite (Composición RGB- 531) el área que ocupan estos depósitos se definen claramente por su coloración clara y su distribución bordeando la parte alta de los valles de los ríos antes mencionados.

Distribución y ocurrencia de la Formación Río Sabanalamar.

Los guijarros de esta formación se encuentran solo en el este de Cuba, en las regiones que reciben una cantidad anual de precipitaciones atmosféricas inferior a 1100 mm. En la cuenca del Cauto se lograron distinguir afloramientos más o menos extensos en esta unidad, principalmente en la línea divisoria de los ríos Bayamo y Cautillo, donde estos guijarros forman la superficie de la llanura acumulativa del Cauto. En la región de San Antonio del Sur-Imías, en sus depresiones intramontañosas, los guijarros de esta formación constituyen planicies en forma de terrazas más elevadas, con alturas de 20-30 m sobre el nivel de los ríos y que se encuentran sobre las terrazas formadas por los depósitos más jóvenes de la Fm. Jamaica.

El espesor visible de los guijarros de la Fm. Río Sabanalar no excede de algunos metros.

Origen y edad.

Las características litológicas de los depósitos de la Fm. Río Sabanalar hacen pensar, en primer lugar, sobre su origen aluvial. Sin embargo, el hecho que de las superficies formadas por ellos no revelen en su distribución los modelos característicos para los valles de ríos, induce a pensar con más razón en las llanuras costeras marinas con una alta energía de los procesos del oleaje. Teniendo en cuenta que la cantidad de información existente sobre esta unidad aun es insuficiente, I.P. Kartashov et al (1981) quienes la describieron, consideraron para la misma una génesis litoral-marina, sin excluir la participación de las facies aluviales en la constitución de la misma.

La posición geomorfológica de los guijarros de la Fm. Río Sabanalar, que constituyen planicies en forma de terrazas dentro de las depresiones intramontañosas, permite considerarla como una formación más antigua que la Fm. Jamaica del Pleistoceno Superior, y más joven que la Fm. Villarroja del Pleistoceno Medio-Superior y que fue encontrada en la región de Guantánamo a una altura considerablemente superior, debido a los movimientos tectónicos cuaternarios ocurridos en el área. Al mismo tiempo, su reconocimiento en la cuenca del Cauto sobreyaciendo a la Formación Bayamo del Pliopleistoceno y siendo sobreyacida por las formaciones Cauto y Camacho, del Pleistoceno Superior, ayuda a precisar un poco más su edad, la que en estos momentos se está asignando a la parte baja del Pleistoceno Superior. El suelo rojo desarrollado sobre los guijarros, por otra parte, confirma como correcta esta suposición de su posición estratigráfica, ya que este tipo de suelo rojo se forma generalmente en condiciones de escasa humificación, pero al parecer, requiere para su desarrollo un tiempo bastante prolongado.

Lamentablemente, aun no se han podido encontrar contactos directos de los guijarros de la Fm Río Sabanalar con las calizas de la Fm Jaimanitas, las cuales también se asignan al Pleistoceno Superior parte baja y se distribuyen en el borde costero cercano al área de distribución de esta unidad.

Es bastante probable que ambas unidades coincidan en el tiempo de su formación, aunque debe tenerse presente que si existieran facies aluviales en la Fm Río Sabanalar, ello pudiera no coincidir con ninguna de las transgresiones pleistocénicas conocidas.

Por tanto, se requiere de la realización de investigaciones más detalladas que permitan precisar argumentadamente todas estas suposiciones.

CONCLUSIONES

1- Se reconoce la existencia de la Fm Sabanalar, distribuida en los valles intramontanos de la región San Antonio del Sur-Imías.

2- Se propone a la Comisión del Cuaternario del Léxico Estratigráfico de Cuba, la revalidación de la Fm. Río Sabanalamar.

RECOMENDACIONES

1-Realizar investigaciones detalladas en la región de San Antonio del Sur-Imias y estudiar sus relaciones de yacencia y contemporaneidad con diferentes formaciones del Pleistoceno Superior allí existente.

2-Comprobar su existencia en la cuenca del Cauto y analizar también allí sus relaciones de yacencia.

BIBLIOGRAFIA

Kartashov, I.P, A.G. Cherniajoski, L.L. Peñalver (1981). El Cuaternario en Cuba. Editorial Nauka, Vol. 356, 145 p.p. Moscú.

Nagy, E, K. Brezcnijansky, A. Brito, D. Coutin, F. Formell, G. Franco, P. Gyarmati, P. Yakus, Gy Radócz (1976). Texto explicativo del Mapa geológico de la provincia de Oriente a escala 1 250 000. Inédito. Archivo del IGP: La Habana.

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. Inédito. Archivos del IGP. La Habana.

NUEVOS DATOS ESTRATIGRAFICOS DEL DESARROLLO DE CALIZAS CORALINAS ARRECIFALES DEL EOCENO SUPERIOR AL MIOCENO INFERIOR EN LA CUENCA DE SANTIAGO DE CUBA

Ángel Medina Batista.

Empresa Geominera Oriente, carretera de Siboney Km. 2 ½ Alturas de San Juan. Santiago de Cuba. Teléfono (22)641603, (22)643836, Fax: (22)87130. E-mail: amedina@geominera.co.cu

RESUMEN

Una investigación minuciosa de mapeo con toma de muestras para datación paleontológica y petrográfica de forma sistemática, han permitido determinar la existencia de secuencias de rocas carbonatadas pertenecientes a un ambiente arrecifal que se desarrolló a partir del Eoceno Superior y se extendió hasta el Mioceno Inferior concordantemente sobre las secuencias correspondientes al Arco Paleógeno de la Sierra Maestra.

Estas secuencias se componen en lo fundamental de calizas coralinas arrecifales de aguas someras, lo cual permite asegurar la existencia de un régimen tectónico estable en las zonas de cuencas circundantes a las cordilleras del arco volcánico en el periodo comprendido del Eoceno Superior hasta el Mioceno Inferior permaneciendo parcialmente sumergidas hasta el Mioceno Medio, en que comienza el ascenso final de las mismas con la acumulación de depósitos terrígenos, mientras que los bloques de rocas volcánicas colindantes de El Cobre, Boniato y Gran Piedra mantuvieron una tendencia al ascenso a partir del Eoceno Superior lo cual contribuyó a la destrucción de los arrecifes que en forma de barreras habitaron las zonas de plataforma siguiendo la dirección este-oeste de los procesos trans-extensivos relacionados con la falla Bartlet –Caimán y que en un periodo de tiempo muy corto fueron expuestos a un proceso erosivo abrupto, quedando solo como relictos de los antiguos arrecifes.

Esto permite establecer nuevas ideas acerca del régimen de subsidencia de la Cuenca Santiago de Cuba y su contemporaneidad con otras cuencas como la de Guantánamo y del área geográfica caribeña.

ABSTRACT

A meticulous investigation of mapping with taking of samples for paleontology and petrography dating of systematic form, has allowed to determine the existence of arrecifal carbonated rock sequences that was developed from Late Eocene and it extended concordantly up to Early Miocene on the sequences corresponding to Sierra Maestra Cenozoic volcanic arc.

These sequences are mainly arrecifal coralline limestone of shallow water, which allows to assure the existence a stable tectonic regime in the zones of surrounding basins to mountain ranges of the volcanic arc in the period included from Late Eocene to Early Miocene being partially submerged up to the Middle Miocene, in which the final ascent of the same ones with the begins of terrigenous deposits accumulation, whereas the adjacent volcanic rock blocks of El Cobre, Boniato y Gran Piedra maintained a tendency to the ascent as of the Late Eocene which contributed to the destruction of the reefs barriers that they lived the zones of platform following East-West direction of the trans-extensive processes related to the Bartlet-Cayman fault and that in a period of very short time was exposed to a steep erosive process, staying single as property left at death of old reefs.

The existence of sequences of this age allows to establish new ideas about the regime of subsidence of the Santiago de Cuba basin and relation with other basins like the one of Guantánamo and of the Caribbean geographic area.

INTRODUCCION

En la región sureste de Cuba donde los movimientos neo-tectónicos se han manifestado con mayor intensidad, el estudio de las formaciones de calizas coralinas arrecifales con edades que van desde el Eoceno superior hasta el Mioceno inferior permiten una mejor comprensión de la ocurrencia de estos procesos.

Como se conoce por trabajos geológicos anteriores, la actividad tectónica del Eoceno medio estuvo marcada por el fin de la actividad de los procesos tectónicos de colisión de placas y el fin de la actividad volcánica del arco Paleógeno y a partir de ese momento se hace notar un predominio de los esfuerzos tectónicos relacionados con fallas transformantes.

Durante el periodo del Eoceno superior al cuaternario los complejos estructuro-formacionales ya formados sufrieron diferentes deformaciones que se expresan fundamentalmente en la tendencia a los levantamientos y hundimientos ocurridos en el relieve, en el caso específico de la cuenca de Santiago de Cuba nuevos datos paleontológicos de calizas coralinas arrecifales nos permiten establecer que su formación transcurrió en un régimen de subsidencia que se extendió hasta el mioceno medio, en que comienza el proceso inverso del relieve levantándose, por otro lado los esfuerzos de transpresión que han continuado desde el eoceno medio, han permitido la tendencia de otros bloques circundantes a la cuenca mantener un ascenso del relieve, observándose que algún otro bloque pudo haberlo hecho desde el Eoceno superior, lo cual está evidenciado por la presencia de calizas arrecifales coralinas a las que se le ha asignado esa edad.

MATERIALES Y METODOS

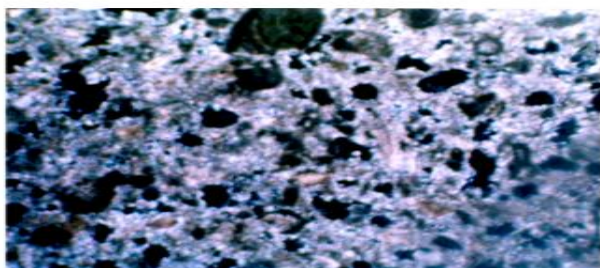
Para estudiar la secuencia estratigráfica de La Formación La Cruz se realizaron 22 descripciones de secciones delgadas de muestras petrográficas y paleontológicas, se consultó el Léxico Estratigráfico actual, así como del mapa geológico de la cuenca por formaciones, el mapa geológico esquemático de la región el Cobre a escala 1:50 000 de (Norman y Grechanik) 1970 así como y el mapa geológico de la región Gran Piedra a escala 1: 50 000 de G. Kusavkov (1983-1987). Se realizaron itinerarios geológicos, con documentación geológica de afloramientos, muestreos paleontológicos y petrográficos así como correlación estratigráfica en la columna geológica de la formación La Cruz,

RESULTADOS

La toma de muestras petrográficas y paleontológicas durante los trabajos geológicos realizados en la cuenca de Santiago de Cuba permitió complementar la descripción original de la Formación La Cruz, con la descripción del nuevo Miembro Sardinero de edad mioceno inferior, así como la propuesta de una nueva formación denominada Casa azul de edad oligoceno que viene a ser la parte superior del arco vinculada a la parte inferior de la cuenca y registrada en las cercanías de las secuencias del miembro Sardinero erosionado. Para esto se realizó un estudio petrográfico y paleontológico de las calizas que afloraban en la parte Sur de la cuenca donde predominan fundamentalmente las rocas de esta unidad. Se tomaron 22 muestras paleontológicas distribuidas en todo el paquete de calizas. Tanto la edad, composición como relaciones estratigráficas corroboraron que se trata de calizas coralinas arrecifales del Mioceno-Oligoceno que hasta el momento no habían sido suficientemente diferenciadas desde el punto de vista petrográfico que permiten establecer alguna diferencia además de estudiadas y que si bien presentan una estrecha vinculación en su proceso de formación se observan los datos paleontológicos para establecer su edad.

Esto llevó a hacer un estudio exhaustivo de los datos de los Levantamientos geológicos llevados a cabo en años anteriores con el fin de buscar una conexión de las formaciones del Oligoceno

encontradas en las secuencias de la Cuenca de Santiago de Cuba con las rocas del Eoceno superior presentes en la parte superior del arco Volcánico paleógeno lo cual fue positivo, pues aunque fueron descritas por autores anteriores ,las mismas no resultaron de interés por haber sido analizados como hechos aislados, lo cual tiene hoy suma importancia para esclarecer el desarrollo estratigráfico de estas secuencias y establecer la existencia de una Formación de arrecifes coralinos datados como Eoceno superior que no fueron propuestas para su inclusión en el léxico estratigráfico por dichos autores y que ahora retomamos en este trabajo por el interés que reviste en la mejor comprensión del desarrollo de los procesos que ocurrieron a partir del Eoceno medio en el arco volcánico en un marco geológico en que habían cesado los movimientos compresivos relacionados con un sistema de subducción y pasar aun sistema de transextensión producto de una falla transformante.



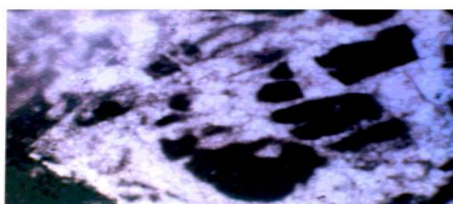
• **M-96-1a Mioceno Inferior**



• **M-301-1a Mioceno Inferior**

Así se establece la presencia del piso inferior de la Formación La Cruz de edad mioceno inferior (nuevo miembro Sardinero) y una nueva propuesta de Formación correspondiente al oligoceno (Casa Azul) correspondiente a la cuenca superpuesta del arco paleógeno Sierra Maestra y una formación pendiente de revisión que se extiende hasta el Eoceno superior.

Fotos de secciones delgadas de muestras con resultados paleontológicos.

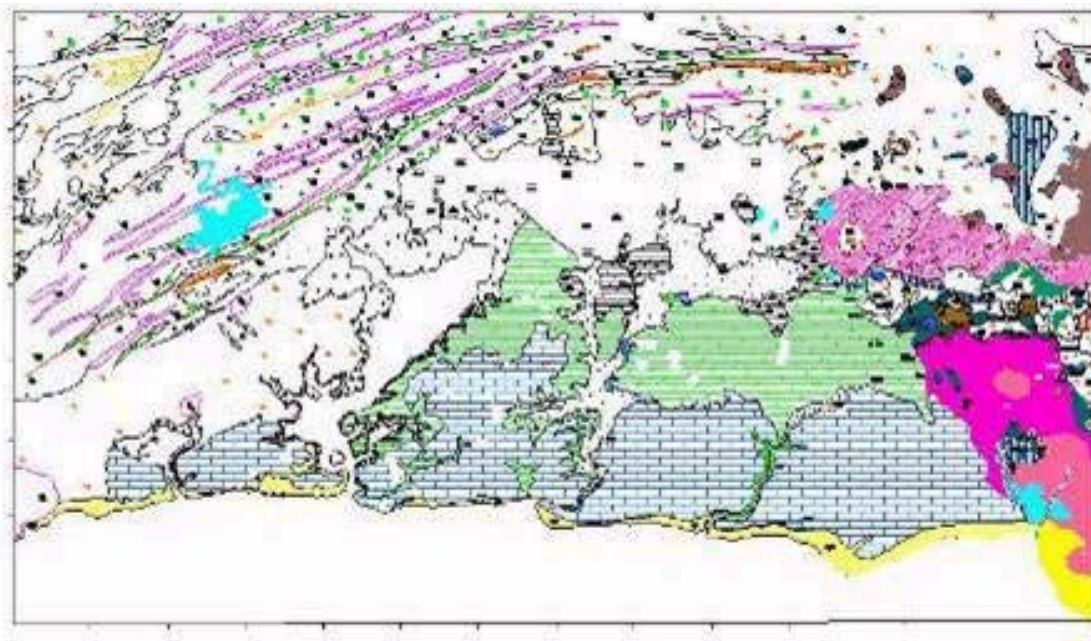


• **Pozo 3 (44.0 m) Oligoceno reconocido**



• **P-96(20.5 m) Oligoceno reconocido**

Mapa geológico de la cuenca de Santiago de Cuba a escala 1:25 000 (Actualizado de A. Medina 2005).



Columna Estratigráfica de la cuenca de santiago actualizada.



DISCUSION

A diferencia de lo que se planteaba en trabajos anteriores como el de (Nagy 1976), hoy podemos afirmar que mientras los bloques El Cobre, Gran Piedra y Boniato mantenían un nivel de ascenso a partir del eoceno superior, el bloque Santiago tenía una tendencia a la subsidencia, lo cual favoreció a la acumulación de secuencias terrígeno carbonatadas las cuales se formaron en condiciones de cuencas cerradas o internas limitadas del mar abierto por una barrera arrecifal que dejaba entrar la corriente de agua marina en dependencia de los movimientos de ascenso y descenso del nivel del mar, el hecho de que en la cuenca de Santiago de Cuba se hayan formado calizas coralinas del Aquitaniano así como depósitos de tipo molasa, similares en composición y edad a los de la cuenca de Guantánamo al Este así como la división de los bloques de Boniato y Gran Piedra por una depresión tectónica, nos lleva a la conclusión de que la cuenca de Santiago de Cuba y la cuenca Guantánamo son contemporáneas y se mantuvieron comunicadas por el mar, al menos hasta la parte alta del mioceno inferior.

El hecho de que durante el Eoceno Superior-mioceno inferior se hallan formado calizas coralinas, nos muestra que en este periodo hubo un receso de la actividad tectónica con una relativa tranquilidad lo que posibilitó junto a las bajas profundidades (40 – 45) metros del nivel del agua un ambiente propicio para el crecimiento coralino donde predominaban aguas a temperaturas calientes y con suficiente luz. Este receso en la actividad tectónica así como la falta de evidencias, de que las rocas que afloran en el valle del río Guaninicum, el cual se forma en la articulación de los bloques Gran Piedra y Boniato, no presentan ningún grado de estrujamiento, deformación producida por dinamometamorfismo u otro signo que pueda servir de evidencia de movimiento rotacionales, (Ver informe de S.Taber 1932) nos permite asegurar que el bloque Gran Piedra se desplaza hacia el Sureste a través de sistemas de falla Strike–Slip de tipo dextral en el momento que ocurre un esfuerzo transpresivo de dirección Norte Noreste relacionado con la evolución de la Fosa Bartlett Caimán.

CONCLUSIONES

- 1- Las secuencias de calizas coralinas arrecifales marcan un ambiente y un régimen tectónico tranquilo en la Cuenca que va desde el Eoceno Superior al Mioceno Inferior donde los movimientos de ascenso no tienen la intensidad que tenían en la etapa del proceso de subducción y compresión inter-placas.
- 2- Las edades determinadas permiten establecer una concordancia entre el arco y la Cuenca, lo cual corrobora que la misma es superpuesta a las secuencias de rocas del arco volcánico paleógeno.
- 3- Los fósiles establecidos, permiten afirmar que el ambiente y la edad, de la cuenca es contemporánea con la cuenca de Guantánamo y Manzanillo, diferenciándose de las mismas por la formación de colonias de corales que conformaron una barrera al Sur de la cuenca de Santiago de Cuba, restringiendo la penetración del agua de mar, formándose depósitos lagunares, con aporte conglomerático de abanicos fluviales, así como acumulaciones de arena, y sedimentos calcáreos aportados por la actividad de las mareas.
- 4- La Cuenca de Santiago de Cuba estuvo en su parte oeste más levantada hasta el mioceno inferior, mientras su parte este se mantuvo en subsidencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Nagy, E.; Brezsnianszky, 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, IGP, Academia de Ciencias de Cuba.
- Kusavkov, G; 1976. Informe del levantamiento geológico Sierra Maestra Oeste 1:100 000.
- Kusavkov, G:1988. Informe del Levantamiento geológico Gran Piedra 1:50 000. IGP. Academia de Ciencias de Cuba.
- Medina Batista, Ángel, 1999. Levantamiento geólogo-geofísico de la cuenca de Santiago de Cuba con fines de Riesgo Sísmico a escala 1:25 000. (EGMO, Santiago de Cuba inédito).

ESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA CAUTO Y SU CORRELACIÓN CON EL SUBSUELO

Dora E. García Delgado⁽¹⁾, Raydel Toirac Proenza⁽¹⁾, Roberto Otero Marrero⁽¹⁾, Silvia Blanco Bustamante⁽¹⁾

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington No. 169, esquina Churruca, Municipio Cerro, Ciudad de La Habana. E-mail dora@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

La Cuenca del Cauto por sus características morfológicas así como por la potencia de sus sedimentos, ha sido una región que se ha estudiado y perforado con fines petroleros desde la década de los años 40 hasta la actualidad que han ofrecido una abundante información del subsuelo. Sin embargo, la cartografía de superficie ha estado realizada de manera disonante, manifestando incluso ausencia de depósitos que han introducido una falsa idea de la evolución geológica del área.

Nuestro trabajo tiene como objetivo la correlación de los depósitos del subsuelo, bien caracterizados en pozos, con un nuevo mapa de superficie, el que ha sido realizado mediante la generalización de los mapas de autores anteriores, más los datos de campo realizados en esta área por varias expediciones de miembros de nuestro grupo, así como con la utilización del procesamiento de imágenes y mapas geofísicos magnéticos, gravimétricos y radiométricos.

Se establece una correlación completa entre las formaciones de superficie y las cortadas en los pozos, realizándose la actualización de la nomenclatura estratigráfica.

Se demuestra la existencia de una discordancia que ocupa el intervalo Eoceno Superior y que en algunas regiones se extendió al Oligoceno Inferior, y se cartografían unidades que se habían excluido en mapas anteriores.

ABSTRACT

The morphologic characteristics and the sediments thickness, of the Cauto basin have caused the intensive study and drilling, for the oil research since the forties. In this basin have been drilled several wells with this objective. Those wells have given lot information about the subsoil stratigraphic section. However, the quality of the cartography has not been completely satisfactory, because in the maps miss some deposits and it have introduced false ideas about the geologic evolution of this region.

Our aim in this paper is the correlation between the underground and the surface deposits, through a new map. This map was realized take into account the previous maps made for different authors with different scales, image processing, geophysical maps as gravimetric, magnetometric and radiometric and our news data for the different field trips.

It's established the totally correlation between the underground and the surface formations, with the actualization of the stratigraphic nomenclature by the Stratigraphic Cuban Lexicon.

This correlation shows the presence of the very important unconformity in the interval Upper Eocene and in some regions can be extended until Lower Oligocene. In the new map of the Cauto basin its included new stratigraphic units excluded in previous maps.

INTRODUCCIÓN

La cuenca Cauto toma su nombre del río homónimo, esta situada en la región de Cuba oriental, provincia Granma. Está limitada por el sur por las montañas de la Sierra Maestra, por el norte las alturas de Maniabón, por el oeste el Golfo de Guacanayabo y por el este la Sierra de Nipe. (Fig. 1)

Esta región comenzó a ser estudiada desde la década del 40 por autores como F. M. Ayers, J. A. Aarons, M. T. Kozary, F. G. Keijzer, K. L. Edwards, G. K. Sirrine, J. H. Kenny, L. Blanche, J. P. Beckmann, C. L. Bruce, W. P. Woodring, S. N. Daviess, M. Elliot, ingenieros todos pertenecientes a compañías petroleras norteamericanas, las que perforaron varios pozos, incluso en el Golfo de Guacanayabo (Niquero 1, Macaca 1, Media Luna 1, San Ramón 1, Santa Regina 1, Campechuela 1, Manzanillo 1, Oruita 1, Embarcadero 1, Vicana 1 y 2, Río Tana 1, Bayamo 1) . Después del triunfo de la revolución se continuaron realizando estudios con el objetivo de la búsqueda petrolera por reconocidos investigadores como P. Alsina de la Nuez, J. Alvarez Castro, G. Barceló, R. Domínguez Garcés, etc. Esta área fue cartografiada por la Compañía Stanolind Oil Co., dividiéndola por cuadrantes que fueron trabajados por distintos geólogos independientemente, de manera tal, que se crearon un sinnúmero de unidades litoestratigráficas que tras los trabajos realizados para el Mapa a escala 1: 100 000 de la Academia de Ciencias de Cuba (E. Nagy y otros, 1976) se encuentran en muchas ocasiones en sinonimia con unidades ya conocidas y descritas para otras regiones de Cuba. Además se perforaron dos nuevos pozos, el Granma No.1 y el Creciente 1X.

La Cuenca Cauto pertenece al complejo de depresiones Cauto-Nipe destacándose como una subcuenca. La misma está limitada por fallas normales escalonadas formando semigrábenes, mientras que su estructura interna esta constituida por sistemas de horst y grábenes. (R. Flores y otros, 1998; Domínguez Garcés, R. y otros, 2000). Estos mismos autores consideran que esta cuenca ha tenido un desarrollo complejo, pues antes del Maastrichtiano-Paleoceno debió constituir parte de la cuenca de retroarco del Arco Magmático Cretácico, formándose la Cuenca del Cauto a partir del Eoceno medio (parte alta) cuando cambió el régimen geodinámico y ocurrió una distensión generalizada en el bloque Cuba Oriental-La Española, provocando su fragmentación y la consiguiente apertura de las cuencas Cauto-Nipe y San Luis-Guantánamo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la ejecución de nuestros trabajos se utilizaron una gran cantidad de trabajos de autores anteriores, los que fueron analizados y seleccionados, aquellos que poseían una cartografía confiable, y demostrada, por los datos paleontológicos reportados, así como por nuestras comprobaciones de campo. Se utilizaron todos los datos paleontológicos recopilados y se volcaron en un mapa de datos paleontológicos (Delgado, O., E. Linares. 2002, García Delgado, D: E. y otros, 2006). Los mapas seleccionados fueron digitalizados y corregidos mediante imágenes de satélite, Landsat, y además nos apoyamos en mapas de interpretación geofísica, magnéticos, gravimétricos y radiométricos.

La estratigrafía fue estudiada no solo a partir de los datos de superficie, sino y en gran medida mediante un detallado estudio de todos los pozos perforados en la región (Alsina de La Nuez, y otros, 1968; Alvarez Castro, J., S. y otros, 1994, Rodríguez, R., y otros, 1997). La nomenclatura de las unidades litoestratigráficas se realizó teniendo en cuenta la última versión del Léxico Estratigráfico de Cuba, aunque algunas de las unidades utilizadas no aparecen en el mismo, por lo que se hará necesario el tenerlas en cuentas en versiones futuras.

DISCUSIÓN.

El basamento de la cuenca del Cauto, supuestamente, ya que no ha sido cortado por ningún pozo, lo ocupan las rocas del Arco Volcánico Cretácico (retroarco) con su cobertura Campaniano-Maastrichtiano de composición siliciclástico-carbonatada, que afloran al sur de la Sierra Maestra, y en la región del río Silantro (L. M. Golovkin y otros, 1981). También existen algunos afloramientos aislados al norte de la Sierra en la región de Palma del Perro, y en el camino de Los Callejones a la Pimienta, al sur de Guisa, donde por algunos estudios paleontológicos de algunas muestras aisladas,

afloran por debajo de la Fm. Charco Redondo. Estas rocas están constituidas por areniscas y limolitas polimícticas y tobáceas, argilitas, calizas, tobas de diferente granulometría y conglomerados. Hacia el centro-este de la Cuenca también afloran rocas cretácicas en la región de Babiney observándose una sedimentación continua desde el Maastrichtiano al Paleoceno en la Fm. Babiney (H. Kenny, 1957, D. E. García Delgado y otros, 2001), de composición predominantemente siliciclástica, siliciclástico-carbonatada y tufogénica: areniscas polimícticas de diversa granulometría que se intercalan con limolitas, lutitas, conglomerados y tobas, aunque se observa un considerable volumen de rocas carbonatadas, calizas y margas, sobre todo hacia la parte superior del corte, de edad paleocénica. Las asociaciones fósiles de las muestras tomadas desde la base reflejan claramente una edad Maastrichtiano Superior, correspondiente a la biozona *Racemiguembelina fructicosa*, mientras que la asociación fósil hacia arriba muestra el cambio hacia el Paleógeno, estando representado el Paleoceno basal con una asociación típica de la biozona *Globigerina eugubina*.

Sobre este piso estructural y con una potencia de varios miles de metros, se encuentra el arco volcánico paleogénico (compuesto en esta área por las formaciones Uvero, Ojo del Toro, Pilón, Guamá y Caney), el cual ocupa las alturas de la Sierra Maestra y cuyos depósitos de retroarco se extienden por las regiones situadas al norte de la región oriental, desde la región de Holguín hasta Baracoa. Este arco volcánico se mantuvo activo predominantemente hasta la parte baja del Eoceno Medio, aunque puntualmente afloran rocas tufogénicas e intrusivas que pueden extenderse hasta el Eoceno Superior (Fm. Barrancas). Estos depósitos solo se cortaron en los pozos Manzanillo 1, Oruita 1, Embarcadero 1, Vicana 1, Vicana 2, Creciente 1X y Granma 1), por supuesto solo se manifestaron en estos pozos debido a la profundidad de los mismos, que en algunos, solo llegan hasta el Oligoceno o el Eoceno Medio. En la región comprendida entre Babiney y Jiguaní ocurren rocas de edad Eoceno Inferior (Fm. Jiguaní), compuestas por calizas y margas con lentes y capillas de silicitas, las que en los últimos mapas realizados se han incluido como Fm. Charco Redondo (E. Nagy y otros, 1976), pero que por su edad y composición no pertenecen a esta unidad, sino que aflora por debajo de esta. Su asociación fosilífera está representada por *Morozovella cf M. formosa gracilis*, *Morozovella subbotinae*, *Morozovella formosa formosa*, la que determina una edad Eoceno Inferior.

En el Eoceno Medio ocurre una etapa de formación de rocas carbonatadas y fragmentario-carbonatadas de diferentes ambientes de sedimentación (Formaciones Charco Redondo y Puerto Boniato), (Pozos Vicana1, Vicana 2, Manzanillo1, Oruita 1, Santa Regina 1, Creciente 1X, Granma 1, Rio Tana 1, Bayamo 1, y San Ramón 1) . Sobre estas unidades se manifiestan dos tipos principales de depósitos, fragmentarios gruesos y siliciclásticos. Los primeros se distribuyen de manera irregular en la pendiente norte de la región occidental de la Sierra Maestra y se cortaron en el pozo Niquero 1 (Formación Farallón Grande). y en la región de Babiney (Formación Mariota). La Fm. Mariota (H. Kenny, 1957) se reestablece en este trabajo y aflora muy bien en la cantera cercana a la localidad de Papi Lastre. En la parte inferior y mas potente aparece un conglomerado de bloques de hasta 1 m. de diámetro de rocas magmáticas, diabasas, gabros, basaltos amigdaloidales, areniscas, tobas y calizas de diferentes tipos, biogénicas de color rosado, blanco, crema este conglomerado mal seleccionado presenta zonas con fragmentos pequeños y mayor cantidad de matriz la cual es calcáreo-arcillosa. Intercaladas con los conglomerados aparecen calcarenitas de color crema en capas de 10-15 cm. y margas amarillentas. Este conglomerado transiciona a una calcarenita gruesa de color crema amarillento, y en el tope marga con aislados fragmentos. Su edad está claramente establecida con una asociación compuesta por: *Pseudohastigerina micra*, *Acarinina pseudotopilensis*, *Acarinina spp*, *Globigerina spp*, *Morozovella aragonensis*, *Morozovella spinulosa*, *M. cf aragonensis*, *Morozovella sp.*, *Globigerinatheka sp*, *Discocyclusinae*, *Truncorotaloides topilensis*, la que marca el Eoceno medio parte baja.

Los sedimentos siliciclásticos, de edad Eoceno Medio parte alta-Eoceno Superior, afloran ampliamente bordeando la cuenca desde el sur y hasta el noreste, incluyendo la región occidental de

la Sierra Maestra, cuyo representante es la Fm. San Luís, Es notable que la asociación rocosa característica de esta unidad tanto en superficie como en los pozos perforados en la parte sur y sureste de la cuenca solo se data como Eoceno Medio, y se extiende hasta el Eoceno Superior solo en los pozos perforados en el centro de la Cuenca como son el Granma 1, Embarcadero 1 y el Bayamo 1 y en superficie hacia el este. Es evidente por tanto que ocurre una discordancia que ocupa todo el Eoceno Superior, y que se manifiesta claramente en los pozos Media Luna 1, Manzanillo 1, Oruita, 1, Vicana 1 y 2, y Creciente IX.

Los mayores espesores de la cuenca están formados por los paquetes de rocas carbonatado-arcillosas y fragmentario-carbonatadas desde el Oligoceno al Reciente y que presentan frecuentes variaciones faciales en cortas distancias. El Oligoceno Inferior tiene escasas manifestaciones en superficie, no así en los pozos donde aparece cortado en todos ellos (Macaca 1, Media Luna 1, San Ramón 1, Oruita 1, Santa Regina 1, Campechuela 1, Embarcadero 1, Granma 1, estando ausente en los pozos Manzanillo 1 y Creciente 1X, solo afloran pequeñas áreas en los alrededores de Babiney y está representado por la Fm. Casanova. Esta unidad se diferencia muy bien de los depósitos del Oligoceno Superior, y su asociación litológica esta formada por: arcilla y argilitas limosas calcáreas, gris oscura, arenisca de grano fino volcanomítica, arenisca arcillosa foraminiférica, calizas detríticas granulares, calizas limolíticas, limolitas calcáreas, arena y arcilla. Las calizas se hacen más abundantes hacia la base, con intercalaciones de argilitas, Su asociación fosilífera en afloramientos es: *Globigerina ouachitaensis gnaucki*, *Globigerina eocaena*, *Globigerina cf G. tapuriensis*, *Globigerina cryptomphala*, *Globigerina praebuloides praebuloides*, *Globigerina praebuloides leroyi*, *Globigerina yeguaensis*, *Globigerina sp.*, *Uvigerina havanensis*, *Bolivina aliformis*, *Bulimina sp.*, *Siphonina sp.*, *Gyroidinoides sp*, *Dentalina sp*, *Nodosaria sp.*, Ostrácodos, Espículas de esponjas. Su espesor en los pozos varía entre 207-524,25 m.

A partir del Oligoceno Superior coexisten varias unidades litoestratigráficas que representan variaciones faciales como son las formaciones Paso Real, muy bien caracterizada en el pozo Creciente 1X por Mudstone calcáreo a wackestones bioclástico blanco, dolomita fina, arcillosa blanca y claystone con fracción arenosa, intercalaciones de wackestone bioclástico arenoso, claystone poco calcáreo gris verdoso con fracción arenosa gruesa. Litoarenita calcárea fosilífera con matriz arcillosa, marga limosa - arenosa fosilífera de color gris verdosa. Su espesor en este pozo es de 300 m.

Hacia el sur y bordeando la Sierra en este mismo intervalo estratigráfico la Fm. Paso Real transiciona lateralmente a la Fm. Sevilla Arriba, aflora en forma de pequeños parches en el borde occidental de la Sierra y esta constituida por Calizas cristalina, finas, blancas, limolitas calcáreas verde grisáceo, limolita calcárea verde pálido, margas limolíticas, arcilla limolítica calcárea, caliza margosa arenosa, biogénicas, arenosas y fragmentarias de color gris a verde, arenisca arcilloso - arenoso, limolita verde grisáceo, hacia el final se hace muy arenosa, arenisca limosa, calcárea y volcanomítica, arcilla arenosa calcárea verde grisácea intercalada con caliza. Hacia abajo aumentan las calizas biógenas de grano grueso, blancas, margas, arenisca arcillosa, argilita limosa verde claro, arcilla calcárea verde claro.

La Fm. Camazán ocupa grandes extensiones y esta documentada en el pozo Embarcadero No 1, como margas calcáreas o margas blandas, limosas o arenosas, gris blanquecino, ocasionalmente fosilíferas, calizas limolíticas rosadas, duras, con fragmentos de conchas. El espesor en este pozo es de 222 m. En superficie se observan margas masivas de color blanco amarillento con abundantes concreciones calcáreas, que la hacen semejar un conglomerado, pueden presentar capas gruesas de calizas biogénicas con gran abundancia de foraminíferos bentónicos grandes, pelecípodos, etc. intercaladas con margas amarillentas. La otra facies de esta misma edad es la Fm. Bitirí, también ampliamente distribuida y compuesta por calizas algales de matriz fina, duras, compactas, carsificadas, que contienen ocasionalmente fragmentos de corales y grandes "Lepidocyclinas" con colores amarillo-grisáceo a carmelitoso. Esta unidad no se reporta en los pozos, pues al parecer se formó solo en el borde este de la cuenca en un ambiente arrecifal. Estas tres formaciones presentan

una sedimentación continua hasta el Mioceno Inferior, e incluso hasta el Mioceno Superior, y las mismas pasan de unas a otras en cortas distancias, manifestando una gran variedad facial. Los depósitos del Mioceno al Cuaternario son también muy potentes aflorando en el extremo suroccidental; las formaciones Manzanillo y Cabo Cruz, mientras que en el resto de la región y ocupando amplias zonas afloran las más jóvenes Dátil, Bayamo y Cauto.

CONCLUSIONES

- Los depósitos fragmentario Carbonatados gruesos del Eoceno Medio (Formaciones Farallón Grande y Mariota) ponen de manifiesto un levantamiento ocurrido en la parte occidental de la Sierra Maestra en el Eoceno Medio, acompañado de una fuerte erosión, dando lugar a la formación de brecha-conglomerados y conglomerados gruesos de bloques y fragmentos de rocas magmáticas, tufogénicas y carbonatadas (Fm. Farallón Grande) predominan los bloques y fragmentos de las rocas del arco volcánico Paleogénico y carbonatadas hasta del Eoceno Medio. En la Fm. Mariota predominan los de rocas ofiolíticas como las diabasas, los gabros, ultrabasitas y calizas incluso cretácicas, por lo que su fuente de aporte claramente no fue la misma, así como su edad que en la Fm. Mariota por su asociación fosilífera es algo más baja, Eoceno medio parte baja.
- Se confirma la presencia de una discordancia en la región noroccidental de la Sierra Maestra y suroccidental de la cuenca, que ocupa todo el Eoceno Superior, tanto en superficie como en los pozos Media Luna 1, Manzanillo 1, Oruita1, Vicana 1 y 2, y Creciente IX, mientras que hacia el centro la sedimentación fue continua durante ese intervalo de tiempo (Pozos Granma 1 y Embarcadero 1).
- La discordancia del Eoceno Superior se extiende hasta el Oligoceno Inferior, pues los mismos afloran solo en pequeñas áreas, yaciendo el Oligoceno Superior directamente y en discordancia sobre el Eoceno Medio o el Eoceno Superior, o sea, las formaciones Camazán y Bitirí sobre la Fm. San Luís.
- Se observa un desplazamiento brusco entre las unidades de los pozos Manzanillo 1 y Oruita 1, lo que confirma la falla detectada por el procesamiento de imágenes.
- El área de Babiney-Jiguaní presenta notables diferencias con respecto a la región sur de la cuenca, observándose el predominio de las formaciones sedimentarias sobre las vulcanógenas en el intervalo Maastrichtiano-Eoceno Medio, por ejemplo la Fm. Jiguaní del Eoceno Inferior que es predominantemente carbonatada.

BIBLIOGRAFIA

- Alsina de La Nuez, P., J. Alvarez-Castro, C. González quiñones, G. Ramirez Villegas, 1968. Consideraciones geológicas acerca de las posibilidades de producción comercial de hidrocarburos en el área del Cauto. Revista Tecnológica, 1-2: 33-58.
- Alvarez Castro, J., S. Valladares Amaro, G. Barceló., J. Fernández Carmona, J.R. Carballo, 1994. Evaluación del potencial de exploración de los bloques 20, V, VI, VII. Archivo Técnico Centro de Investigaciones del Petróleo
- Delgado, O., E. Linares. 2002. Informe de la campaña de Campo de la Cuenca del Cauto con fines geogúimicos. Archivo Técnico Centro de Investigaciones del Petróleo.
- Dominguez Garcés, R., S. Toucet Tellez., J. L. Prol, Betancourt, P. Aballí Fortén, G. Miró, 2000. Generalización Geólogo-Geofísica de los trabajos ejecutados en los bloques 23, 22, V ; VA, VI, VIA, y 20. Archivo Técnico Centro de Investigaciones del Petróleo
- Flores, R;G. Millán, J. L. Chang, 1998. "Tectónica de Cuba Oriental."Resúmenes III Congreso Cubano de Geología y Minería, P, 240 -243. I.G.P., 1998. Tectónica de Cuba Oriental. Memorias del III Congreso Cubano de Geología y Minería. Volumen I: 240-243.

- García Delgado, D. E., C. Díaz, R. Pérez., 2001. El límite Cretácico-Terciario en la región de Babiney, provincia Granma, Cuba. CD-ROOM -GEOMIN 2001- IV Congreso Cubano de Geología y Minería
- García Delgado, D: E. Raydel Toirac Proenza, Roberto Otero Marrero, 2006. Informe de la campaña de Campo de la Cuenca del Cauto.. Archivo Técnico Centro de Investigaciones del Petróleo.
- Golovkin, L.M.; A. P. Sviridov, J. L. López, M. A. Sojo, (1981). Informe sobre los resultados del levantamiento geológico a escala 1:100 000 realizados en la parte oeste de la Sierra Maestra durante los años 1976-77 (2da. etapa). Oficina Nacional de Recursos Minerales.
- Kenny, H.; 1957. Estratigrafía del área de Babiney-Jiguaní. (Manuscrito) Archivo Grupo Hidráulico del DAP, La Habana.
- Nagy, E.; K. Brezsnysky; A. Brito, D. P. Coutín, D.P.; F. Formell, G. L. Franco, P. Gyarmatti, P. Jakus, y G. Y. Radocz (1983). Contribución a la geología de Cuba oriental. La Habana, Editorial Científico Técnica, 273 p.
- Rodríguez, R., Sánchez Arango, J., Pról., J., Morales, I., Toledo, M., 1997. Caracterización del Bloque 20 Cauto-Nipe. Archivo Técnico Centro de Investigaciones del Petróleo.

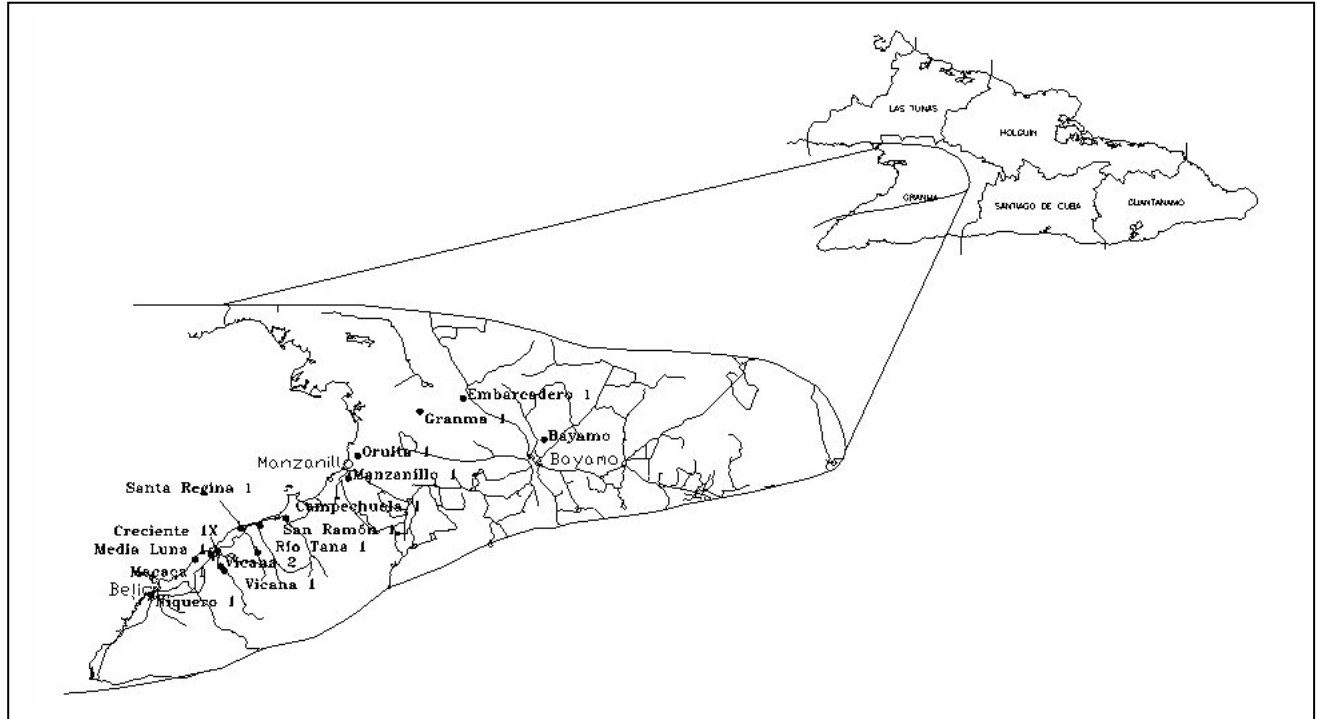


Fig. 1. Mapa de ubicación de la región de la Cuenca del Cauto.

	Arenisca		Marga		Arenisca volcánico-mítica fina		Dolomita		Tobas		Limolita		Basáltos
	Conglomerado volcánico-mítico		Tufitas		Calizas biógenas		Caliza		Arenisca grauvaquica		Brechas polimícticas		
	Pedernal o rocas silíceas		Arcilla calcarea		Caliza fragmentaria		Caliza biohermica		Caliza recristalizada		Arenisca polimítica		

Simbología litológica de la columna estratigráfica

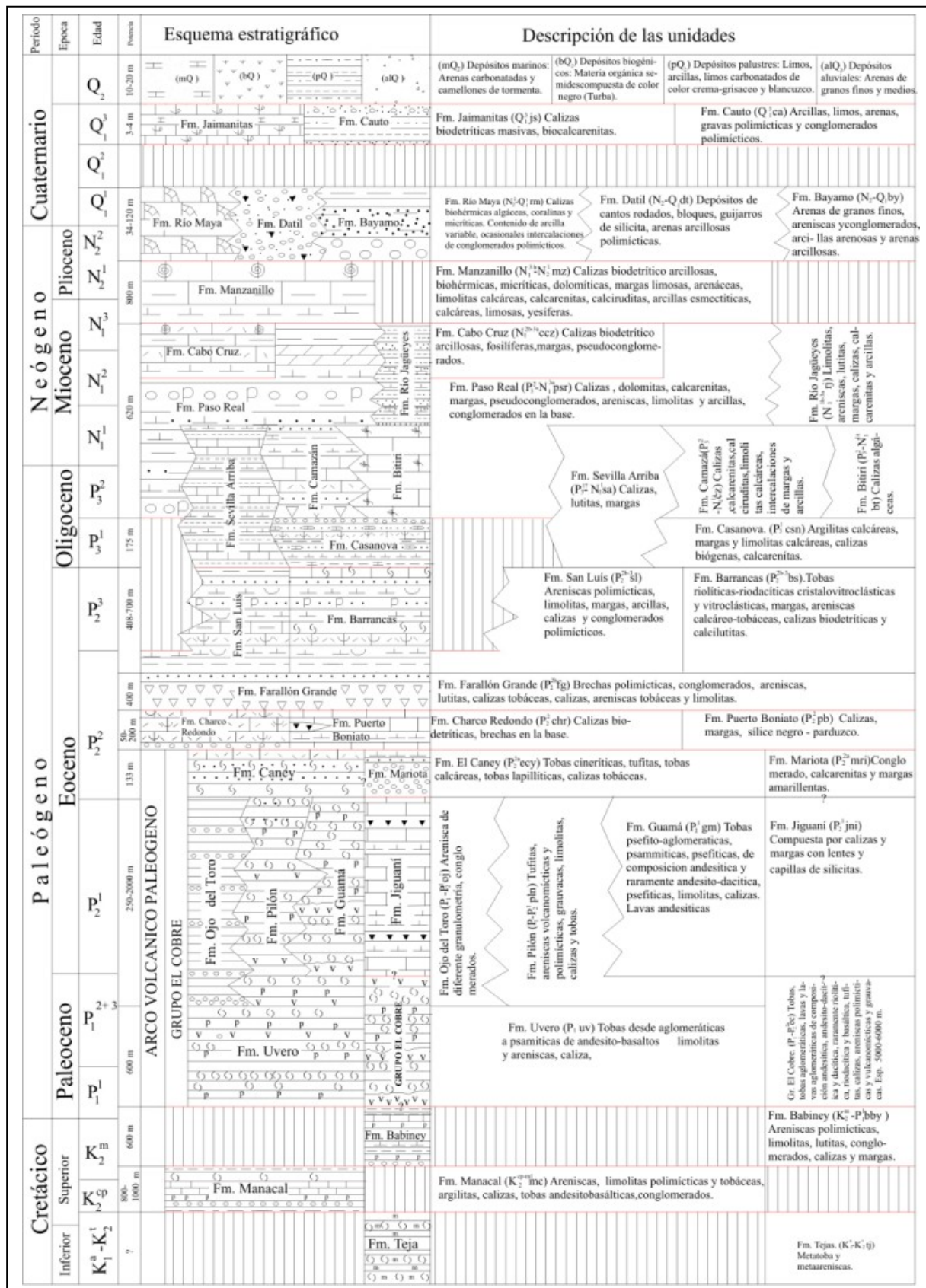


Fig. 2. Columna estratigráfica generalizada de la región de la Cuenca del Cauto y áreas adyacentes.

TAXONOMÍA Y TAFONOMÍA DE LOS GASTERÓPODOS DEL MIOCENO EN CUBA

Rafael López Martínez¹ y Reinaldo Rojas Consuegra²

(1) Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa MES, e-mail: rlopezm@ismm.edu.cu

(2) Museo Nacional de Historia Natural de Cuba, CITMA. Obispo # 61, Plaza de Armas, Habana Vieja, C. Habana, Cuba, e-mail: rojas@mnhnc.inf.cu

RESUMEN

El presente trabajo se propuso como objetivos principales, el de contribuir a incrementar el nivel cognoscitivo referente a los Gasterópodos fósiles en el Mioceno de Cuba, mediante su estudio taxonómico y tafonómico, y valorar su utilidad en la correlación estratigráfica. Para ello se realiza la descripción e identificación taxonómica de los ejemplares pertenecientes a la colección paleontológica del MNHN, actualizado por el código de Nomenclatura Zoológica (ICZN, 1985). En algunos casos, se empleó por primera vez, la elaboración de moldes artificiales, como material comparativo de las determinaciones taxonómicas. Al trabajarse según la concepción dinamicista en el estudio tafonómico de las entidades registradas, se introdujeron en la práctica nuevos conceptos para la obtención de información cualitativamente superior, mediante el uso de procedimientos cuantitativos de procesamiento. Como resultado del estudio taxonómico se trataron 16 familias, 19 géneros y 27 especies, de los cuales eran conocidos en la literatura paleontológica cubana 10 géneros y 15 especies, mientras se reportan, por primera vez para el Mioceno cubano: 11 géneros y 16 especies; lo que representa un aumento del conocimiento sobre la composición taxonómica del grupo, de más de un 50%. Se caracterizaron los procesos tafonómicos que afectaron a las entidades registradas del Mioceno, agrupándose al menos en dos tafosistemas, integrados por seis tafones, precisados a partir de cinco localidades tipos comparadas. Fueron integradas las relaciones obtenidas entre los taxoregistros y taforegistros, mostrándose como elementos de correlación válida, que aportó información cualitativamente nueva sobre los paleoecosistemas, ambientes tafonómicos y evolución geológica de los territorios estudiados. Fue posible separar dos zonas paleobiogeográficas diferentes, una formada por las localidades de Romanillo, Zaza, La Palma (Cuenca Central) y Km. 134 (Cuenca Los Palacios), y otra distinta, relacionada con la localidad Baitiquirí (Cuenca Guantánamo).

ABSTRACT

The present research is part of "Paleobiota y Bioeventos. Herencia de la Tierra" project guided by MNHNC. The principles objectives were increase the acknowledgement about Miocene's gastropods by his taxonomic and tafonomic studied and use this acknowledgement in stratigraphy analysis. Taxonomic results were the description about 16 families, 11 genera and 21 species, reported by first time 11 genera and 17 species from Cuban's Miocene. The comparison between 5 localities made possible the distinction about 2 tafosistem. Analyzing the relationship between taxoregisters and taforegisters was possible use it in stratigraphic treatment and this new information was possible arrived to taphonomical, geological and paleogeographic evolution of Romanillo, Zaza, La Palma and Baitiquirí.

INTRODUCCIÓN

Desde la época de Cuvier, padre de la paleontología moderna a principios del siglo XIX, esta ha sido utilizada para la solución de diversos problemas reales. Al fundar William Smith la paleontología estratigráfica, se dotó al geólogo de una herramienta de alto valor teórico – práctico. Esta ha sido usada ampliamente en las investigaciones geológicas y cobra cada día mayor fuerza, al incrementar y perfeccionar sus métodos. Asimismo ha evolucionado tal y como lo han hecho los organismos que

estudia, y llega cada día a niveles superiores de comprensión de estos y de los fenómenos que los han afectado.

En Cuba, el estudio paleontológico aplicado a la geología, se ha centrado fundamentalmente en los microfósiles, pues las herramientas que se han utilizado permiten extraer muy poco provecho de los macrofósiles. Con la instauración de la Tafonomía, se abren nuevos campos de trabajo en los cuales se puede avanzar en el conocimiento sin incurrir en tratamientos muy costosos. Si bien para realizar tafonomía en muestras micropaleontológicas es necesario el uso del microscopio electrónico, para realizar tafonomía en muestras macropaleontológicas basta con un número reducido de recursos. Así lo que anteriormente era casi silente, es ahora un material portador de una valiosa información.

El objeto de estudio de la presente investigación han sido los fósiles de la Clase Gastrópoda pertenecientes al Mioceno en Cuba de las localidades muestreadas durante las investigaciones del MNHNC y atesoradas en las colecciones paleontológicas del mismo.

El problema inicial, a que dio respuesta la presente investigación, fue el bajo nivel de conocimiento taxonómico y tafonómico de la clase Gastrópoda fósil que existía en Cuba. Este se reducía a los reportes de especies, lo que hace que el valor de uso, como indicadores bioestratigráficos, de este importante grupo de fósiles, permaneciera poco evaluado.

Como hipótesis de partida, asumida fue que, si se realizaba un estudio taxonómico y tafonómico de los fósiles pertenecientes a la Clase Gastrópoda del Mioceno cubano, se podría aportar un conocimiento nuevo, que pudiera ser de valor estratigráfico. Como demuestran los resultados que se presentan, la hipótesis asumida ha sido respondida positivamente.

Los objetivos principales de la presente investigación fueron:

- ~ Contribuir a incrementar el nivel cognoscitivo de la Clase Gastrópoda en el Mioceno cubano, utilizando los métodos del estudio taxonómico y del análisis tafonómico.
- ~ Aplicar los resultados tafonómico y taxonómico del objeto de la investigación en el análisis estratigráfico.

MATERIALES Y METODOS

En la presente investigación se emplean los materiales típicos del trabajo paleontológico, principalmente las colecciones de fósiles cubanas, y algunos grupos de ejemplares procedentes de otras islas antillanas atesorados en el MNHNC. Los métodos utilizados combinan principios y conceptos clásicos en labores de indagación paleontológica, con criterios conceptuales actuales, algunos de los cuales no han sido asumidos en estudios precedentes sobre la temática en Cuba.

Materiales

Los materiales analizados provienen de la Colección Paleontológica del Museo Nacional de Historia Natural MNHNC, Cuba. Esta consta de un total de 478 ejemplares colectados en diferentes localidades del país, correspondientes a diferentes edades, que van desde el Jurásico hasta el Cuaternario; aunque el grueso de los ejemplares provienen de estratos pertenecientes al Mioceno. Se utilizó además información de diferentes fuentes que han sido debidamente citadas.

Métodos de Campo

Esta es una de las principales etapas de trabajo en la investigación paleontológica y se puede resumir en la extracción y toma de datos de los ejemplares y su interrelación con otros y con la estratigrafía.

Los métodos de extracción de macrofósiles son del tipo físico, por percusión ya sea directamente con el martillo o con cinceles (Sohl, 1989). La extracción de los materiales presentes en la colección Paleontológica del MNHN ha sido conformada a partir de trabajos destinados a otros grupos y que dentro de estas búsquedas han aparecido como material acompañante. Estos han sido extraídos por diferentes colectores y en diferentes etapas de trabajo pero principalmente por Rojas, R e Iturralde-Vinent. Esto hace que exista un sesgo en la toma de datos tafonómicos y una falta de control estratigráfico detallado, información que es prácticamente irrecuperable y que podría aportar datos importantes.

Métodos de Gabinete

Esta etapa comprende un amplio volumen en el procesamiento y la elaboración de la información durante los trabajos paleontológicos.

Los fósiles extraídos o en colección se encontraban sin tratar, por lo que como parte de este trabajo fueron preparados para la observación de los caracteres taxonómicos y tafonómicos. Para esto se utilizaron bandejas de lavado y se limpiaron primariamente por medio de detergentes y cepillos blandos y/o duros, según necesidad. Esta se combinó con las técnicas de limpieza con ácido acético al 10 %, clorhídrico al 3%; con lo cual se logra una clarificación de los caracteres de conchas y moldes, al separarse de forma lenta partículas cementadas. Para la separación de arcillas se obtuvo el mejor rendimiento con hidróxido de potasio en perlas. Para esto se humedece el ejemplar y se cubre con una capa de perlas dejándose actuar por un lapso variable entre 24-48 horas, dependiendo del material utilizado y la compactación de la arcilla (Meléndez, 1970)

Al comenzar la presente investigación los ejemplares atesorados en la colección paleontológica del MNHNC se encontraban sin clasificar por lo que fue necesario esta tarea como parte de nuestro trabajo. En la sistemática se utilizó el método de clasificación vigente en la actualidad que corresponde al establecido por Linneo en 1782, y asumidos por el código de Nomenclatura Zoológica (ICZN, 1985). Para lo cual se analizaron los caracteres de cada nivel taxonómico, se midieron utilizando el Pie de Rey, y graficaron, los ejemplares teniendo en cuenta la relación altura-diámetro máximo de estos.



Figura 1. Molde interno artificial de *Strombus* sp.

La modalidad descriptiva utilizada tiene un carácter breve, sintético y solo del nivel taxonómico correspondiente. Esto responde a la utilización de fotografías de los ejemplares haciendo posible la observación de la entidad registrada en cuestión, favoreciendo un flujo dinámico entre el lector y el material de estudio. Se adjunta además antes de las descripciones, un modelo de gastrópodo ideal con el objetivo de tener referencia a la nomenclatura con la que se trabaja.

Al describir se tienen en cuenta dependiendo del taxón, el tamaño de la concha, forma, tipo de espira, última vuelta, sutura, abertura y escultura, variando en dependencia de si la entidad registrada sea una concha o molde interno. En caso de los moldes internos se describe la espira número de vueltas

impresión sutural, morfología de la abertura, impresiones de la escultura y los caracteres que sean posibles determinar que guíen la clasificación.

Se recurrió al uso de paleotécnicas, produciéndose moldes internos artificiales de gastrópodos de géneros que han perdurado hasta la actualidad, mediante la disolución de la concha por la acción de ácido clorhídrico al 38 %. Esto fue necesario por la alta ocurrencia de moldes internos en el registro fósil cubano y la falta de material comparativo de esta índole.

Para la elaboración de los moldes se procedió a eliminar por lijado el ápex de la concha de especies actuales pertenecientes a los mismos géneros que los estudiados en colección, evitando la acumulación de burbujas de aire en ella durante el llenado. Luego se rellenan con resina epóxica fluida, de forma tal que esa sustancia ocupe todos los espacios vacíos (cavidades) de la concha. Tras 24 horas de secado a temperatura ambiente, se procede a la disolución controlada de la concha, tratándola con ácido clorhídrico al 38 % dentro de una cápsula *petri*. Luego se trata con una solución de bicarbonato sódico para la neutralización del ácido.

Finalmente se obtiene el molde artificial, que sirve de base comparativa para la identificación más segura, de especies fósiles registradas solamente como moldes internos naturales, en series de varias edades geológicas (Fig. 1).

En la tafonomía el método utilizado fue el de observación directa e interpretación, basado en los ejemplares individuales ya colectados (taxoregistros y taforegistros) y en las asociaciones de estos (unidades taxo- y taforegistráticas), (Fernández-López, 1987). Se tuvieron en cuenta las características que reflejan procesos bioestratinómicos y fosildiagenéticos, como son color del relleno, textura, disolución, neomorfismo, superficies pulidas y otros caracteres indicadores de tafoproses. Dichos caracteres fueron cuantificados en matrices y procesados estadísticamente para llegar al índice de semejanza de Simpson y el índice de diversidad de Shanon-Weaver.

Se empleó el método de correlación taxobiotémica y tafonómica. Para ello se tomaron en cuenta una serie de características tanto taxonómicas como tafonómicas que aseguran un número mayor de elementos correlacionables entre sí.

El procesamiento de la información numérica fue posible gracias a los métodos estadísticos apoyados en el software *Statistic 6.0*, para la elaboración de dendrogramas y la separación de clusters de las localidades, usado fundamentalmente en la correlación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contexto geológico

Las principales localidades de procedencia del material estudiado en la presente investigación pertenecen a tres unidades litoestratigráficas del Neógeno, las cuales aparecen geográficamente distantes, situadas en la región suroriental (Fm. San Antonio, Mbro. Baitiquirí); región central (Fm. Lagunitas) y región sudoccidental (Fm. Paso Real, Mbro. Baños). Tabla I.

Tabla I Distribución y edad de las unidades estudiadas.

Distribución:	Región Oriental	Región Central	Región Occidental
Unidades:	Fm. San Antonio, Mbro. Baitiquirí	Fm. Lagunitas Fm. Arabos	Fm. Paso Real, Mbro. Baños
Edad:	Mioceno Inferior parte alta- Mioceno Superior parte baja	Oligoceno Superior parte alta- Mioceno Inferior parte baja	Oligoceno Superior parte alta- Mioceno Inferior parte baja.
		Mioceno Inferior parte alta- Mioceno Inferior parte baja	

Cuenca sedimentaria:	Guantánamo	Central	Los Palacios
----------------------	------------	---------	--------------

Resultados Sistemáticos Paleontológicos

En la parte taxonómica se trabajaron un total de **16 familias**, siendo estas:

Xenophoridae Philippi, 1853.

Pleorotomariidae Swainson, 1840

Epitonidae Berry, 1910

Thiaridae Morrison, 1954

Mitridae Swainson, 1831

Naticidae Gray, 1840

Melongenidae Gill, 1867

Conidae Rafinesque, 1815

Olividae Latreille, 1825

Turritellidae Clarke, 1851

Strombidae Rafinesque, 1815

Cypraeidae Rafinesque, 1815

Cassidae Swainson, 1832

Buccinidae Rafinesque, 1815

Estas familias agrupan 19 géneros y 27 especies tal como lo muestra la Tabla II. Por esta distribución se reportan por primera vez para el Mioceno cubano, 11 géneros y 17 especies. Esto hace que el conocimiento taxonómico del grupo aumenta a un total de 26 géneros y 38 especies.

Tabla II Taxones estudiados.

Taxones	Conocidos	Nuevo reporte
<i>Buccinidae</i> sp. 2		X
<i>Buccinidae</i> sp.1		X
<i>Conus aemulator</i>		X
<i>Conus</i> cf. <i>recognitus</i>		X
<i>Conus</i> cf. <i>sierrai</i>		X
<i>Conus</i> sp.	X	
<i>Melantria ypresiana</i>		X
<i>Melongena</i> cf. <i>melongena</i>		X
<i>Mitra (Tiara) almagrensis</i>		X
<i>Oliva lisa</i>		X
<i>Olivella</i> cf. <i>wilsoni</i>		X
<i>Polinices</i> cf. <i>robustus</i>		X
<i>Scalina</i> sp.		X
<i>Sconcia</i> cf. <i>laevigata</i>		X
<i>Siphocypraea</i> cf. <i>angustina</i>		X
<i>Strombus gigas</i>	X	
<i>Strombus pugilis</i>	X	
<i>Strombus</i> sp.	X	
<i>Turritella</i> cf. <i>variegata</i>		X
<i>Turritella subgrundifera</i>		X
<i>Xenophora</i> cf. <i>conchiliophora</i>		X

Tafonomía

Los trabajos tafonómicos en Cuba recién comienzan, estos ya han sido tomados en cuenta por algunos autores (Rojas-Consuegra, 2004; Díaz-Franco, 2005; Suárez-Duque, 2006).

A fin de facilitar la comprensión de los resultados que se presenta, se impone el análisis de algunos conceptos establecidos en la Tafonomía actual (Fernández-López, 1987).

Se define una Clasificación biocronológica, cuando el objetivo de esta es expresar las relaciones espacio – temporales entre las diferentes entidades registradas, y/o entre las correspondientes entidades paleobiológicas. (Fernández-López, 1987).

Es una Clasificación registrática, si el objetivo de la clasificación biocronológica, es discriminar y agrupar entidades registradas sean o no tenidas en cuenta sus relaciones topológicas (Fernández-López, 1987).

Es posible además, establecer clasificaciones biocronológicas que permitan expresar las relaciones espacio – temporales entre las entidades paleobiológicas inferidas a partir del registro fósil, y son llamadas entonces Clasificaciones paleobiotémicas (Fernández-López, 1991).

Clasificación taxorregistrática: Es cuando se clasifican los caracteres primarios y parataxonómicos significativos de los elementos registrados, sin que medie en esto las relaciones topológicas.

Un Taforregistro surge al clasificar los caracteres secundarios, resultantes de la alteración tafonómica de un elemento registrado o un conjunto de ellos. Esto permite reconocer secuencias y discontinuidades tafonómicas en las unidades registráticas, al comparar taforregistros de distintas localidades, generalizando tafonómicamente una región dada, sean o no estratigráficamente sucesivas (Fernández-López, 1987).

Al tener entidades registradas clasificadas taxonómicamente, podemos inferir sus correspondientes Taxobiotemas, que no son más que el conjunto de entidades paleobiológicas inferidas a partir de los caracteres taxonómicos y parataxonómicos significativos y comunes de las entidades registradas (Fernández-López, 1987). Para ello no se tiene en cuenta el tiempo de aparición del taxón específico, ni el de producción de los elementos conservados.

Caracterización de los Tafones Conservados

En este trabajo se han definido cinco tafones diferenciados por sus características tafonómicas:

Tafón 1 (Zaza -Tipo 1): Moldes internos de color amarillo fuerte, con manchas de manganeso que recubren la mayor parte de la superficie de los ejemplares, teñidos de óxido de hierro. El material que forma el molde está compuesto de una caliza detrítica de grano medio a grueso, rica en litoclastos y granos minerales. En algunos casos presentan incrustaciones de Balánidos (Fig. 2).

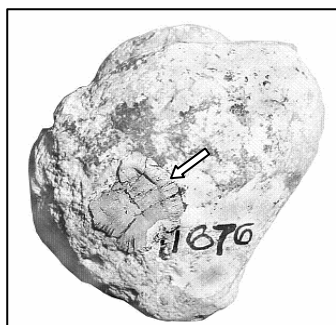


Figura 2. Huellas producidas por la implantación de Balánidos sobre moldes de *Melongena* sp.

Tafón 1 (Zaza -Tipo 2): Está representado por moldes internos de color crema. El relleno está formado por una caliza detrítica de grano medio a grueso, rica en litoclastos y granos minerales. Los procesos de teñido de hierro no están presentes en ellos, pero sí el manganeso en forma de dendritas.

Tafón 2 (La Palma): Moldes internos de color crema, formados por una caliza arcillosa detrítica, de grano medio a fino. Es distintivo un “sombreado” de color negro, que cubre algunas partes de los ejemplares, sin llegar a ser una película o pátina, sino que se encuentra diseminada. Se observan frecuentes manchas de óxidos e hidróxidos de hierro.

Tafón 3 (Romanillo): Moldes internos de color crema formados por una caliza arcillosa de grano fino. Son frecuentes las manchas de óxidos e hidróxidos de hierro, y dendritas negras de óxido de

manganeso. Tiene como carácter distintivo el grado de deformación, manifiesto en un aplastamiento de los moldes paralelo al eje alargado de la espira, sin fragmentación de estos.

Tafón 4 (Km 134): Moldes calcáreos recristalizados, dolomitizados, con grietas rellenas de calcita esparítica. En general, presentan una coloración que va de color amarillo a crema, en partes con tonos naranjas. Frecuentes dendritas negras de óxido de manganeso. La deformación está dada por grietas que fragmentan los moldes, principalmente paralelo al eje de enrollamiento de la espira.

Tafón 5 (Baitiquirí): Conchas preservadas por la sustitución en yeso. La matriz que rellena a las conchas están formados por una caliza biodetrítica arcillosa. Color gris a crema, de aspecto traslúcido. El agrietamiento de los ejemplares está dado en dos patrones fundamentales: uno formado por grietas finas entrecruzadas y otro por grietas en forma de raíces.

Procesos Tafogénicos

Los procesos tafogénicos son el conjunto de transformaciones por las que atraviesa una entidad hasta su registro, imprimiéndoles características tafonómicas que reflejan los eventos por los que ha pasado (Fernández-López, 1999).

Disolución: Las entidades analizadas, exceptuando al tafón de Baitiquirí, se presentan como moldes internos, evidenciándose que durante el proceso de fosildiagénesis existió interacción de las conchas con las aguas debido en gran manera, a los procesos de carsificación y la permeabilidad de las rocas así como la composición aragonítica de la concha de la mayoría de los gastrópodos. Este proceso no ha sido de igual magnitud en todas las entidades y tafones. El tafón perteneciente al Miembro Los Baños de la Formación Paso Real, se caracteriza por la disolución de la mayor parte de la concha, aunque persisten relictos de ella (P892, P904). La mayoría de los relictos se encuentran en *Strombus*, que presenta una concha robusta, lo que parece haber limitado la disolución y favorecido el proceso de epigenización de aragonito a calcita; que es menos soluble.

Oxidación: Este proceso se evidencia de diversas maneras, fundamentalmente, en manchas de óxido de hierro y de manganeso, de forma y extensión variable. En el Tafón 1 (Zaza - tipo1) este proceso adquiere mayor fuerza, y se refleja como una patina de manganeso, que recubre un alto porcentaje de la superficie de los moldes y le confiere un color negrusco. Poseen además, manchas de óxidos e hidróxidos de hierro que le confieren un color amarillo naranja, contrastante con el del resto de los tafones. En otros ejemplares se evidencian algunas dendritas negras de manganeso.

Deformación: El proceso de deformación más visible se encuentra en el Tafón 4, aunque se pueden evidenciar dos tipos de deformación. Una caracterizada por la deformación del molde sin fracturas de mayor consecuencia, mostrando que al deformarse no estaban del todo litificados, sino que estaban en un estadio temprano de diagénesis; incluso se pueden observar estructuras de colapso de la concha (sutura), sugiriendo la presencia de esta antes de la deformación.

Y un segundo tipo de deformación, presente en el Tafón 5, que está dada en la deformación por bloques rígidos, cada uno limitado por grietas formadas después del proceso de litificación, pues el coeficiente de plasticidad fue superado en la deformación fracturándose en sectores. Así se delimitan dos deformaciones en distintos grados de diagénesis. El primer tipo de deformación parece deberse a presión litostática en el proceso de compactación y el segundo a procesos posteriores posiblemente asociados a la dolomitización presente a ellas y a procesos tectónicos.

Sustitución: La sustitución es un proceso identificado en la localidad de Baitiquirí. Se sustituye la concha aragonítica de los gastrópodos, (Nieves-López, 1994) por yeso; en un medio rico en este compuesto siendo capaz de sustituir *totalmente las conchas*.

Neomorfismo: Como se describió en el tafón correspondiente a Km. 134, existen relictos de conchas en algunos ejemplares (P 892, P901, P 904), aunque estos no se presentan como aragonito (originales) sino como calcita, evidencia de un neomorfismo de aragonito a calcita, que es más estable.

Recristalización: Fundamentalmente en las entidades registradas de Km. 134, las grietas se encuentran rellenas de calcita esparítica. El material que forma el molde, posee un alto grado de cementación y una mayor densidad que las restantes familias tafónicas.

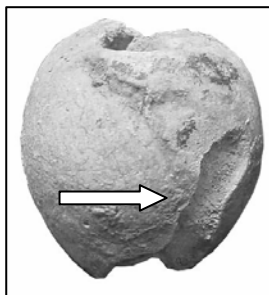


Figura 3 Acción de litófagos sobre un molde de *Cypraea*.

Bioturbación: Los procesos de bioturbación son muy frecuentes en el Tafosistema 1 (correspondiente a las localidades La Palma, Zaza, Romanillo y Km. 134).

Este es variable, y consiste en incrustaciones de Balánidos, acción de litófagos e implantación de Vermes.

Retroalimentación Tafonómica

En el Tafón 1 se observan huellas de incrustación de *Balanus* sp. (Crustáceos cirrópodos) sobre algunos moldes (P1676, P1679, P1682),

Este hecho indica, que la entidad ("moldes colonizados") fue memorizada, y disuelta su concha, antes de la colonización de los Balánidos. Estas entidades registradas, no presentan signos de transporte, que evidencie una reelaboración tafonómica, lo que trae como implicación directa, que sea considerada como una entidad autóctona.

Por otro lado, las entidades se encuentran dentro de la misma área de distribución del taxón, evidencia de que es una entidad démica (López- Martínez, y Truyols-Santonja, 1994). Al ser entidades démicas y autóctonas se descarta que pueda haber existido reelaboración tafonómica (Fernández-López, 1987).

Este caso de retroalimentación tafonómica, muestra que la exposición de las entidades (moldes) a la Zona Tafonómica Activa (Farinati, 2005), fue a nivel intermareal, por ser este el hábitat de los Balánidos.

Aquí los Balánidos están conservados sobre los moldes de *Melongena* sp., y específicamente, en el último tercio de la vuelta del molde. Esta posición específica, parece indicar la ocurrencia de orientación biostratinómica (y tal vez fosildiagenética) de las conchas.

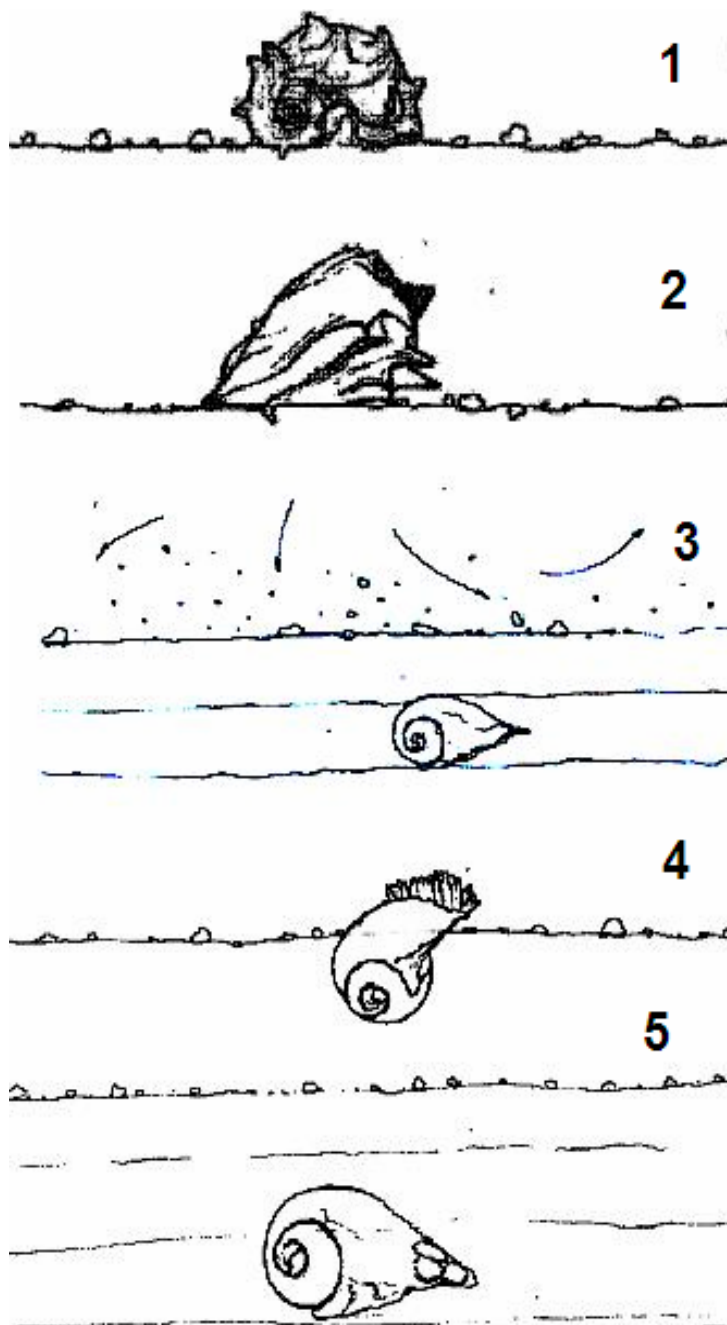
Figura 4 Sucesión tafogénica de la implantación de Balánidos sobre moldes de *Melongena*.

Al parecer, después de la producción biogénica, con el comienzo del rellenamiento de las conchas de *Melongena* sp., el centro de masa de la concha es desplazado hacia el extremo diametralmente opuesto al tercio colonizado. Esto conlleva a la reorientación de la concha durante el enterramiento, quedando con el tercio de la vuelta paralelo a la superficie horizontal. No se descarta que pueden haber tenido influencia los procesos de reordenamiento que ocurren en las aguas someras por acción de las olas.

Sucesión Tafogénica Deducida

Del hecho anterior es posible deducir una sucesión tafonómica ocurrida en el siguiente orden (Fig. 4):

1. La entidad paleobiológica se encuentra en su hábitat donde muere.
2. Los procesos biostratinómicos hacen que la concha se oriente, comienza el relleno y sepultura de la concha.
3. Es litificado el relleno formando el molde interno, quedando este sepultado, mientras las aguas subterráneas disuelven la concha, resultando memorizado sólo el molde interno.
4. Ocurre una erosión, al parecer subacuática, exponiendo al molde en el fondo, donde comienza la colonización de los Balánidos sobre el sustrato duro, que incluye los moldes de *Melongena*.
5. Sepultamiento de la sucesión. Posterior remoción antrópica de los *Balanus* y su reenterramiento artificial durante los trabajos de excavación.



Un proceso similar debió ocurrir con las huellas registradas de organismos litófagos (Fig. 3). La presencia de Balánidos sobre los moldes, indica que la roca después de haber sido litificada, estuvo expuesta en el fondo marino a escasa profundidad, posiblemente llegando hasta la zona intermareal, tal situación puede responder a cambios eustáticos o a movimientos geotectónicos locales.

Unidades Taxorregistráticas

Las relaciones entre la presencia y ausencia de los taxones de las diferentes localidades se muestran en forma de dendrograma (Fig. 5).

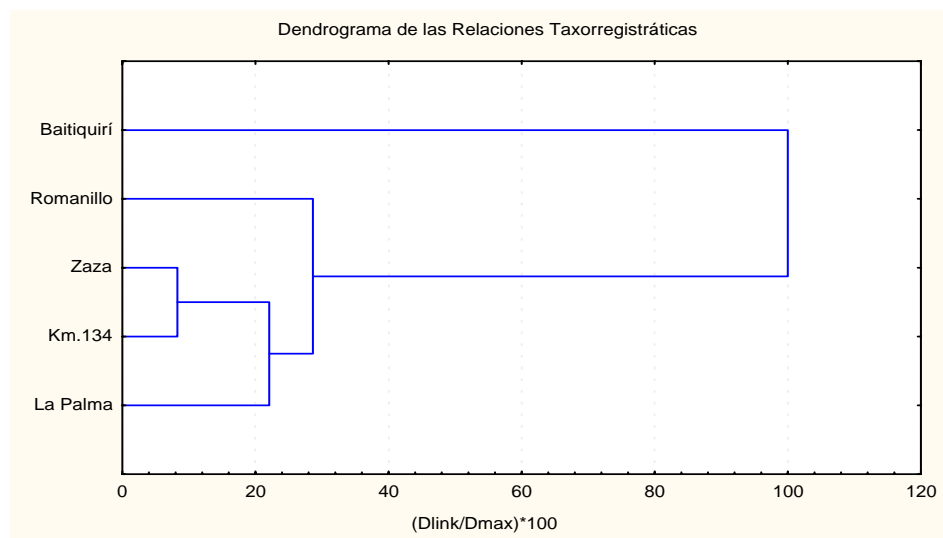


Figura 8 Relaciones de las unidades taxorregistráticas de las diferentes localidades.

Taxorregistráticamente, se evidencia que los paleobiotemas de las localidades del Mbro. Baños (Fm. Paso Real) y la localidad Zaza (Fm. Lagunitas) eran muy similares. Estas dos poseen en común seis taxobiotemas, sugiriendo que los dos paleoambientes deducidos eran muy parecidos en ambas áreas.

La localidad La Palma (Fm. Lagunitas) tiene similitud con Km. 134 y Zaza (Fig. 5) teniendo en común con ambas cinco taxobiotemas, corroborando la semejanza de los paleoambientes deducidos.

Por otro lado, con Romanillo (Fm. Arabos) comparte cinco taxobiotemas, distintos a los compartidos con localidades previas. Esto puede obedecer a una evolución en el paleoambiente hacia la parte baja del Mioceno inferior.

Por último, la localidad Baitiquirí (Mbro. Baitiquirí) no tiene coincidencia paleobiotémica con las cuatro anteriores, evidenciándose claras diferencias en cuanto a condiciones paleoambientales en esta etapa.

Cronotaxobiotema

La localidad Zaza (Fm. Lagunitas) posee una datación absoluta igual a 14.68 millones de años (Langhiniano, según GTS en: Gradstein et al., 2004) determinada en conchas de ostreidos, mediante fechado de estroncio (MacPhee e Iturralde-Vinent, 2004). Por tanto, se puede acotar esta asociación en el tiempo, como un taxocronobiotema, pues conocemos el tiempo de memorización de dichas entidades, y esta relación temporal, es extensible a los taxobiotemas compartidos con la localidad del Mbro. Baños (Fm. Paso Real), (Fig. 5); mostrando que aquellos taxobiotemas habitaron esas regiones durante el Mioceno medio temprano.

Unidades Taforregistráticas: Los caracteres tomados en cuenta para la demarcación de los Taforregistros se presentan en una matriz de ausencia-presencia en las localidades, mencionadas (Anexo 4), al definir los tafones presentes.

Estos caracteres son suficientemente informativos para delimitar los tafones correspondientes, por lo que se analizan las relaciones entre tafones por medio de un dendrograma (Fig. 6).

Así, los conjuntos de entidades registradas analizadas pueden ser agrupadas en las poblaciones tafónicas, distinguidas en el dendrograma.

Las relaciones establecidas muestran que las poblaciones tafónicas de Zaza T1 (Fm. Lagunitas), Romanillo (Fm. Arabos), La Palma (Fm. Lagunitas) y Km. 134 (Mbro. Baños, Fm. Paso Real) son cercanas entre sí. Según sus caracteres tafonómicos, comparten los procesos de disolución, oxidación y el material que forma el molde es similar (Ver descripción de los Tafones).

Zaza T2 (Fm. Lagunitas) por su parte, se diferencia de estas, separándose en el dendrograma por el grado de oxidación, mostrar pátinas en la superficie de los moldes y que imprime un color amarillo naranja, y además, exhibe organismos incrustantes (Crustáceos cirrópodos). Estas entidades registradas se encuentran en la misma área de Zaza T1 (Fm. Lagunitas), de donde se deduce que han actuado sobre ellas similares procesos, como los reflejados en la disolución y la oxidación.

De esta situación se deduce, que si bien los procesos tafonómicos fueron los mismos, la intensidad de estos ha sido diferente. Esto está dado porque la alteración tafonómica favorece a un conjunto de caracteres más que a otros, diferenciándose y haciendo posible la "politipia". Se señala que los distintos tipos de elementos conservados que representan esta "politipia" son realmente, tipos conservativos de un mismo Tafón (Fernández-López, 1989).

Por esto, el Tafón de Zaza (Fm. Lagunitas), que posee dos estados conservativos de un mismo Tafón, lo que hace que puedan ser unidos en una misma Población Tafónica, con los tipos: Zaza T1 y Zaza T2.

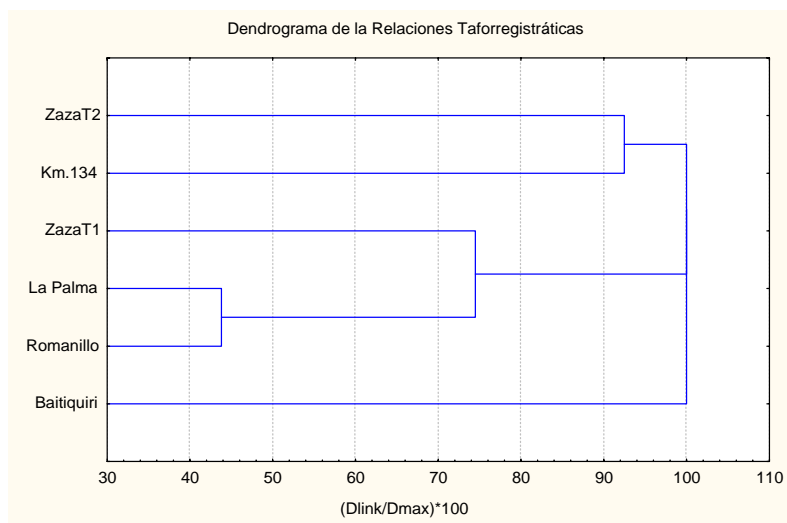


Figura 6 Relaciones Taforegistráticas entre las localidades estudiadas.

Esta diferenciación ha ocurrido, al parecer, en la última fase de la tafonización, en la que los procesos tafonómicos de alteración por intemperismo, hacen que se muestren en Zaza T2 (Fm. Lagunitas) caracteres marcados fundamentalmente por una oxidación más fuerte. Se muestra en las pátinas de manganeso, y en el color amarillo naranja fuerte, al parecer por presentar un porcentaje más alto de óxidos e hidróxidos de hierro.

La población tafónica de la Localidad Baitiquirí (Mbro. Baitiquirí, Fm. San Antonio) se encuentra separada del resto. Está formada por conchas sustituidas en yeso.

El material que rellena la concha es calcáreo-arcilloso-yesífero. Esto muestra procesos y ambientes tafogénicos deducidos, distintos a los del resto de las localidades descritas. En esta población tafónica los procesos tafonómicos de disolución y oxidación no ocurrieron, como sí ocurre en las otras localidades analizadas, sino que se evidencia particularmente la sustitución por yeso.

Se determinaron por tanto, cinco poblaciones tafónicas, de las cuales cuatro comparten un mismo ambiente tafonómico, pero con variaciones en los diferentes subambientes. Las cuatro se presentan como moldes internos, formados por material calcáreo arcilloso (contenido variable de arcilla), de colores amarillos y cremas, pueden ser agrupadas en un Tafosistema al que denominamos Tafosistema 1. Y una, la localidad de Batiquirí (Mbro. Baitiquirí), que no comparte, como se señaló, este ambiente tafonómico y se ubica en otro Tafosistema (Tafosistema 2).

Elementos de Correlación y Análisis de Cuencas

Como resultados de la aplicación del análisis tafonómico, desde la concepción actual respecto al uso del registro fósil, se obtuvo una nueva información, desde los puntos de vistas cualitativo y cuantitativo, que se evidencia aprovechable en el análisis de cuenca. Aunque los casos tratados están limitados a tres regiones solamente, y a la serie estratigráfica del Mioceno principalmente, se revela como significativa su utilidad en la reconstrucción histórica de la evolución geológica de los espacios registrados y deducidos; léase, cuencas sedimentarias durante un determinado tiempo.

Correlación taxobiotémica

Los taxobiotemas de las localidades estudiadas poseen relaciones que son deducibles a partir del dendrograma de las las entidades taxorregistráticas, quedando las siguientes asociaciones taxobiotémicas (ATB).

Km. 134- Zaza

ATB-1: *Conus* sp., *Conus* cf. *recognitus*, *Oliva lisa*, *Siphocypraea* cf. *angustina*, *Turritella* cf. *variegata*, *Melongena* cf. *melongena*.

Como se trató anteriormente, las relaciones taxobiotémicas más cercanas se encuentran en estas dos localidades (Mbro. Baños, Fm. Lagunitas). La presencia de las entidades paleobiotémicas *Siphocypraea*, y *Melongena*, indican un medio de escasa profundidad, que variaba entre los primeros 10-15 metros, con fondos fangosos (en menor grado areno-fangosos), al parecer en lagunas costeras en el *back reef*. (Abbott, 1974)

Por otra parte, las asociaciones de *Conus*, *Oliva* y *Turritella* indican profundidades de hasta los 30-50 metros (Vera-Peláez, 2001) con biotopos arenosos y rocas sueltas, asociados a corales e intercambio con aguas abiertas. Se diferencian entonces dos ambientes, uno de escasa profundidad, fangoso de baja energía, y otro un poco más profundo con fondos arenosos, rocas sueltas e intercambio con aguas abiertas (Fernández-Milera, 1997).

El análisis de los microfósiles registrados arroja dos asociaciones diferenciadas, que parece corroborar la información brindada por los Gastrópodos. Una de Amonia-Ostracodos, que se relaciona con un medio de baja energía presumiblemente de lagoon, y la asociación Amphistegina-Archaias-Miliólidos, propia de fondos arenosos someros de mediana-alta energía (Franco et al, 1992)

Zaza – La Palma

ATB-2: Estas localidades se encuentran dentro de la Fm. Lagunitas. La Palma representa la parte alta de esta unidad. Las relaciones taxobiotémicas entre estas localidades son muy cercanas, compartiendo los siguientes taxoregistros: *Conus* sp., *Conus* cf. *recognitus*, *Oliva lisa*, *Siphocypraea* cf. *angustina*, *Turritella* cf. *variegata*, *Polinices brunneus*.

Se aprecia que compartían una serie de taxobiotemas, por lo que el paleoambiente debió ser bastante similar, pero que se diferencian porque el número de taxones presentes en La Palma es mayor (Ver tabla de taxones), y pueden reflejar cambios paleoecológicos. *Polinices*, que vive debajo de las capas de arena en la línea de marea, al parecer señalan la presencia de paleolíneas de costa. Así mismo, *Mitra* es típica hasta los 5 metros de profundidad. Además, la asociación de *Mitra* y *Buccines* indica una costa rocosa con fragmentos sueltos, debajo de los cuales vivieron (Fernández-Milera, 1997).

En La Palma podemos ver que la asociación indica un paleoambiente algo similar a Zaza, pues variaría desde una costa rocosa (*Buccines*, *Mitra*) -arenosa (*Polinices*) hasta fondos areno- arcillosos (*Strombus*). Al parecer, este aumento de la diversidad paleobiotémica obedece a condiciones paleoecológicas más propicias para la instalación de aquellas.

Esta etapa transgresiva en la que se encontraba La Palma, a juzgar por el registro litoestratigráfico de la unidad (Fm. Lagunitas), poseía una serie de nichos ecológicos que permitían la coexistencia de un número mayor de especies que en Zaza esto esto puede obedecer a que Zaza se encontraba en un ambiente transicional con paleocanales incluidos, por lo que el número de nichos colonizados por los gastrópodos era menor.

La Palma- Romanillo

ATB-3: Estas representan el siguiente nivel de relaciones paleobiotémica (Ver dendrograma). Y comparten los siguientes taxobiotemas: *Turritella* cf. *variegata*, *Polinices brunneus*, *Xenophora* cf. *conchiliophora*, *Scalina* sp., *Buccinidae* sp. 2, *Mitra (Tiara) almagrensis*. Por ende, el paleoambiente debió ser similar. Vuelve la asociación (*Polinices* y *Mitra*) de muy baja profundidad, así como, la indicación de fondos arenoso-arcillosos dada por *Xenophora* y *Turritella*.

Índice de Diversidad

Los taxoregistros de la Fm. Arabos no son muy abundante (Franco y Delgado, 1997). Llama la atención, que la mayor parte de los taxobiotemas estudiados corresponden solamente a dos especies de *Buccinidae*, demostrando un alto nivel de especialización. En este caso, se aplicó el Índice de diversidad de Shanon-Weaver, que es razonablemente independiente del tamaño de la muestra; y por tanto el más utilizado en Paleoecología (López- Martínez, 1994).

Este índice tiene la siguiente expresión:

$$H = -\sum (ni / N) * \log(ni / N)$$

Donde *ni*, es el número de individuos de cada especie, y N, el número total de individuos de la muestra. El índice de diversidad calculado para la localidad de Romanillo es H = 1,18. Esto habla lógicamente de escasa diversidad, y dominada por el taxobiotema *Buccinides* sp.

Al parecer, las condiciones de vida en este biotopo no eran las más favorables para la proliferación de otras entidades paleobiológicas. Los gránulos de pirita parecen indicar que las condiciones pudieron llegar a ser reductoras en ocasiones.

La anterior situación, sugiere que *Buccinides* sp. se comporta en esta localidad, como un taxobiotema de estrategia ecológica de r (estrategias oportunistas) (López- Martínez, 1994). Este tipo de estrategia es tomada por organismos eurioicos (poseen nichos ecológicos amplios), por lo que pueden vivir en condiciones desfavorables para otros, y diversificarse, llegando a dominar una zona determinada.

Índice de Simpson

Para la Correlación Taxobiotémica entre las diferentes localidades se usó el Índice de Simpson, que es el más utilizado en la Biogeografía, para evitar sesgos debidos a regiones con pocas especies (López-Martínez, 1994).

Dicho índice tiene la siguiente expresión:

$$I = \frac{Nc}{Nmn}$$

En la que, Nc representa el número de taxones compartido, y Nmn el

número de taxones de la muestra menor. Calculando el índice de semejanza, expresada en porcentos, para los pares de localidades queda de la siguiente manera:

Zaza-Km 134: 75%	Zaza-La Palma: 75%	La Palma- Romanillo: 71%
------------------	--------------------	--------------------------

Con lo que se demuestra, que las tres localidades comparadas poseen un alto grado de correlación taxobiotémica entre ellas.

A juzgar por el alto grado de coincidencia obtenido, entre localidades situadas en una misma cuenca (área paleogeográficas), como son Zaza, La Palma, Romanillo, y el Km 134, perteneciente a otra cuenca; existió simpatría, reflejado en la semejanza de las poblaciones dado por el flujo de información López-Martínez, 1994).

En el mismo tiempo de producción, la localidad de Baitiquirí era taxobiotémicamente diferente a las restantes (Fig. 7). Esta diferenciación de la localidad, indica el escaso o nulo intercambio de información genética con los taxobiotemas de las cuencas Central y Los Palacios, sugiriendo alopatría entre ellas.

Correlación Tafonómica

Las localidades que están ubicadas dentro del Tafosistema 1 (localidades de la Cuenca Central y Cuenca Los Palacios) presentan caracteres correlacionables, pues el grado de procesos tafonómicos comunes es grande. Estas localidades presentan muy poca coincidencia con la localidad del Tafosistema 2 (localidad de la Cuenca de Guantánamo). Lo que parece indicar que estos dos tafosistemas evolucionaron de manera distinta, aunque coincidente en tiempo.

Al analizar las relaciones estratigráficas de las formaciones geológicas en las que se encuentran las localidades estudiadas (ver relaciones estratigráficas, Léxico Estratigráfico de Cuba), se puede observar que en el Mioceno Inferior parte baja, el Mbro. Baños (Fm. Paso Real) y la Fm. Lagunitas eran isócronas (Fig. 7).

Se puede observar, además que ambas localidades se encuentran en el borde de áreas emergidas (Fig. 7), en las que el aporte de material terrígeno es grande, lo que se refleja en la presencia y tamaño de los granos minerales y la textura que componen los moldes (ver estratigrafía de ambas unidades).

Durante la etapa de formación de esta unidad (Km. 134), que comprende desde el Oligoceno Superior hasta el Mioceno Inferior, se inicia una trasgresión que finaliza en el Mioceno Medio-Superior. Comienza con la acumulación de sedimentos terrígenos y transiciona a la instalación de un régimen predominantemente carbonatado (Iturralde-Vinent, 1997).

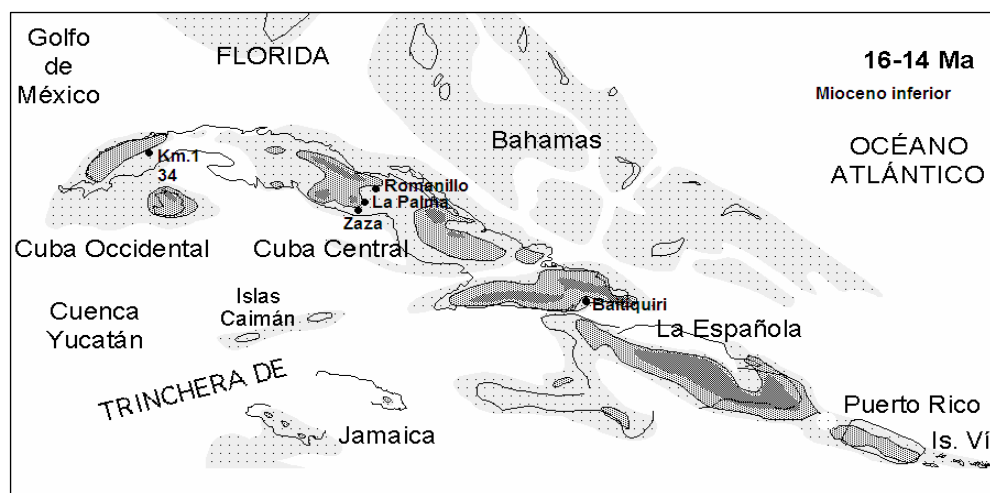


Figura 7
Ubicación de

localidades en el Mioceno inferior.

las

Las áreas de distribución del Mbro. Baños y Fm. Lagunitas estaban separadas por un mar profundo, que impediría que taxobiotemas como *Melongena* y *Siphocypraea* se mantuvieran en contacto, pues eran taxobiotemas de rango ecológico restringido en cuanto a variación de profundidad (estenobatiométricos). Tal situación, sugiere que la dispersión de las entidades paleobiológicas debió

ocurrir en el estado larval, arrastradas por las corrientes. El modelo de paleocorrientes para esta etapa parece corroborarlo (Fig. 7).

Por tanto, es explicable el conjunto de relaciones, tanto taxobiotémicas como tafonómicas, que presentan dichas áreas y que las hacen poseer un alto grado de correlación.

En el Mioceno Inferior, las localidades Km.134, Zaza, La Palma y Romanillo, son parte de la serie transgresiva y se encuentran diferenciadas, la primera en la Cuenca de los Palacios, y las tres últimas en la Cuenca Central. Aparece en la Cuenca de Guantánamo el Mbro. Baitiquirí.

Al parecer, la diversificación de los taxobiotemas ocurrió en dos estadios. Un primero, en el que el flujo de entidades va a ser más intenso entre Zaza y La Palma, correspondiente al Mioceno Inferior parte baja. Y un segundo estadio, entre La Palma y Romanillo, que ocupó una posición estratigráfica un poco más alta, posiblemente del Mioceno inferior parte baja tardío a Mioceno Inferior parte alta temprano.

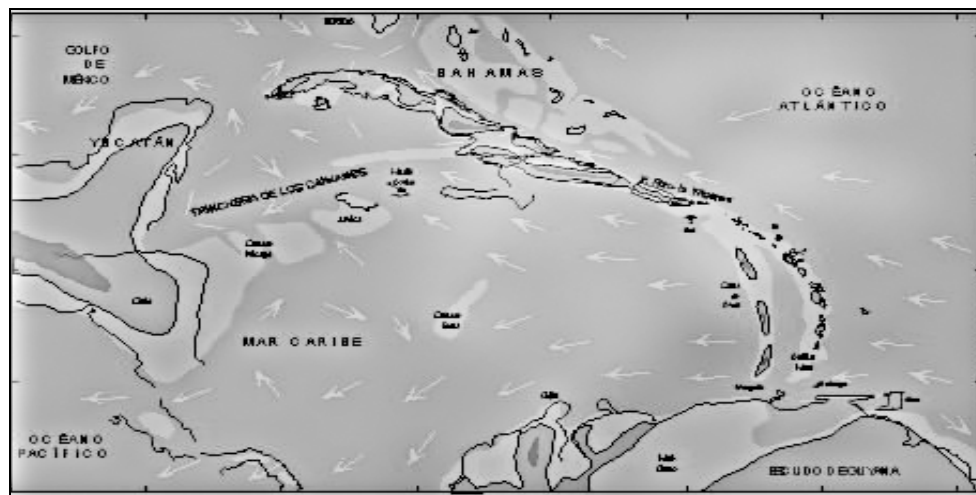


Figura 8 Paleocorrientes en el Oligoceno Superior- Mioceno Inferior (Iturralde-Vinent, 2004).

La dispersión taxobiotémica pudo ocurrir, ya sea, a través de las corrientes marinas que atravesaban la Cuenca Central, o por desplazamiento directo del bentos dentro de la misma cuenca, pues las tres localidades (Zaza, La Palma y Romanillo) parecen haber estado ubicadas en la misma paleolínea de costa del bloque Centro Occidental (Escambray).

Lo anterior parece explicar el alto grado de coincidencia entre las asociaciones taxobiotémicas de estas localidades, así como el parecido tafonómico, pues como se dijo formaron parte de un mismo tafosistema, afectado por los procesos tafogénicos muy parecidos.

La disminución del grano del material que forma los moldes, y el aumento de su contenido en carbonatos, parece responder al establecimiento de un régimen marino carbonatado hacia el final del ciclo transgresivo (Iturralde-Vinent, 2004).

Para explicar las particularidades que distinguen a la localidad de Baitiquirí del resto de las áreas, es necesario ver las condiciones peculiares existentes en este periodo de tiempo en la Cuenca Guantánamo.

En el Oligoceno Superior al Mioceno Inferior los terrenos cubanos completaron la acreción a la placa Norte Americana, corriéndose el límite de placa hacia la Falla Oriente (Iturralde-Vinent, 2004). En este contexto se forman una serie de estructuras extensionales de rumbo N-S a la que correspondió la paleocuenca en la que se encontraba Baitiquirí (Rojas-Agramonte et al., 2006), (Fig. 9).

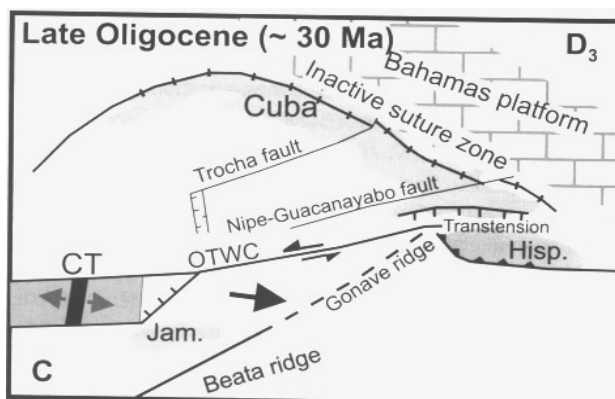


Figura 9
Oligoceno (Tomado
2006).

Representación tectónica del
de Rojas-Agramonte et al.

Se hace evidente, encontraba

desde el punto de vista biogeográfico es alopátrica con las restantes. En cambio, el patrón de paleocorrientes era de E-W (Fig. 8), por lo que debía suponerse que existiera intercambio de larvas, lo cual no se evidencia, dada la marcada diferenciación específica que reflejan los taxobiotemas deducidos (o los taxoregistros).

La paleocuenca, a juzgar por la extensión y espesor limitado de las rocas pertenecientes al Mbro. Baitiquirí, es muy probable que fuera relativamente pequeña (ver Léxico Estratigráfico, Franco et al., 1992), al parecer presentaba limitaciones que evitaban o restringían la diseminación de los taxobiotemas. Este estado deducido de restricción parece corroborarlo además la asociación *Ammonia beccarii*- Ostrácodos, y la presencia de abundante yeso.

El aislamiento produce que la salinidad sea muy variable, pudiendo estar ligada incluso a factores estacionales, debido a ello los taxobiotemas deberían soportar cambios bruscos de salinidad (estenohalinos).

Las condiciones geológicas, de un contexto geotectónico activo (apertura de la falla Oriente), explican tanto la separación taxobiotémica como la tafonómica del Mbro. Baitiquirí, respecto al resto de la localidades y unidades miocénica analizadas. Es lógico, que al ser estas las condiciones del medio, el ambiente tafogénico sea distinto. Las capas de arcillas y yesos protegen las conchas de la disolución y oxidación, al mismo tiempo que tiene lugar el proceso de extracción del carbonato, y la ocurrencia de la sustitución mineralógica, en el sentido:

Aragonito → Calcita → Yeso.

Al integrarse el conocimiento taxonómico con el tafonómico, se obtuvo una herramienta cualitativa y cuantitativa para la correlación estratigráfica, lo cual hizo posible que se pudieran calcular índices numéricos, que ayudan a la inferencia de similitudes paleoambientales y paleoecológicas, así como aspectos en la evolución de la cuenca.

CONCLUSIONES

1. Los resultados del presente trabajo permiten afirmar que el nivel cognoscitivo referente a la Clase Gastrópoda del Mioceno en Cuba, es cualitativa y cuantitativamente mayor, que el que se poseía previamente. Se reportan 11 géneros y 17 especies nuevas para esta edad, que representa un

- 42,3% (de los géneros) y 44,77% (de las especies) de los Taxorregistros conocidos hasta el momento en Cuba.
2. El análisis tafonómico hizo posible la demarcación de dos Tafosistemas y seis tafones, definiéndose tres Asociaciones Taxobiotémicas: ATB-1: *Conus* sp., *C. cf. recognitus*, *O. lisa*, *S. cf. angustina*, *T. cf. variegata*, *M. cf. melongena*; ATB-2: *Conus* sp., *C. cf. recognitus*, *O. lisa*, *S. cf. angustina*, *T. cf. variegata*, *P. brunneus*; ATB-3: *T. cf. variegata*, *P. brunneus*, *X. cf. conchiliophora*, *Scalina* sp., *Buccinidae* sp. 2, *M. almagrensis*, ubicadas en el Tafosistema 1; y la ATB-4: *C. aemulator*, Especie 1 y 2 indet., dentro del Tafosistema 2.
 3. Las localidades de Zaza y La Palma (Fm. Lagunitas) y Romanillo (Fm. Arabos), pertenecientes a la Cuenca Central, y Km. 134 (Mbros. Baños) de la Cuenca de Los Palacios, son correlacionables, pues forman parte a un mismo Tafosistema y poseen un alto grado de coincidencia taxobiotémica. Por el contrario, la localidad Baitiquirí (Mbros. Baitiquirí) no es correlacionable con las anteriores, pues pertenece a otro Tafosistema y no posee coincidencias taxobiotémicas.
 4. Desde el punto de vista tafonómico, se evidencian las diferentes evoluciones que sufrieron las cuencas marinas (y sedimentarias fósiles – ambientes tafogénicos), según las expresiones evidenciadas de sus relaciones taxobiotémicas, taxocronobiotémicas y tafonómicas, establecidas durante la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbott-Tucker, R., 1974. American Seashells. Van Nostrand Reinold. New York: 663 pp.
- Albear, J. F., 1947. Stratigraphic paleontology of Camagüey district, Cuba. AAPG Bull., 31(1): 71-91.
- Cortázar, D., 1880. Descripción de un nuevo equinodermo de la Isla de Cuba. Madrid. Imprenta. No 23. pp 23-40.
- Douvillé, H., 1926. Quelques fossiles de Crétacé supérieur de Cuba, Planche VII et VIII. Bull. Soc. Géol. France 26 (3-4-5) : 127-138.
- 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.
- Efremov, J. A., 1950. Taphonomic et annales géologiques. Annales du Centre d'Etudes et de Documentation Paléontologiques, 4(1953): 196 pp.
- Farinati, E., Spagnuolo, J., Aliotta, S., 2005. Tafonomía comparativa de moluscos en la costa del estuario de Bahía Blanca, Argentina. En: 4ta Reunión de Tafonomía y Fosilización. Martinell, Domenech, Gibert (eds.). Barcelona: pp105-106.
- Fernández-López S., 1991. Taphonomic concepts for a theoretical biocronology. Revista Española de Paleontología 6, 37-49.
- Fernández-López, S., 1984. Nuevas perspectivas de la Tafonomía evolutiva: tafosistemas y asociaciones conservadas. Estudios Geológicos, 40 (1983): 215-224.
- Fernández-López, S., 1986. Sucesiones paleobiológicas y sucesiones registráticas (nuevos conceptos paleontológicos). Revista Española de Paleontología 1: 29-45.
- Fernández-López, S., 1987. Necrocinesis y colonización posmortal en Bajocisphinctes (Ammonoidea) de la Cuenca Ibérica. Implicaciones paleoecológicas y paleobatimétricas. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, (Geología), 82: 151-184.
- 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.
- Fernández-López, S., 1999. Tafonomía y Fosilización. En: Tratado de Paleontología (Ed. B. Meléndez, 1998). Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid: 51-107.
- Fernández-López, S., 2000. Temas de Tafonomía. Dpto. Paleontología, Universidad Complutense de Madrid: 167 p.
- Fernández-Milera, J., 1997. Joyas de Cuba, moluscos marinos. Editorial Oriente. Santiago de Cuba. 222 pp.
- Perrilliat, M.C., 1992. Bivalvos y gasterópodos de la formación Ferrotepec (Mioceno medio) de Michoacán. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología y Paleontología Mexicana 60. 49 p.

- Franco et al., 1992. Léxico Estratigráfico de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología (MINBAS). La Habana (inédito) (electr.).
- García-Delgado, D., R. Delgado-Damas, G. Millán-Trujillo, L. Díaz de Villalvilla-Carbó, K. Sukar-Sastropuro, I. Llanes, L. Bernal-Rodríguez, Y. Rojas-Agramonte, C. Pérez-Pérez, C. Díaz-Otero, G. Furrázola-Bermúdez, L. Peñalver-Hernández, I. García-Cádiz, M. Pardo-Echarte, V. Suárez-Leyva, R. Rojas-Consuegra, 1998. Mapa geológico de Cuba Central, a escala 1:100 000. En: Congreso Cubano de Geología y Minería (1998: La Habana). III Congreso Cubano de Geología y Minería. Geomin'98. Memorias: pp 263-266.
- Gradstein et al., 2004. A new Geologic Time Scale with special reference to Precambrian and Neogene. Episodes . Vol 27 No 2: pp 83-100.
- Iturralde-Vinent, M., 1999. Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. Acta Geológica Hispánica 33 (1-4): pp9-56.
- Iturralde-Vinent, M. (Ed.), 1997. Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. Contrib. Espec. No. 1. IGCP Project 364, Miami, USA. 265 p.
- Iturralde-Vinent, M. 1981. A short note on the Cuban late Maastrichtian megaturbidite (an impact derived deposit?). Earth Planet. Sc. Lett. 109: 225-228.
- Díaz- Franco S, 2005. Las breas de San Felipe. Tesis de Maestría. MNHNC.
- Suárez- Duque, 2006. La avifauna fósil de Cuba. Tesis de Maestría. MNHNC.
- Rojas- Consuegra, 2004. Los Rudistas de Cuba. Tesis de doctorado. MNHNC.
- Bermúdez P, 1950. Contribución al estudio del Cenozoico Cubano. Mem. Soc. Cub. Hist Nat. Vol 19 No3pp 204-375.
- Iturralde-Vinent, M., 2004. La Paleogeografía del Caribe y sus implicaciones para la Biogeografía Histórica: En: M. Iturralde-Vinent (ed.) Paleogeografía y Biogeografía de Cuba y el Caribe. Museo Nacional de Historia Natural, La Habana. Primera Edición Digital (CD).
- Iturralde-Vinent, M., R.E.D. MacPhee, S. Díaz-Franco, R. Rojas-Consuegra, Suárez, W. y Lomba, 2000. Las Breas de San F., a Quaternary Fossiliferous Asphalt Seep near Martí (Matanzas Province, Cuba) Caribbean Journal of Science 36(3-4): pp 300-313.
- Jaume, M. y Pérez- Farfante, I., 1942. Moluscos Pliocénicos de la Zona Franca de Matanzas, Cuba. Mem. Soc. Cubana Hist. Nat., vol. 16. No. 1:pp 37-44.
- 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.
- Molina, E. (ed.), 2002. Micropaleontología. Zaragoza: Prensa Universitarias de Zaragoza, 2002: 634 pp.
- Nagy, E. y Radocz, Gy., 1983. Algunas novedades paleontológicas de Cuba Oriental. En: Contribución a la geología de Cuba Oriental. Editorial Científico Técnica: pp 199-206.
- Vera-Peláez, J. y Lozano-Francisco C., 2001. Paleobiogeografía y paleoecología de la subfamilia Clavatulinae (Turridae, Gastrópoda) en el Plioceno del Mediterráneo occidental y la región Lusitánica. En: Los fósiles y la Paleogeografía. Meléndez, Herrera, Delvene (eds). Zaragoza: pp137-144.
- Vera-Torre, J. A., 1994. Estratigrafía, principios y métodos. Editorial Ruedas, S.L. Madrid. 806 pp.
- Rojas-Agramonte et al., 2006. Geology age and tectonic evolution of Sierra Maestra. En: Geologica acta, Vol 4 No 1-2.
- López-Martínez y Santoja Truyols, 1994. Paleontología. Editorial Síntesis. Madrid, 334 pp.
- Melendez B, 1970. Paleontología. Editorial Paraninfo Madrid. 714 pp.
- Sohl N, 1980. Mechanicals extraction of fossils. En Paleotechniques. Spencer edit. Pp. 186-204.

ESTUDIO GEOLÓGICO COMPARATIVO DE LOS PRINCIPALES HUMEDALES DE CUBA OCCIDENTAL

Carlos Manuel Pérez Pérez, Leandro Luis Peñalver Hernández, Miguel Cabrera Castellanos.

Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca 1002 y Carretera Central. San Miguel del Padrón. CP 11000. Ciudad de la Habana. Cuba, Tel: 696-7232, Fax: (537) 696-7004, E-mail: carlos@igp.gms.minbas.cu

RESUMEN

Se describen las características geológicas principales de los humedales Remates, Lanier y Zapata, destacándose la existencia en ellos de las formaciones carbonáticas Vedado, Jaimanitas, La Cabaña y Cocodrilo, así como de las terrígenas Guane, Guevara, Villarroja y Siguanea, todas de edades comprendidas entre el Plioceno Superior y el Pleistoceno Superior.

Se comprueba que las tres regiones, a pesar de encontrarse espacialmente distantes, presentan características geológicas similares con una evolución tectónica también similar, producto de un evento regional que pudo haber comenzado en el Eoceno Superior y que probablemente continúa en la actualidad lo que ha provocado el levantamiento general de la zona y la existencia en las tierras emergidas de un paisaje distintivo.

Se definió que en los tres territorios aparece en el plano una secuencia similar en la distribución de los depósitos neógeno-cuaternarios. En los humedales Remate y Lanier se distribuyen al norte franjas de pie de monte alrededor de las elevaciones conformadas por rocas antiguas, donde se observa material terrígeno, en el centro depresiones alargadas de Este a Oeste cubiertas por pantanos y depósitos muy jóvenes y al sur llanuras cársticas con material carbonatado. En el humedal Zapata la franja de pie de monte se localiza en la parte oriental del territorio. En el Norte se localizan también depósitos terrígenos, en la parte central llanuras y ciénagas y al sur la llanura cárstica.

Se compara el desarrollo geológico de las tres regiones, comprobándose con la interpretación de las imágenes de satélite y los propios mapas geológicos que se presentan, que el mismo ha tenido una dirección Este-Oeste. En la actualidad las ciénagas decrecen su área, pero surgen nuevas tierras en el extremo oeste de los territorios.

ABSTRACT

The geological features of the main wetlands Remate, Lanier and Zapata, are described. There are the calcareous formations Vedado, Jaimanitas, La Cabaña and Cocodrilo, and also the terrigenous formations Guane, Guevara, Villarroja and Siguanea. All of them have an Upper Pliocene to Upper Pleistocene age.

The three wetlands are very distant one each other, but they have similar geological characteristics and also tectonical evolution. The reason was a regional geological event that could started in the Upper Eocene but probably is still carried on to the recent time. This has provoked the general uplift of the regions with a distinctive emerged landscape.

In the three regions appears a similar sequence in the sediment distribution. In the Remate and Lanier wetlands to the north is distributed a piedmontal fringes surrounding the terrigenous ancient rock hills. To the center there are depressions enlarged in a W-E direction, covered by swamp and very young deposits; and to the south, are exposed karstic plains with calcareous material. In the Zapata wetland there is a piedmontal fringe at the eastern part; to the north there are also terrigenous deposits with the same sequence than the other two regions, but not of a piedmontal type; at the central part these are plains and swamp, and to the south a karstic plain.

The comparison of these three regions showed that the geological events evolution migrated from the east to the west.

INTRODUCCIÓN

En Cuba Occidental existen tres grandes humedales que presentan características comunes, relacionadas con la historia de su desarrollo geológico y la evolución tectónica que han sufrido los territorios en que ellos se localizan, sobre todo durante el Cenozoico tardío. El concepto de humedal que se aplica en el trabajo no se circunscribe solamente al de ciénaga permanentemente inundada, sino que abarca un área mucho mayor en la cual se incluyen sus fuentes de alimentación, las zonas de descarga de las aguas y las zonas carbonatadas adyacentes.

Siguiendo la dirección Oeste-Este estos territorios son la Ciénaga de Remates con la Península de Guanahacabibes que se le asocia, la Ciénaga de Lanier con la llanura cársica meridional de la Isla de la Juventud asociada y la Ciénaga de Zapata con la península del mismo nombre.

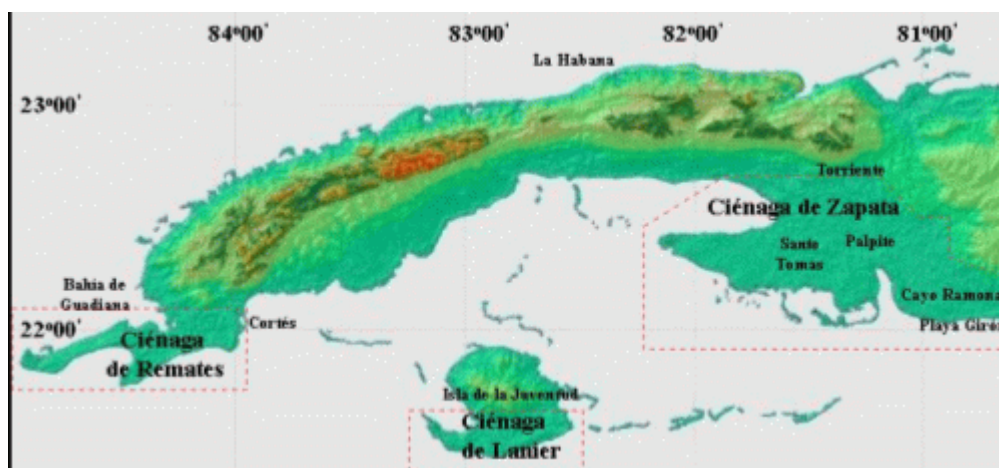


Fig. 1. Ubicación de los principales humedales de Cuba Occidental.

En las tres zonas se han efectuado durante los últimos años numerosas investigaciones, que no han podido desentrañar todas las interrogantes existentes sobre estos lugares inhóspitos para el ser humano, pero que han permitido establecer algunas regularidades en la distribución y ocurrencia de las unidades litoestratigráficas que aparecen en sus territorios. Estas unidades en todos los casos comprenden formaciones geológicas relativamente jóvenes, cuyas edades oscilan desde el Plioceno Superior (alrededor de 5 millones de años A.P.) hasta el Pleistoceno Superior tardío (alrededor de 30 000 años A.P.).

Las tres zonas pueden ser caracterizadas como amplias llanuras cársicas, donde afloran no solamente rocas de las formaciones carbonatadas Vedado, Jaimanitas, La Cabaña y Cocodrilo, sino también de las secuencias terrígenas de las formaciones Guane, Guevara, Villarroja y Sigüanea, aunque estas últimas unas veces se ubican al Norte y otras veces al Sur de dichas zonas.

En los tres territorios el nivel de las aguas subterráneas se encuentra muy elevado, a escasamente 2-3 m de profundidad, a veces menos y durante la temporada de lluvias al saturarse el manto freático, las aguas permanecen en la superficie formando lagunas extensas, lagos, pantanos, capas evaporíticas, etc.

CARACTERIZACION GEOLOGO-GEOMORFOLOGICA

HUMEDAL REMATES

Este humedal incluye la Ciénaga de Remates y la llanura cársica que se le asocia, se ubica en el extremo suroccidental de la provincia de Pinar del Río. El área de ciénaga se encuentra ubicada entre la Ensenada de Cortés y la Bahía de Guadiana y, al parecer, se ha ido rellenando de forma muy rápida con sedimentos jóvenes redepositados.

En este territorio, según demuestran los datos obtenidos por los pozos profundos perforados (Guane 1 y Guanahacabibes) las rocas neógeno-cuaternarias yacen directamente sobre las jurásicas, lo que indica una brusca inversión del régimen tectónico a fines del Oligoceno o en el Mioceno temprano.

En el pozo Guane 1, bajo la cobertura plioceno-cuaternaria que alcanza 220 m de profundidad, hasta el fondo del pozo a los 800 m se perforaron esquistos o filitas cuarzo-sericíticas lítricas, equivalentes de la Formación San Cayetano (J₁₋₂) con bajo grado metamórfico.

En el pozo Guanahacabibes, que alcanza 2202 m la cobertura alcanza 1000 m. Por debajo y hasta el final afloran también filitas cuarzo sericíticas, equivalentes de la Formación San Cayetano con bajo grado metamórfico (idénticas a las del Pozo Guane 1).

Las rocas del neógeno-cuaternario sobre las que se desarrolla este humedal son, por el Sur las formaciones Vedado (calizas coralinas, conchíferas y algales, muy duras y cavernosas) y Guane (conglomerados y arenas arcillosas, de color abigarrado) del Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior, así como la Formación Villarroja (arcillas arenosas de color rojo intenso) del Pleistoceno Medio-Superior, mientras que por el Norte las formaciones Guane y Guevara (arcillas y arcillas arenosas de color abigarrado), esta última del Pleistoceno Inferior-Medio, y la Formación Siguanea (arenas de cuarzo de granulometría variable pero predominantemente fina y media), del Pleistoceno Superior parte alta. Estas arenas cubren gran parte del humedal por el Norte y, al parecer, se han redepositado varias veces, incluida la época actual. La Formación Jaimanitas, del Pleistoceno Superior parte baja, solo aflora en el borde costero, a cierta distancia de la ciénaga (Kartashov, et al, 1981).

Presenta un amplio desarrollo de lagunas y pantanos de probable origen cársico, aunque parece haber sido afectada por variados movimientos de ascenso y descenso. Es probable que durante el último siglo, debido a procesos de canalización, regulación y drenaje, el área de la ciénaga haya disminuido.

En la actualidad, en las épocas de ciclones, muy comunes en esta zona, toda la depresión se inunda y prácticamente desde Cortés hasta la Bahía de Guadiana, se convierte en un lago transitorio. Se crean las condiciones aquí para que las arenas cuarzosas sean lavadas y redepositadas desde las partes más elevadas del territorio hacia las partes más deprimidas, es decir, hacia la zona pantanosa.

El zócalo de la llanura cársica y de todo el territorio de estudio lo constituye la Formación Paso Real, que la integran calizas cavernosas, fosilíferas, muy agrietadas e intemperizadas, cuya edad abarca el Mioceno Inferior y Medio.

La zona ubicada al Norte de la Ciénaga de Remates sufrió una acelerada subsidencia en el Mioceno temprano, lo que queda evidenciado por los grandes espesores que tiene aquí la Formación Paso Real. Ello se debió a un evento aun no precisado. La brusca interrupción de la falla Pinar, avalada por datos geofísicos, indica la posible actividad en esta época de un evento tectónico de alcance regional en esta zona.

La parte meridional del Humedal Remates lo constituye la Península de Guanahacabibes, la cual está cubierta de forma prioritaria por depósitos carbonatados de la Formación Vedado que forman una llanura cársica elevada a varios metros sobre el nivel del mar. Resulta evidente, que la subsidencia inicial (que aquí parece haber ocurrido a fines del Oligoceno), dio paso a la elevación continua del bloque que forma esta llanura a partir del Pleistoceno Inferior.

Aunque en menor proporción que la Formación Vedado, en la parte Norte de esta llanura y ya en los propios límites con la Ciénaga de Remates, se encuentran los conglomerados abigarrados de la Formación Guane y las arenas arcillosas rojas de la Formación Villarroja. Al Noreste, cerca del pueblo de Cortés, se observaron calcarenitas con estratificación cruzada, al parecer correlacionables con la Formación Cocodrilo (Pérez, C., et al, 2003).



Fig. 2.- Acantilado de la costa sur de la Península de Guanahacabibes, Pinar del Río. Fm. Vedado.

HUMEDAL LANIER

Este humedal incluye la Ciénaga de Lanier y la llanura cársica que se relaciona con la misma, estando ubicado en la Isla de la Juventud. La ciénaga del mismo nombre separa el macizo metamórfico ubicado en la parte norte de dicha isla de la Llanura Cársica Meridional.

Numerosos datos de perforaciones profundas, indican que el zócalo de toda la llanura cársica meridional, incluida la Ciénaga de Lanier, son las rocas del complejo metamórfico jurásico que afloran al norte del humedal. Por tanto, también aquí los procesos tectónicos relativamente jóvenes jugaron su rol y probablemente sean los causantes de la depresión o inflexión tectónica que algunos autores estiman ocasionó la formación de esta ciénaga.

La parte norte del humedal se asocia con rocas de las formaciones Guane y Guevara indiferenciadas en esta zona, mientras que la porción sur la constituyen rocas carbonatadas de las unidades del Pleistoceno Superior parte baja (Formación Jaimanitas) y del Pleistoceno Superior parte alta (Formación Cocodrilo).

La Formación Jaimanitas en casi todo el territorio de esta llanura está compuesta por calcarenitas margosas ocasionalmente fosilíferas, con frecuencia recubiertas con una fina costra evaporítica. En el borde costero aparecen las calizas coralinas típicas para esta unidad en casi toda Cuba.

La Formación Cocodrilo consiste de capas milimétricas de calcarenitas oolíticas duras de color gris oscuro que forman paquetes de diferentes espesores, con orientación variable en la estratificación, predominando ampliamente la estratificación cruzada.

Las rocas que infrayacen a las formaciones Jaimanitas y Cocodrilo son calizas coralinas, conchíferas y algales de la Formación Vedado. Es probable que en algunas partes de la zona cenagosa se puedan encontrar rocas de esta formación en la superficie, (Pérez, C., et al, 2004).



Fig. 3.- Depósitos de la Fm. Cocodrilo. Llanura Meridional de la Isla de la Juventud.



Fig. 4.- Punta Seboruco Alto. Costa sur de la Isla de la Juventud. Fm. Jaimanitas.

HUMEDAL ZAPATA

Este humedal incluye la Ciénaga y Península de Zapata, ubicada en la parte sur de la provincia de Matanzas. Es el mayor humedal cubano, con un ancho que fluctúa entre 15 y 58 kilómetros y una longitud de 170 kilómetros, extendiéndose también en dirección Este-Oeste.

Desde el punto de vista geológico el territorio se caracteriza por la presencia de considerables espesores de turba y una extensión significativa de las formaciones carbonatadas Vedado y Jaimanitas que constituyen el basamento de la ciénaga, y que también afloran directamente en la superficie, semejando islas dentro de la enorme área pantanosa.

Desde el punto de vista estructural la región es atravesada por el sistema de fallas profundas denominado Cochinos. Este sistema de fallas evidentemente ha estado activo a lo largo del Cenozoico, de forma tal que en la actualidad se pueden reconocer dos subregiones o bloques en la Ciénaga: la Occidental y la Oriental.

Con la subregión Occidental se relacionan costas acumulativas, ya que es el bloque más deprimido. Aquí los depósitos biogénicos y turberas que constituyen el núcleo del humedal, sobreyacen a la Formación Jaimanitas, localizándose la Formación Vedado solo en el zócalo de la llanura cársica. Se presentan también abundantes formas cársicas (casimbas, dolinas, lapiez) que en su inmensa mayoría se hallan en áreas pantanosas en la actualidad, sin seguir un patrón morfotectónico definido. En esta subregión alcanzan su mayor difusión las evaporitas, denominando así a las capitas rítmicas que se desarrollan sobre la Formación Jaimanitas y que obedecen a la alternancia de épocas estacionales anuales, es decir, períodos prolongados de inundaciones alternados con etapas de sequía. En la localidad de Maneadero, en el extremo Oeste de esta subregión, las evaporitas alcanzan hasta 1 m de espesor.

La subregión Oriental presenta una costa de tipo abrasiva (escarpada), ya que se relaciona con la parte levantada del sistema de fallas, aquí prácticamente no se observan evaporitas, siendo sustituidas, ocasionalmente, por una costra calcárea tipo "caliche", que es el resultado de la intemperización subaérea de las calizas. En el borde costero se desarrollan caletas y pequeñas playas de arena carbonatada. Como característica destacada se tiene que la Formación Vedado ocupa no solo el basamento, sino también la superficie de la parte Norte de esta subregión, depositándose las turbas directamente sobre esas calizas. En la medida en que se avanza hacia el Este, estas rocas van ocupando la mayor área hasta que llegan a predominar en la superficie, circunscribiéndose la Formación Jaimanitas solo al borde costero actual.

En la subregión Oriental, que estructuralmente corresponde con el bloque más levantado se han activado sistemas de fallas perpendiculares a la dirección de la falla Cochinos y se pueden seguir, a lo largo de más de 60 kilómetros una serie de lagos, casi todos con más de 10 metros de profundidad, destacándose El Copey (40 metros), Limón 5 (30 metros) y El Semillero (25 metros). Todos estos lagos siguen los patrones morfotectónicos existentes en la zona.

En la parte Sur de esta subregión se distribuye la Formación Jaimanitas, con una facies coralina en el borde costero, y otra facies representada por calcarenitas margosas fosilíferas tierra adentro. Las turbas en este caso sobreyacen a esta última facies, aunque ocasionalmente lo pueden hacer sobre las calizas coralinas cuando estas penetran hasta 1 kilómetro tierra adentro.

Es evidente que las grandes transgresiones glacioeustáticas pleistocénicas interactuando en una región baja y plana, que prácticamente nunca rebasó los 5 metros de altura, lograron penetrar varios kilómetros en estas zonas bajas.

En ocasiones la penetración del mar fue tan lenta e ininterrumpida, que permitió el acomodo de la fauna en su habitat predilecto. Por esa razón los corales predominan en el borde costero, donde las aguas fueron más limpias.

En los últimos años, se ha logrado establecer la existencia de la Formación La Cabaña, muy localmente en las inmediaciones de Playa Girón, representada por biocalciruditas finas de matriz calcarenítica margosa, por lo general muy cementadas, formadas principalmente por nódulos de algas y fragmentos de moluscos y corales.



Fig. 5.- Depósitos que parecen corresponder a la Fm. Cabañas en la Ciénaga de Zapata.

Al mismo tiempo, se observaron pequeños casquetes superficiales de calcarenitas que pudieran correlacionarse con la Formación Cocodrilo, aunque aun faltan investigaciones que precisen esa suposición.



Fig. 6.- Depósitos que pudieran corresponder a la Fm. Cocodrilo en la Ciénaga de Zapata.

Como característica distintiva de este territorio se tiene la ausencia de depósitos terrígenos de las formaciones Guane y Sigüanea, muy comunes en los otros dos humedales. Las otras secuencias terrígenas, las formaciones Villarroja y Guevara, solo se distribuyen en el Norte de la Ciénaga de

Zapata, sobreyaciendo a la Formación Güines y ocasionalmente a la Formación Colón, en la llanura cársica meridional Habana-Matanzas.

Sin embargo, aquí se establece una relación muy estrecha entre la ciénaga y las calizas cavernosas, agrietadas, masivas, con variabilidades faciales, que integran la Formación Güines del Mioceno Medio-Superior, que afloran en la llanura cársica meridional Habana-Matanzas, es decir, en toda la zona ubicada inmediatamente al Norte de la Ciénaga de Zapata y que incluye las ciudades y poblados de Aguada de Pasajeros, Jagüey Grande, Pedro Betancourt, Torriente, etc. Según perforaciones realizadas en la subregión Occidental las calizas de la Formación Güines se encuentran a 300 m de profundidad, mientras que en la subregión Oriental aparecen a profundidades de 196 metros y aun menos.

Esto demuestra, en parte, que la actividad tectónica asociada al sistema de fallas Cochino, ha sido activa a lo largo de todo el Cenozoico. No se puede olvidar que en 1982 se produjo un fuerte sismo en la zona de Torriente, evidentemente asociado con este sistema.

Las turbas de este humedal, por tratarse del mayor de Cuba y del que presenta mejores perspectivas económicas, han sido bien estudiadas en diferentes períodos de tiempo. Se conoce que su máximo espesor alcanza los 8 metros y que la edad más antigua determinada por el método de Carbono 14 fue de 10 700 años, lo que las hace indudablemente holocénicas.

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA

Por lo que se conoce de los datos de la literatura con respecto a las ciénagas de Remates y de Lanier, el drenaje superficial se encuentra en la fase inicial de desarrollo o es inexistente. En algunos lugares se desarrollan simples sistemas de valles ciegos que penetran en las crestas de arrecifes o de barras transversales con cuevas que las atraviesan. Tales valles son cortos pero a menudo bastante profundos. Las típicas cuevas, desarrolladas a lo largo de los estratos, están ramificadas, son espaciosas pero cortas y a veces desplomadas. Los valles solo se inundan en la estación de las lluvias pero en las cuevas más profundas el agua permanece todo el año, algunas veces incluso sobre el nivel del agua subterránea.

A causa de un cambio de buzamiento, el drenaje superficial pretransgresional, no experimentó, en general, ningún rejuvenecimiento. Solo en la Isla de la Juventud los ríos de las porciones no carbonatadas del Norte, desembocan en antiguos, largos, amplios y someros valles ciegos que están cubiertos de pantanos y lagos o inundados por el mar. Dentro de las llanuras costeras levantadas recientemente ocurren solo algunos manantiales cársicos submarinos. Sin embargo, potentes ríos subterráneos desembocan a lo largo de la costa dentro del mar.

El nivel de agua subterránea es continuo, encontrándose cerca de la superficie. Sin embargo, presenta fluctuaciones considerables que dependen de la distribución anual de las precipitaciones. El cuerpo de agua subterránea consiste en una capa superior no muy gruesa de agua dulce y de una capa inferior de agua salada (marina). Ambas capas llenan los poros, las cavernas y oquedades de toda la secuencia de estratos. El agua salada constituye una superficie casi horizontal que aparece por debajo del nivel medio del mar. Las relaciones hidráulicas entre esta agua y el mar son tan estrechas que el nivel del agua subterránea fluctúa de acuerdo con las oscilaciones del nivel del mar entre las mareas (Núñez, 1968).

En la Ciénaga de Zapata la situación es diferente; allí las estructuras carbonatadas del Neógeno se continúan en la profundidad: En el subsuelo del Bloque Occidental de Zapata se conoce la existencia de la Formación El Maíz y por debajo de ella, la Formación Güines. En el Bloque Oriental

directamente debajo de la Formación Vedado infrayace la Formación Güines. Todo ello ha dado lugar al mayor sistema de drenaje cársico del país: la cuenca de Zapata.

Las características en la circulación de las aguas en esta cuenca, se deben no solo a las simples condiciones de yacencia y circulación de este tipo de acuífero cársico abierto al mar, sino también a la presencia en la parte meridional de la misma, de una depresión estructural rellena por depósitos carbonatados plioceno-pleistocénicos y sedimentos marinos más jóvenes, que son sobreyacidos por los pantanos.

Existe un intenso desarrollo de la carsificación de las secuencias carbonatadas del Neógeno-Cuaternario que integran esta cuenca, incluida la llanura cársica meridional Habana-Matanzas, desarrollándose en superficie las formaciones Güines, Vedado y Jaimanitas y muy localmente la Formación La Cabaña.

Según el Estudio Geográfico integral de la Ciénaga de Zapata (Rodríguez Y. et al, 1993), desde el punto de vista hidrodinámico, la cuenca constituye un holocarso, con un espesor estimado de la carsificación de 150-200 metros (Skwaletski N. y M. Iturralde, 1971), en la que coexisten varios niveles acuíferos y ocurren varios niveles de drenaje superpuestos, definidos por diferencias litológicas, texturales, comportamiento hidrodinámico y por la amplitud y frecuencia de los circuitos de descarga, los cuales en ocasiones están interconectados por verdaderas “ventanas hidrogeológicas”. Por estas razones se impone, no hablar de un acuífero, sino de un complejo de acuíferos.

La mayor parte de la descarga de este sistema se produce en la zona de la Ciénaga de Zapata y de ésta al mar, siguiendo dos direcciones que recogen la mayor parte del escurrimiento superficial y subterráneo que se observa en la ciénaga: la Bahía de Cochinos y la Ensenada de la Broa. El resto lo hace en forma de escurrimiento subterráneo directo al mar, lo que se evidencia por la presencia de múltiples manantiales submarinos existentes a lo largo de la línea de la costa.

En el área de la Ciénaga de Zapata se conoce la existencia generalizada de la intrusión marina a distintas profundidades. Ello obedece a que en esa área, casi todo el horizonte acuífero se encuentra bajo el nivel del mar, sin barrera geológica, como ha sido establecido por investigaciones precedentes. A ese factor se unen las características litológicas y estructurales de las rocas que se señalaron antes.

Sobre la base del Estudio Geográfico antes señalado, quedó establecido que, en general, los niveles de aguas subterráneas en la Ciénaga de Zapata fluctúan desde la superficie del terreno en el periodo húmedo, hasta niveles variables, según el territorio, al final del periodo seco:

- Hasta 1 metro en el límite Norte de la ciénaga, en el contacto con la tierra firme.
- De 1 a 1,2 metros en el entorno del poblado de Santo Tomas.
- De 2 a 2,5 metros en las zonas de Buenaventura - Playa Larga – Palpite - Molina.
- De 3 a 4 metros en las zonas de Playa Girón, Punta Perdíz - Cayo Ramona.

La acción de los procesos cársicos y de formación de pantanos, unido a los procesos antrópicos de regulación, drenaje y canalización, han originado que la red de drenaje superficial de la cuenca de Zapata esté muy desmembrada.

DISCUSION

El extremo occidental de la provincia de Pinar del Río, la parte meridional de la Isla de la Juventud y la Península de Zapata, en los que se desarrollan los humedales antes descritos, a pesar de encontrarse espacialmente distantes, presentan características geológicas similares, estando constituidos en la superficie por depósitos litológicamente iguales pero con edades diferentes. Resulta evidente que los tres territorios han experimentado una evolución geotectónica 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 provocando el levantamiento general de la zona y la existencia en las tierras emergidas de un paisaje muy especial.

Como resultado del trabajo se definió que en los tres territorios aparece en el plano una secuencia similar en la distribución de los depósitos. En los humedales de Remates y Lanier esta distribución es de Norte a Sur de la siguiente forma: 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 cársicas con predominio del material carbonatado al sur. En el humedal Zapata la franja de pie de monte está ubicada al este del territorio en las proximidades del Macizo Metamórfico de Guamuhaya, aunque las secuencias terrígenas cuaternarias más antiguas también aparecen al Norte, en la parte central se combinan llanuras y ciénagas alargadas de E a W y al sur se encuentra la llanura cársica que conforma la Península de Zapata.

De lo anterior se infiere que el aporte terrígeno proviene mayoritariamente de los macizos metamórficos más antiguos, estando las formaciones terrígenas más cerca de los mismos y las carbonatadas alejadas hacia el sur y/o el oeste.

Se aprecia que en los tres casos las superficies cenagosas disminuyen en las partes orientales de las ciénagas, pero que las mismas continúan creciendo hacia el oeste provocando la formación de nuevas tierras, como se puede observar nítidamente en la Bahía de Gadiana, en la Ensenada de la Sigüanea y en la Ensenada de la Broa.

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 por el desplazamiento de la línea de costa hacia el mar, debido a la función que tienen los manglares de filtro o trampa del aporte de material sólido tanto desde el mar hacia la tierra como de la tierra hacia el mar.

La similitud en la estructura y evolución tectónica de las tres zonas evidencian una tendencia geológica específica continuada en el tiempo, que las diferencia sustancialmente del resto del territorio de Cuba.

CONCLUSIONES:

1. Se comprobó la existencia de movimientos tectónicos de carácter regional que pudieron haber comenzado en el Eoceno Superior y probablemente continúen todavía, que han afectado paulatinamente esta zona provocando el levantamiento general de la misma, de oeste a este, en el tiempo.

2. Se confirmó la existencia de una estructura geológica similar en los tres territorios, como se explica en el texto.
3. El crecimiento actual de los humedales ocurre hacia el oeste como resultado de la conjunción de procesos tectónicos, biogénicos y la acción de las corrientes marinas.

RECOMENDACIONES:

1. Debido a la fragilidad de los ecosistemas que conforman los humedales se deben establecer medidas de conservación de los mismos que garanticen la preservación de sus potencialidades hídricas, por constituir importantes reservorios de agua potable que pudieran ser explotados en caso de sequías prolongadas.

BIBLIOGRAFÍA:

- Kartashov I.P., A.G. Cherniajovski y L.L. Peñalver, 1981. "El Cuaternario en Cuba. Editorial Nauka, Vol. 356, Moscú, URSS, 145 p.
- Núñez A., 1968. Carsos de Cuba. Serie Espeleológica y Carsológica, No. 2. Academia de Ciencias de Cuba. La Habana, Cuba, 47 p.
- Pérez, C.M., L.L. Peñalver, M. Cabrera, R. Denis, 2003. "Algunas consideraciones acerca de la evolución tectónica del extremo occidental de Pinar del Río, Cuba". Memorias del V Congreso Internacional de Geología y Minería. CD GEOMIN-2003. ISBN 959-7117-11-8. Ciudad de la Habana.
- Pérez, C.M., L.L. Peñalver, M. Cabrera, R. Denis, 2004. "Estudio tectónico comparativo del extremo occidental de Pinar del Río y la parte meridional de la Isla de la Juventud, Cuba". Memorias de Geoinfo-2004. Ciudad de la Habana, Cuba.
- Rodríguez, J.L., L. Fernández, R. Cruz, 1993. "Estudio geográfico integral de la Ciénaga de Zapata". ACC-ICGC. La Habana, Cuba.
- Skwaletski, E.N. y M. Iturralde, 1993. "Investigaciones ingeniero-geológicas con fines hidroeconómicos en Cuba". GHN-DAP. La Habana, Cuba.

TABLA COMPARATIVA DE LAS FORMACIONES GEOLOGICAS

FORMACION GEOLOGICA	LITOLOGIA Y EDAD	EXTREMO OCCIDENTAL DE PINAR DEL RIO	PARTE MERIDIONAL ISLA DE LA JUVENTUD	PENINSULA DE ZAPATA
Fm. COCODRILO	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).	Se observan pequeños casquetes al norte de Playa Girón que pudieran ser los equivalentes de esta Fm.
Fm. LA CABAÑA	Biocalcarenitas finas de matriz calcarenítica margosa, con fragmentos de moluscos y corales. Pleistoceno Superior tardío.	No aparece.	No aparece	Solo se ha encontrado en una pequeña área próxima a Playa Girón, sobreyaciendo a la Fm. Jaimanitas.
Fm. SIGUANE	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.	No aparece.
Fm. JAIMANITAS	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.	Aflora en gran parte de la Ciénaga Occidental y parcialmente en la Oriental, siendo siempre sobreyacida por turbas y sólo cerca de Playa Girón por la Fm. Cabañas.
Fm. VILLAROJA	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.	Presenta un gran desarrollo en la llanura Habana-Matanzas, al norte de la Península de Zapata.
Fm. GUEVARA	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.	Presenta un gran desarrollo en la superficie de la llanura Habana-Matanzas al norte de la Península de Zapata.

FORMACION GEOLOGICA	LITOLOGIA Y EDAD	EXTREMO OCCIDENTAL DE PINAR DEL RIO	PARTE MERIDIONAL DE LA ISLA DE LA JUVENTUD	PENINSULA DE ZAPATA
Fm. GUANE	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.	No se observan sus depósitos sobre la llanura de basamento neogénico ubicada al norte de la ciénaga.
Fm. VEDADO	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.	Yace en el basamento de toda la región y en parte aflora en la Ciénaga Oriental de Zapata.

CONSIDERACIONES BIOESTRATIGRAFICAS DE LA FORMACION VIA BLANCA BASADAS EN FORAMINIFEROS BENTONICOS PEQUEÑOS: SU RELACION CON OTROS ESQUEMAS BIOZONALES

Lourdes María Pérez Estrada ⁽¹⁾, **Silvia Blanco Bustamante** ⁽¹⁾, **Aliena Flores Nieves** ⁽¹⁾, **Rolando García Sánchez** ⁽¹⁾, **José Hernández León** ⁽¹⁾.

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo. Washington # 169, esq. Churrucá, Cerro, Ciudad de la Habana Cuba,
E-mail: perezl@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

Como resultado de la exploración petrolera en la franja de crudos pesados de la costa norte de Cuba y de la necesidad de dar respuesta al Proyecto 2801 para contribuir al esclarecimiento de la relación existente entre los sedimentos sinorogénicos de la paleocuenca de antepaís fue necesario el estudio de la Formación Vía Blanca en los pozos y en afloramientos.

Como es conocido dicha formación ha sido estudiada desde el punto de vista bioestratigráfico por diversos autores basándose principalmente en el complejo faunal reportado de foraminíferos planctónicos macro foraminíferos, Estudios recientes (Díaz-Otero *et al.* 2003), han determinado que la edad de la formación se extiende hasta el Maastrichtiano superior. Conjuntamente con el complejo faunal anteriormente expuesto se asocia un complejo de fauna de Foraminíferos Bentónicos Pequeños (F.B.P) la cual también pertenece al maastrichtiano superior.

El presente trabajo tiene como objetivo describir la asociación de F.B.P. existente en la parte alta de la formación Vía Blanca (Flysch Los Mangos) y resaltar la importancia que tienen algunas de estas especies de Foraminíferos Bentónicos Pequeños no solo como bioeventos ambientales sino también como biomarcadores estratigráficos como son los taxones ***Bolivinooides draco*** (Marsson), ***Bermudezita borroi*** (Seiglie) y ***Globorotalites michelinianus*** (d Orbigny). Fueron seleccionados los pozos ICRM, Vía Blanca, Campestre y Yumuri. Además se tomaron puntos de afloramientos como referencia de la Formación en superficie. Otro objetivo del trabajo es reconocer el rango estratigráfico de la especie de ***Bolivinooides draco*** (Marsson) coincide con la biozona de ***Abathomphalus mayaroensis*** del Maastrichtiano superior en Cuba.

ABSTRACT

As a result of the oil exploration in the Northern Cuban Belt of Heavy Oils and the necessity of explaining the relationships among synorogenic deposits of the foreland basin at the 2801 project framework it was necessary the study of Vía Blanca Formation deposits in oil wells as in outcrops.

This formation has been studied from the biostratigraphic point of view by diverse authors and are mainly based on planktonic Foraminifera fossil assemblage as well of larger foraminifera. Recent studies have determined that the age of this formation extends until the Upper Maastrichtian (Díaz-Otero, C. *et al.* 2003).

Together with the previously exposed complex faunal it is associated a small benthic foraminifers (FBP) assemblage able to determine that it belongs to the Upper Maastrichtian.

The present work has as objective to describe the association of F.B.P. in the upper part of Vía Blanca Formation (The Mangos Flysch) and to stand out the importance that have some of these species of small benthic foraminifers not only as environment bioevents but also as stratigraphic biomarkers as they are ***Bolivinooides draco*** (Marsson), ***Bermudezita borroi*** (Seiglie) and ***Globorotalites michelinianus*** (d Orbigny). The selected wells for this study are from ICRM, Vía Blanca, Campestre and Yumuri oil fields. Also were taken samples from outcrops like surface references. Another objective was in a to recognize the stratigraphic range chart of ***Bolivinooides draco*** (Marsson) is coincided with the ***Abathomphalus mayaroensis*** biozone of the Upper Maastrichtian in Cuba.

INTRODUCCIÓN

Los depósitos del Cretácico Superior de edad Campaniano-Maastrichtiano en general tienen una amplia distribución y están representados por depósitos terrígenos, terrígenos-carbonatados y carbonatados; los cuales se corresponden con diferentes formaciones según su origen deposicional, su litología y complejo faunal.

Dentro de los depósitos de tipo terrígeno-carbonatado se reconoce a la Formación Vía Blanca cuya edad se extiende al Cretácico Superior maestrichtiano (Díaz-Otero *et al.* 2003). En el presente trabajo se estudia la asociación de foraminíferos bentónicos pequeños relacionada con la parte mas alta de esta Formación (Flysch Los Mangos) en áreas de la Habana tomando como base los pozos ICRM, Vía Blanca Campestre y Yumuri (Fig1) y 7 puntos de afloramientos de la formación al sur del área de estudio con el objetivo de resaltar la importancia de especies de foraminíferos bentónicos pequeños que además de constituir biomarcadores ambientales también son biomarcadores estratigráficos ***Bolivinoides draco*** (Marsson), ***Bermudezita borroi*** (Seiglie) y ***Globorotalites michelinianus*** (d'Orbigny). Otro objetivo del trabajo es lograr de forma tentativa reconocer la especie de ***Bolivinoides draco*** (Marsson) como un equivalente de la biozona de ***Abathomphalus mayaroensis*** del maestrichtiano superior en Cuba y dar la relación de otros especímenes que se hallan asociados a esta edad.



Fig 1: Mapa de ubicación del área de estudio

MATERIALES Y MÉTODOS.

Para la realización de este trabajo se utilizaron las muestras de canal (drill cuttings) y de núcleo de los pozos ICRM 7,8,49,101,103,110,121,136, así como los pozos de Vía Blanca 1(Núcleo 1), Vía Blanca 3(Muestras de canal), Vía Blanca 6(Muestras de canal), Vía Blanca Vía Blanca Vía Blanca 9(Muestras de canal) Vía Blanca 17(Núcleo 1) Vía Blanca Vía Blanca Vía Blanca 19(Núcleo 3) Vía Blanca 25(Muestras de canal) Vía Blanca 26(Muestras de canal) Vía Blanca 30(Muestras de canal) Vía Blanca 34(muestras de canal) Vía Blanca 100(Muestras de canal), pozos de Yumuri 5(Muestras de canal), Yumuri 20(Muestras de canal) y Campestre 1(Núcleos 1al 14) además de utilizar las

muestras de lavado de distintos afloramientos(Tabla.I) El método empleado fue el lavado de muestras por métodos tradicionales con un peso aproximado de 200 gramos.

Tabla I: Puntos de afloramientos utilizados en el área de estudio

COORDENADAS		AFLORAMIENTOS
X	Y	
385 810	360 460	AFLORAMIENTO # 1
390 160	362 100	AFLORAMIENTO # 2
393 150	362 110	AFLORAMIENTO # 3
366 120	362 220	AFLORAMIENTO # 4
366 370	362 775	AFLORAMIENTO # 5
VIA MONUMENTAL		AFLORAMIENTO # 6
376 450	359 851	CANtera LA VICTORIA

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

Bioestratigrafía.

La fauna de Foraminíferos Bentónicos Pequeños del tope de la formación Vía Blanca de forma general esta representada por, *Vidalina hispanica* Schlumberger, *Cibicidoides dayi* (White), *Stensioeina excolata* (Cushman), *Reussella californica* Cushman y Goudkoff, *Coryphostoma incrassata* (Reuss) (Lamina 1 Fig.), *Praebullimina caeseyae* (Hofker), *Allomorphina* sp, *Neoflabellina* sp, *Gaudryina* sp. así como *Bermudezita borroi* (Seiglie) (Lamina 1 Fig.) *Globorotalites michelinianus* (dOrbigny), y *Bolivinoidea draco* Marsson.(Lamina1 fig 1) estos últimos marcadores del maestrichtiano superior .Asociada a esta fauna encontramos foraminíferos planctónicos de edad maestrichtiano superior dada por la presencia de *Abathomphalus mayaroensis* (Lamina 1 fig.) y *Rosita contusa*, conjuntamente con especímenes tales como *Globotruncanella stuarti*, *Globotruncana arca*, *G. linneiana*, *Ventilabrella meyerhoffi* y algunos Heterohelícidos, así como *Omphalocyclus macroporus* Lamina1 fig) , *Sulcoperculina dickersoni*, *Vaughanina cubensis* , *Orbitoides* sp, *Asterorbis* sp.(Tabla II y III).Litológicamente estas asociaciones de fauna planctónica y bentonita se hallan en muestras de areniscas polimícticas ,lutitas arenosas, calcáreas y calcilutitas.

Consideraciones biozonales.

Los Foraminíferos Bentónicos Pequeños han sido motivo de estudio desde los inicios de la exploración petrolera sin embargo se ha pensado que su estudio e importancia radica principalmente como marcadores ambientales debido a su posición fija en el fondo marino y a su gran sensibilidad ante los cambios climáticos y/o ambientales.

A través de los años los Foraminíferos Bentónicos Pequeños han sido registrados para diferentes edades estando asociados a otros grupos como son los Foraminíferos planctónicos y los Macroforaminíferos lo que ha facilitado el reconocimiento de los mismos como marcadores de bioeventos en áreas del Caribe y en el mundo; ejemplo de ello son los taxones de ***Globorotalites michelinianus*** (dOrbigny), ***Bermudezita borroi*** (Seiglie) y ***Bolivinoidea draco*** (Marsson) los cuales están asociados a fauna planctónicas del Cretácico superior maestrichtiano.

El genero ***Bolivinooides*** Marsson fue estudiado para el Cretácico Superior-Paleoceno por diversos autores, Cushman lo reporto en varias partes de Europa, Norteamérica ,América del Sur, Medio Oriente y Australia. Hiltermann y Koch (1950 y 1955) y Barr (1966a) compararon los rangos de las especies de ***Bolivinooides*** en Alemania y en la Isla Británica con zonaciones establecidas de Macroforaminíferos del este de Europa. Becmann y Koch (1964) y van Hinte(1967) lo compararon con Foraminíferos planctónicos. Por otro lado van Morkoven ,W.A.Berggren y Anne S. Edwards (1986) citan la especie de ***Bolivinooides draco*** Marsson asociada a Foraminíferos planctónicos en el Golfo de México. Mas reciente son los trabajos realizados para el Limite K/T por Culver J. Stephen (2003) y Alegret L.,Molina E., Thomas E.(2003).

El reporte de fauna bentonita hallado tanto en las muestras de afloramiento como en las de pozos en este estudio es el siguiente:

- *Bolivinooides draco*
- *Bermudezita borroi*
- *Vidalina hispanica*
- *Marsonella oxycona*
- *Coryphostoma incrassata*
- *Bucherina sandidgeri*
- *Globulina lacrima*
- *Praebulimina spinifera*
- *Globulina lacrima*
- *Praebulimina spinifera*
- *Praebulimina spinata*
- *P. trylorensis*
- *P. carseyae*
- *Bathysiphon nodosariaformis*
- *Ammodiscoides turbinatus*
- *Bolivinooides. delicatus*
- *Globorotalites michelianus*
- *Bolivina. merassatum (=Grammotomun)*
- *B. cretosa*
- *Stensioeina excolata*
- *Stensioeina pommerana*
- *Cibicides stephensoni*
- *Cibicidoides dayi*
- *Gaudryina pyramidata*
- *Allomorphina minuta*
- *Allomorphina trigona*
- *Aragonia ouezzanensis*
- *Gyroidinoides nitidus*
- *Gavelinella montirelensis*
- *G. menneri*
- *Epistomina caracola*
- *Pseudouvigerina plumerae*
- *Tritaxia trilatera*
- *Quadrимorphina allomorphinoides*
- *Gyroidinoides girardanus*

- *Reussella* sp
- *Bolivinooides* sp
- *Nonionella* sp
- *Ramulina* sp
- *Quadromorphina* sp
- *Reussella* sp
- *Bathysiphon* sp
- *Ammodiscus* sp
- *Gyroidina* sp
- *Allomorphina* sp
- *Bulimina* sp
- *Lenticulina* sp
- *Lagena* sp
- *Miliolidae*

Al observar los reportes dados en otras áreas del mundo en los trabajos realizados en el límite K/T (Tabla IV) vemos por ejemplo que en el área del Sureste de España este taxón (***Bolivinooides draco***) no sobrepasa el Límite K/T. En el Golfo de México se considera redepositado cuando esta asociado a fauna del Terciario (Morkoven van, et al. 1986) y se ubica en la zona más alta del mastrichtiano (zona de ***Abathomphalus mayaroensis***). En Trinidad va desde la zona tope de ***Globotruncana lapparenti tricarinata*** a la zona de ***Abathomphalus mayaroensis***.

Tabla IV : Distribución estratigráfica de algunos taxones de F.B.P relacionados al límite K/T en el mundo.

Edad	Maastrichtiano	Paleoceno inferior		
Zona	<i>Abathomphalus mayaroensis</i>	P0	P1a	P1b
Especies				
<i>Bolivinooides draco</i>	----- ----- ----- ----- -----			
<i>Bolivinooides delicatulus</i>	-----		-----	
<i>Stensioeina excolata</i>	-----			
<i>Globulina lacrima</i>	----- -----			
<i>Stensioeina pomerana</i>	----- -----			
<i>Clavukinoides trilatera</i>	----- -----			
<i>Praebulimina carseyae</i>	----- ----- -----			

<i>Coryphostoma incrassata</i>	-----	-----	-----
<i>Marsonella oxycona</i>	-----	-----	-----
<i>Gaudryina pyramidata</i>	-----	-----	-----
<i>Gyroidinoides nitidus</i>	-----	-----	-----
<i>Gyroidinoides girardanus</i>	-----	-----	-----
<i>Quadrymorphina allomorphinoides</i>	-----	-----	-----

Leyenda: ----- Israel ----- México
----- Agust España ----- Alabama
----- Japon ----- Stevns klint
----- Texas ----- Trinidad

En este estudio el espécimen ***Bolivinooides draco*** Marsson se halla asociado a especies bentónicas que marcan la edad Maastrichtiano superior así como especies que sobrepasan el límite K/T en el mundo (Tabla IV), sin embargo según la asociación planctónica hallada hasta el momento (Díaz-Otero *et al.* 2003), y reportes de esta especie de ***Bolivinooides draco*** (Marsson) en la Formación Eloisa en el área del yacimiento Pina (Pérez, L. *et al.*, 1995) y en otras áreas se halla asociado a la zona de ***Abathomphalus mayaroensis*** por lo que estimamos hasta el momento que puede que no sobrepase el límite K/T considerando la especie de ***Bolivinooides draco*** (Marsson) como un biomarcador del Maastrichtiano superior en Cuba.

Paleobatimetría.

Según la asociación faunal reportada tanto en superficie como en los pozos de ICRM, Vía Blanca y Yumuri podemos decir que la abundancia de Foraminíferos planctónicos nos sugiere un ambiente deposicional de plataforma externa a batial con influencia de corrientes turbidíticas por la presencia de macroforaminíferos. Sin embargo la existencia de especies como ***Bolivinooides draco*** (Marsson), ***Bermudezita borroi*** (Seiglie) y ***Globorotalites michelinianus*** (dOrbigny) son indicadores de que el ambiente deposicional se corresponde con la zona de Talud con profundidades entre los 200m-1000m (Batial superior). Se reportan especies indicadoras de bajo oxígeno como son ***Bolivinooides draco***, ***B. delicatulus***, ***Stensioeina excolata***, ***Globulina lacrima***, ***Clavulinoides trilatera***, ***Praebulimina carseyae***, ***Coryphostoma incrassata***, ***Marsonella oxycona***, ***Gaudryina pyramidata***, ***Gyroidinoides nitidus***, ***G. girardanus*** y ***Bucherina sandidgeri***. Por lo que podemos decir que existían condiciones anoxicas durante este periodo de tiempo

CONCLUSIONES

1. La edad de los Foraminíferos Bentónicos Pequeños determinados en este trabajo está en correspondencia con la edad dada para la Formación Vía Blanca (Cretácico Superior Maastrichtiano superior).
2. Se determinó que las especies de ***Bolivinooides draco*** (Marsson), ***Bermudezita borroi*** (Seiglie) y ***Globorotalites michelinianus*** (dOrbigny) constituyen biomarcadores del Cretácico Superior Maastrichtiano superior y están asociados a la biozona de ***Abathomphalus mayaroensis***.
3. Se determinó que las especies de ***Bolivinooides draco*** (Marsson), ***Bermudezita borroi*** (Seiglie) y ***Globorotalites michelinianus*** (dOrbigny) son biomarcadores de aguas profundas (zona batial superior), así como se da evidencia de condiciones de mínimo oxígeno.

RECOMENDACIONES.

Recomendamos hacer extensivo este trabajo a otras áreas donde se reporte el Cretácico Superior Maastrichtiano y realizar un estudio detallado de los especímenes de Foraminíferos Bentónicos Pequeños para lograr definir si estos especímenes llegan al Límite K/T además con la perspectiva de lograr una biozonación para este grupo en la edad Cretácico superior.

BIBLIOGRAFIA

- Albear, J.F. y M.A. Iturralde. 1985: Estratigrafía de las provincias de La Habana. En: Contribución a la geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana. Editorial Científico –Técnica, Ciudad de La Habana, p. 12-54.
- Alegret, Laia, Molina, E. y E. Thomas: *Benthic Foraminiferal turnover across the Cretaceous-Paleogene boundary at Agost (southeastern Spain): paleoenvironmental inferences. Marine micropaleontology* vol 48 p. 251-279.
- Barr, F.T. 1966: *The foraminiferal genus Bolivinoidea from the Upper Cretaceous of the British Isles. Paleontology* vol 9, parte 2, p. 220-243.
- Beckman, J.P. y W. Koch 1964: *Vergleiche von Bolivinoidea, Aragonia und Tappamina (Foraminifera) aus Trinidad (West-indien) und Mitteleuropa. Geol. Jahrb.* vol 83 p. 31-64.
- Bolli, H.M., Beckmann, J.P. y J.B. Saunders. 1994: *Benthic foraminiferal biostratigraphy of the south Caribbean region. Cambridge University, Cambridge*, p. 408.
- Brönnimann, P. y D. Rigassi. 1963: "Contribution to the Geology and Paleontology of the city of La Habana, Cuba and its surroundings". *Eclog. Geol. Helvetiae*, vol. 56, no. 1, p. 222-261.
- Culver, J. Stephen 2003: *Benthic foraminifera across The Cretaceous-Tertiary (K/T) boundary: a review. Marine micropaleontology* vol 47 p. 177-226.
- Díaz-Otero et al. 2003: *Nuevas consideraciones sobre la edad de la Formación Vía Blanca. Memorias Geomin.* 2003, La Habana, Marzo 24-28, ISBN 959-7117-11-8, p. 109
- Franco, G. y otros (1992): *Lexico Estratigráfico de Cuba Instituto de Geología y Paleontología. La Habana*
- Hiltebert, H. y W. Koch 1950: *Taxonomie und Vertikalverbreitung von Bolivinoidea Arten im Senon Nordwestdeutschlands. Geol. Jahrb* vol 64, p. 595-632.
- Hiltebert, H. y W. Koch 1955: *Biostratigraphie der Grenzschichten Maastricht/Campan in Lüneburg und in der Bohrung Part 2 Foraminiferen Geol. Jahrb.* vol 70, p. 354-384.
- Hiltebert, J.E. van 1967: *Bolivinoidea from the Campanian type section. Kgl. Ned. Akad. Wetensch. Amsterdam, Proc. Ser. B*, vol 70 p. 254-263
- Kusnetzov, V.I. et al. 1975: *Elaboración de los materiales de los pozos paramétricos, de búsqueda y de exploración, división y correlación de los cortes de pozos de la República de Cuba y su plataforma, Empresa de Geología, Informe de archivo, no publicado, La Habana*, p. 122, anexos 42.
- Morkovén van F.P.C.M., Berggren A.W. y Anne S. Edwards 1986: *Cenozoic cosmopolitan deep-water benthic foraminifera. Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine, Mem. 11. Edited por Henri J. Oertli*
- Pérez, L. y otros (1996): *Foraminíferos Bentónicos Pequeños del Campaniano-maastrichtiano de la Cuenca Central de Cuba por datos de subsuelo Memorias III Congreso, Stgo de Cuba, Marzo 24-28, 1-8, p. 109*

Tabla II: Distribución de los taxones en las muestras de afloramiento

Taxa																											
Localidades	Bolivinoidea draco	Minuoxia borroii	Vidalina hispanica	Marsonella oxycoona	Bucherina sandidgeri	Coryphostoma incrassata	Reussella sp	Abatomphalus mayaroensis	Racemiguembelina fruticosa	Globotruncana linneiana	Clobotruncana arca	Globotruncanella stuarti	C. confusa	Rosita fornicata	Globotruncanella habanensis	Heterohelicos	Pseudotextularia elegans	Rugoglobigerina sp	Planomalina meyerhoffi	Sulcopecten dickersoni	Sulcopectenula sp	Vaughanina cubensis	Asterorbis sp	Lepidorbicoides sp	Orbitoides sp	Radiolarios	Ostracodos
1							X			X	X	X	X	X				X									
2			X							X	X	X	X	X		X			X		X	X					
3		X								X	X	X	X	X		X		X			X	X					
4	X	X	X								X	X	X								X		X	X			X
5				X							X	X	X								X		X		X	X	
Via Monumental	X				X	X		X	X		X	X	X		X				X								

[illegible]

LAMINA 1



Fig 1: *Bolivinoidea draco* Marsson



Fig 2 *Globorotalites michelinianus* (dOrbigny)



Fig 3: *Bermudezita borroi* (Seiglie)

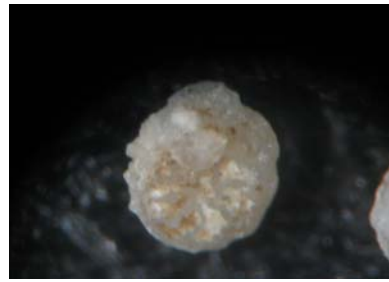


Fig 4 : *Stensioeina excolata*(Cusman)



Fig 5: *Abathomphalus mayaroensis*



Fig 6: *Omphalocyclus macroporus*:



CONSIDERACIONES BIOESTRATIGRÁFICAS DE LOS DEPOSITOS SILICICLASTICOS EN CUBA EN CUENCA PIGGY BACK DEL CAMPANIANO MAASTRICHTIANO

Santa Gil González⁽¹⁾, Consuelo Díaz Otero⁽²⁾ y Dora García Delgado⁽¹⁾

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo; Washington 169 esquina Churrucá. Cerro. CP 12000
Ciudad Habana. Cuba. Telf. 577341-42, e-mail: santa@ceinpet.cupet.cu, dora@ceinpet.cupet.cu

(2) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Carretera Central s/n. San Miguel del Padrón. CP 11 000. Ciudad Habana. Cuba. Telf. 55-7232.

RESUMEN

Los depósitos siliciclásticos típicos de cuenca piggy back de edad Campaniano-Maastrichtiano están en su mayoría caracterizados por sedimentos turbidíticos que cubren discordantemente a rocas del arco volcánico cretácico y del complejo ofiolítico en toda Cuba.

Estas secuencias en Cuba Occidental están representadas por las formaciones Los Negros y Vía Blanca; en la región central por las formaciones Monos, Cotorro, Durán y Río Yáquimo. Para la región oriental se describen las formaciones, La Picota, La Jíquima y Manacal.

Indistintamente estas unidades salvo, las formaciones Vía Blanca y La Jíquima han sido reportadas reiteradamente como del Campaniano Maastrichtiano Inferior sin reportes de especies índices que indiquen el tope del Maastrichtiano y cubiertas por biohermos o rocas clástico- carbonatadas del Maastrichtiano Superior, estas últimas posiblemente relacionadas con el evento catastrófico del Límite Cretácico-Terciario en el área del Caribe.

Basado en el estudio de numerosas localidades se hace un aporte al récord paleontológico de las unidades tanto en muestras de superficie y de pozos, fundamentalmente en asociaciones de foraminíferos planctónicos que contienen especies índices que caracterizan la parte alta del Maastrichtiano Superior como, ***Abathomphalus mayaroensis*, *Racemiguembelina fructicosa*, *Globotruncanita conica*, *Pseudoguembelina hariaensis* y *Plummerita hantkeninoides*.**

Se reportan también foraminíferos bentónicos grandes como ***Omphalocyclus macroporus* y *Asterorbis cubensis*** que contribuyen a reafirmar la extensión del intervalo geológico de las formaciones estudiadas.

Una novedad es la presencia de foraminíferos bentónicos pequeños en asociación con el resto de los foraminíferos índices del Maastrichtiano Superior.

ABSTRACT

The typical Campanian- Maastrichtian siliciclastic deposits of piggy back basin are in its majority characterized by turbiditic sediments covering discordantly to the cretaceous volcanic arch and to the ophiolite complex rocks in all Cuba.

These sequences in Western Cuba are represented by the los Negros and Vía Blanca formations; in the Central Region by los Monos, Cotorro, Durán and Río Yáquimo formations, while, La Picota, La Jíquima and Manacal formations are described for the Eastern Region.

Except for Vía Blanca and La Jíquima formations, these units have always been reported as Campanian-Lower Maastrichtian without reports of index species pointing the top of Maastrichtian. They are covered by Late Maastrichtian bioherms or clastic carbonate rocks, these last ones possibly are related with the catastrophic event of the K/T boundary in the Caribbean area.

Based from several studied localities and of a detailed analysis a contribution is made to the paleontologic record of the unit in surface or well samples, fundamentally in planktic forams associations that contain species that characterize the upper part of Late Maastrichtian, as ***Abathomphalus mayaroensis*, *Racemiguembelina fructicosa*, *Pseudoguembelina hariaensis* and *Plummerita hantkeninoides*.**

They are also reported large forams, as ***Omphalocyclus macroporus* and *Asterorbis cubensis*** that confirm the geologic interval extension of the studied formations.

The presence of small benthic forams in association with the rest of Late Maastrichtian index forams is a remarkable contribution.



INTRODUCCIÓN

Los depósitos siliciclásticos típicos de cuenca de edad Campaniano-Maastrichtiano están en su mayoría caracterizados por sedimentos turbidíticos que cubren discordantemente a rocas del arco volcánico cretácico y del complejo ofiolítico en toda Cuba.

Estas secuencias en Cuba Occidental están representadas por las formaciones Los Negros y Vía Blanca; en la región central por las formaciones Monos, Cotorro, Durán y Río Yáquimo. Para la región oriental se describen las formaciones, La Picota, La Jíquima y Manacal. Estas formaciones han sido estudiadas con mayor o menor detalle durante los diferentes levantamientos geológicos realizados hasta la fecha en Cuba, así como han sido objeto de estudio en áreas específicas de la estratigrafía, paleontología y sedimentología, lo que ha enriquecido al conocimiento geológico de las regiones investigadas

Los datos de microfauna provienen fundamentalmente de datos de superficie aunque se han consultado también los datos de subsuelo.

El intervalo geológico tratado en este trabajo permite asociar estas secuencias rocosas, a las biozonas de foraminíferos planctónicos del Maastrichtiano Superior (Zonas ***Abathomphalus mayaroensis*-*Plummerita hantkeninoides***) y reportar el conjunto fosilífero que las caracteriza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron paleontológicamente más de un centenar de muestras tomadas en depósitos de piggy back en diferentes localidades del país.

En Cuba occidental fueron visitadas y estudiadas las siguientes localidades: Cantera de Jesús María, al S de Cidra (x: 437 550, y: 344 600)., Cantera de la Formación Peñalver al E de la presa La Estrellita, donde aparece el contacto de la Formación Vía Blanca con la Formación Peñalver (x: 376 450, y: 359 851). En la cantera La Victoria Cantera al sur del poblado de la Sepultura (x: 331 550, y: 352 100).

En Cuba Central fueron muestreadas las localidades de Río Caunao Cercanías Pueblo el NO (x: 586 700, y: 273 550 4182-I), Quince y Medio (x: 600 425, y: 282 700 4183-II), Quince y Medio (x: 600 250, y: 282 375 4183-II), Esperanza (x: 600 850 y: 282 625, 4183-II), W de Loma Quintana (x: 610 525, y: 273 100 4282-IV), Rebarcadero (x: 613 300, y: 272 725 4282-IV)

En Cuba oriental las muestras fueron tomadas en las localidades que a continuación se relacionan: Naranjo(X=528,150 Y=257,975 4878-I), Río Almirante(X=566, 550 Y=254 550 4978-I), Alcalá(X=566 775 Y=254 450 4978-I), Algarrosa (X=567 675 Y=254 100 4978-I), Taita Roque(X=592 450 Y=259 800 5078-IV), Tacajó(X=592 500 Y=259 600 5078IV), Cerrito(X=595 250 Y=259 800 5078 IV), El Progreso(X=596 350 Y=260 450 5078IV).

Fueron estudiados no menos de 10 cortes de forma detallada teniendo en cuenta la posición estratigráfica de las muestras colectadas. Del total de muestras 65 fueron analizadas por el método de sección delgada y 38 por el método de lavado.



También fueron considerados los datos de subsuelo provenientes de algunos de los pozos de exploración perforados en el área y que cortan estos depósitos, como los Martín Mesa 1 y 2, Mariel 1 y Mariel norte-1X, Paulina 1 y las Mangas 1, entre otros.

El estudio micropaleontológico está basado, fundamentalmente en la sistemática ofrecida por Sliter (1989,1994), para el caso de las secciones delgadas observadas y por M. Caron (1985) para el caso de la determinación de muestras lavadas.

La biozonación bioestratigráfica utilizada fue tomada de I. Premoli Silva y W. Sliter (1995) y de I. Premoli Silva y D. Verga (2004). Para el tope del Maastrichtiano se acepta la establecida por Ion (1993) y asumida por Arz et al., 2000 en sus valiosas contribuciones al estudio del límite Cretácico-Terciario en el área del Caribe.

CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA

Formación Los Negros (S. Gil y R. González en: E. Linares et al., 1985).

Se extiende al S de la Sierra de los Organos, desde la localidad de La Majagua (al N del pueblo de San Juan y Martínez) hasta el Río Ajiconal, al E de la carretera Pinar del Río-Viñales, provincia de Pinar del Río. Su cuerpo principal es paralelo al borde S de las Alturas de Pizarras del Sur. Se desarrolla en forma de franja alargada y estrecha, que se interrumpe a trechos, a veces por causas tectónicas o por su completo acúñamiento estratigráfico.

En superficie se distingue principalmente por calizas biohémicas masivas o groseramente estratificadas. El componente biógeno principal son los grandes fragmentos hasta individuos completos de paquiodontos. Abundan mucho los restos de equinodermos, moluscos varios y algas. Las capas libres de macrofósiles se componen de intrasparitas, biolititas-bioesparitas, intraparruditas de moluscos y otras variedades. El color es gris claro, carmelita claro, raramente blanco crema. En algunos cortes aparecen lechos terrígenos de lutitas arenosas y grauvacas carbonatadas entre los bancos calcáreos, supeditados enteramente a la formación.

Al sur de la cordillera de Guaniguanico en la localidad El Guayabo se pudieron observar limolitas vulcanomícticas, finamente estratificadas. Su espesor oscila entre 20 y 40 m. En los cortes del subsuelo se observa un mayor predominio de rocas siliciclásticas como el corte descrito para la formación en el pozo Las Mangas 1 fundamentalmente limolítico, polimíctico y cuarcífero con intercalaciones de material samítico y pelítico y cubierto con rocas del Daniano. Estudio palinológicos realizados a muestras tomadas en profundidad para el intervalo del Cretácico Superior (A. Areces, 1987) arrojaron las especies: ***Dinogymnium evelaensis***, ***Liliacidites variegatus***, ***Biretisporites asper*** del Maastrichtiano Superior (Tabla III)

Para esta unidad se han reportado foraminíferos, tanto planctónicos como bentónicos con cierta escasez de los primeros y con predominio de los últimos, destacándose la presencia de macroforaminíferos de los géneros ***Vaughanina***, ***Orbitocyclina*** y ***Pseudorbitoides***. (Tabla I y II), para una edad Campaniano- Maastrichtiano Superior parte alta, dada esta última por la existencia de ***Orbitoides apiculat.a***

El reporte escaso de foraminíferos planctónicos en estos depósitos puede ser motivado por dos causas: no todas las especies fueron determinadas por el micropaleontólogo (Efecto Signor-Lipps en J. A. Arz et al., 2000) y la ausencia de material de estudio debido a la pobre exposición de las rocas siliciclásticas de granulometría fina a media de la unidad estando mejor expuesta las carbonatadas.



En estas rocas carbonatadas es notable la abundancia de restos de rudistas de las especies: ***Plagioapthyghus tschoppi***, ***Praebarretia sparcilirata***, ***Titanosarcolites giganteus***, ***Titanosarcolites macgillavryi***, ***Chiapasella radiolitiformis***, ***Hippurites muelleriedi***, ***Tampsia ruten***, ***Praebarretia peruvianaque***, entre otras, distribuidas estratigráficamente entre el Campaniano y el Maastrichtiano Superior (R. Rojas Consuegra, 2005).

Formación Vía Blanca (P. Brönnimann y D. Rigassi, 1963).

En general se trata de una secuencia flyschoides constituida por argilitas, limolitas y areniscas de composición grauvaquica, de color rojizo-verdoso y carmelitoso, con intercalaciones finas de margas blancas con un espesor entre los 500 y 800 m. Aparecen capas de conglomerados polimícticos en diferentes niveles con matriz arenosa y arcillo-arenosa, calizas detríticas, arcillas y tufitas. Contiene paquetes olistostrómicos difíciles de cartografiar. Esta unidad fue bien estudiada en las localidades: Cantera de Jesús María, al S de Cidra Cantera de la Formación Peñalver al E de la presa La Estrellita, donde aparece el contacto de la Formación Vía Blanca con la Formación Peñalver. En la cantera La Victoria, al sur del poblado de la Sepultura.

Dentro de la Formación Peñalver se observan grandes bloques de la Formación Vía Blanca compuestos por areniscas, limolitas y lutitas de color gris oscuro, datadas como Maastrichtiano superior y que sin duda pertenecen a la infrayacente Formación Vía Blanca.

En cuanto a su extensión estratigráfica C. Díaz-Otero et al., 2003 le asignan una edad de Campaniano Superior-Maastrichtiano Superior tope, a partir de la revisión de los listados faunales de Brönnimann y Rigassi (1963), el listado faunal del Léxico Estratigráfico de Cuba y las nuevas determinaciones realizadas a la luz de recientes trabajos relacionados con el límite K-T

La micropaleontología de esta formación nos habla de un escenario rico en foraminíferos, tanto planctónicos como bentónicos, donde se destaca la presencia de un gran número de especies de globotruncanidos, heterohelícidos y de macroforaminíferos orbitoidales. (Tabla I y II). La presencia de ***Plummerita hantkeninoides*** (C. Díaz et al. 2003) sitúa en el tope del Maastrichtiano a la parte alta de esta formación

Formación Cotorro (H. Wassall y P. Truitt en: P. Brönnimann y G. Pardo, 1954).

La formación se desarrolla en los núcleos de los sinclinales de menor orden del Sinclinal Seibabo y su afloramiento más oriental se ubica al norte de Loma Báez. D. García et al. 1999 realizaron un muestreo detallado de varios perfiles de las unidades Salvador, Felipe y Cotorro de I. Kantchev (1978) comprobando su equivalencia en edad y contenido litológico, por lo que se asume como única unidad de este intervalo estratigráfico a la Fm. Cotorro. El contenido litológico fundamental es la intercalación flyschoides de areniscas, limolitas, lutitas, calizas, margas y escasos conglomerados. Las areniscas y conglomerados son polimícticos con cemento calcáreo, sus fragmentos provienen de la destrucción del arco volcánico que constituye su basamento. Es típico también de la unidad la presencia de tobas desde gravelíticas, lapilíticas hasta tobas finas. El espesor oscila entre 600 y 700 m. La presencia de globotruncanidos tales como ***Gansserina gansseri***, ***Globotruncana aegyptiaca***, ***G. linneiana***, ***Globotruncanita calcarata***, ***G. elevata***, ***G. stuartiformis***, y macroforaminíferos como ***Pseudorbitoides israelskyi***, ***Sulcorbitoides pardoii***, permiten confirmar una edad Campaniano-Maastrichtiano para la unidad y su extensión hasta el Maastrichtiano Superior está dada por la presencia de ***Globotruncanita conica*** y ***Contusotruncana contusa***.

Formación Monos (P. Truitt en: P. Brönnimann y G. Pardo, 1954).



Aflora en pequeños parches en la parte sur de la cuenca Santo Domingo y es su formación basal. Comienza con conglomerados polimícticos de rocas volcánicas y calizas bien redondeados o semiredondeados. El cemento es abundante arenoso-calcáreo. Estos conglomerados transicionan a areniscas de igual composición y más arriba, ocurre una intercalación de margas, limolitas, areniscas y argilitas. Estas litologías se repiten rítmicamente en el corte de la formación. Las margas son de color gris verdoso, carmelita, rosado oscuro a violeta. Su espesor aproximado es de 300. La asociación faunal de foraminíferos planctónicos y bentónicos característicos del Campaniano al tope del Maastrichtiano Superior están representados por los siguientes taxones: ***Globotruncana arca*, *Globotruncanita* cf. *G. stuarti*, *Globotruncanella havanensis*, *Contusotruncana contusa*, *Gansserina gansseri*, *Rugoglobigerina rugosa*, *Racemiguembelina fructicosa*, *Pseudotextularia elegans*, *Pseudoguembelina excolata*, *Sulcoperculina* cf. *S. dickersoni*, *S. globosa*, *Vaughanina barkeri***. (Tablas I y II)

Formación Durán (M. Iturralde et al. en: E. Belmustakov et al., 1981).

Conglomerados vulcanomícticos, areniscas grauváquicas, vulcanomícticas, conglomeráticas, margas y calizas. Yace discordantemente sobre las formaciones Caobilla, Crucero Contramaestre, Piragua y los granitoides y las ultramafitas precampanianas. Está cubierta concordantemente por la Fm. Presa Jimaguayú (parte no diferenciada y su Mbro. Chorrillo), transicionando lateralmente a ambas unidades y al Mbro. Portillo (Fm. Río Yáquimo). Está cubierta discordantemente por la Fm. Florida. Es perfectamente comparable facial y temporalmente con el resto de las unidades de Cuba del mismo nivel estructural. En esta unidad también son reportadas las especies de foraminíferos planctónicos relacionadas en la unidad anterior. Un dato interesante es el reporte por vez primera para estos depósitos de ***Abathomphalus mayaroensis* y *Abathomphalus intermedius*** en una muestra determinada por L. Perez (2000) de la Localidad San Alberto Uno, provincia de Camaguey y acompañada por una asociación de foraminíferos bentónicos pequeños extensivos a la parte alta del Maastrichtiano Superior y representados por: ***Marginulina jarvisi*, *Bolivina incrassata*, *Praebulimina carseyae*, *Pseudouvierina plummerae***. No hay reporte de ***Plummerita hantkeninoides***

Formación Río Yáquimo (Ianev et al. en: E. Belmustakov et al., 1981).

Interestratificación de margas arenosas y limolitas arenosas, arcillosas y sacaroidales, areniscas calcáreas y polimícticas, a menudo vulcanomícticas, subordinadamente arcillas, argilitas y conglomerados. Yace discordantemente sobre las formaciones Caobilla y Crucero Contramaestre. Está cubierta discordantemente por las formaciones Florida, Paso Real, Presa Jimaguayú (parte indiferenciada y su Mbro. Chorrillo) y Vertientes. Se depositó en un ambiente de aguas profundas de carácter turbidítico. Reporte limitado de globotruncánidos y macroforaminíferos (Tabla I y II) donde se destaca la presencia de ***Globotruncanita cónica*** indicadora de una probable edad Maastrichtiano Superior tope para la parte alta de la formación.

Formación La Picota (G. E. Lewis y J. A. Straczek, 1955).

Conglomerados polimícticos con intercalaciones de areniscas polimícticas y conglobrechas mal seleccionadas que se intercalan con argilitas. Yace discordantemente sobre el Mbro. Perucho (Fm. Santo Domingo). Está cubierta discordantemente por las formaciones Charco Redondo, Mícará, Mucará, Puerto Boniato, Sabaneta y Yateras. Se depositó en la zona del talud a profundidades medias. Los clastos son en su mayor parte de origen continental y más subordinadamente marino y fluvio-marinos (facies deltaica). Es escasa la presencia de microfósiles en los conglomerados de la unidad que constituye la litología predominante. Se reportan macroforaminíferos representados por: ***Sulcoperculina globosa*, *Vaughanina cubensis*, *V. cubensis minor* y *V. cubensis globosa*** los



cuales permiten datar la unidad del Campaniano Superior-Maastrichtiano. Los reportes existentes no determinan la presencia de especies índices del Maastrichtiano Superior tope.

Formación La Jíquima (E. Nagy en: E. Nagy et al., 1976).

Es característica en ella la presencia de semiciclos donde las rocas transicionan gradualmente de granulometría gruesa a fina, representada por conglomerados polimícticos, areniscas, limolitas, lutitas margas y calizas arcillosas los cuales se repiten rítmicamente en el corte de la unidad aunque algunas de estas litologías puedan estar ausentes, a veces suelen verse de forma aislada los paquetes de conglomerados. La estratificación puede ser de muy gruesa a masiva a media y fina por lo que en esta unidad esta presente los flysch de tipo proximal, medial y distal. Un ejemplo de este último lo constituye el corte en el poblado El Progreso donde es descrita una secuencia terrígena bien estratificada compuesta por arenisca polimíctica de color pardo de hasta 15 cm de espesor, limolitas polimícticas parduzcas con espesor de hasta 5cm y calizas gris crema, espesor de hasta 10 cm. Todo el corte tiene un carácter flyschoides. También argilitas de color crema-parduzco, polimícticas, con espesores de hasta 3 cm.. El cambio de una granulometría a otra es gradual, no se observan las superficies de estratificación. Hay transición lateral entre los diferentes tipos de litologías (S. Gil et al., 2003).

Es notablemente abundante en esta unidad la presencia de foraminíferos planctónicos en géneros y ejemplares de edad Campaniano Superior-Maastrichtiano así como de algunos macroforaminíferos de igual edad (Tabla I y II). S. Gil et. al (2003) reportan la existencia en la parte mas alta del corte de ***Abathomphalus mayaroensis***, ***Racemiguembelina fructicosa***, ***Globotruncanita conica***, todas ellas representativas del Maastrichtiano Superior tope.

Formación Manacal (P. D. Lewis Jr., 1956).

Areniscas y limolitas polimícticas y tobáceas, argilitas, calizas, gravelitas, tobas de diferente granulometría y conglomerados. Las tobas son de composición andesito-basáltica. Se correlaciona con las formaciones Vía Blanca, Durán, Monos, Tinajita, etc. Yace discordantemente sobre la Formación Palma Mocha. Está cubierta discordantemente por el Gr. El Cobre (parte indiferenciada). Aunque no abundantes en especies se reportan foraminíferos planctónicos y bentónicos de la asociación faunal característica del Campaniano Superior- Maastrichtiano: ***Globotruncana linneiana***, ***Globotruncanita stuarti***, ***Contusotruncana fornicata***, ***Rugoglobigerina*** sp., ***Sulcoperculina dickersoni***, ***S. globosa***, ***Orbitoides*** spp., ***Pseudorbitoides rutteni***. Las especies encontradas sobre todo las de planctónicos indican que la edad de la unidad puede sobrepasar el límite del Maastrichtiano Inferior

MICROPALEONTOLOGÍA.

Como resultado del estudio micropaleontológico se relacionan los diferentes grupos taxonómicos representados en las diferentes formaciones estudiadas, donde el papel predominante le corresponde a los foraminíferos planctónicos y sobre los cuales, conjuntamente con los foraminíferos bentónicos, se basa la datación. (Tabla IV)

Dentro de los foraminíferos planctónicos abundan notablemente las especies índices del Maastrichtiano sobre todo del Maastrichtiano Superior edad que arrojan los cortes detallados de las formaciones La Jíquima, Vía Blanca y Cotorro. Dado el carácter turbidítico de estos sedimentos, conjuntamente con los taxones índices y fauna acompañante, aparecen numerosos redepósitos incluido del Campaniano Superior representados por la especie ***Globotruncanita calcarata*** y



Sulcorbitoides pardoi asociados a otros de edades más viejas dentro del propio Cretácico. Como los que se relacionan a continuación:

Heterohelix cf. H. reussi (Cushman) Turoniano-Santoniano.

Biticinella bregyiensis (Gandolfi) Albiano.

Whiteinella archaeocretacea Pessagno Cenomaniano-Turoniano

Hedbergella planispira (Tappan) Aptiano Superior-Coniaciano Inferior.

Ticinella bejaouaensis Moullade Aptiano Superior-Albiano Inferior.

Globigerinelloides ferrolensis (Moullade) Aptiano Superior-Albiano Inferior.

Rotalipora cushmani (Morrow) Cenomaniano Superior.

Globotruncanita calcarata (Cushman) Campaniano Superior

Investigadores anteriores también reportan la presencia de varias especies de radiolarios del Cretácico Superior en las formaciones Via Blanca y la Jíquima tales como:

Pseudoalophacus floresensis*, *P. velseitigis*, *Crucella esparetoensis*, *Crucella* sp., *Cryptamphorela sphaerica*, *Cenosphaera mammilata*, *Archaeopongopium andersoni*, *Amphipindax enesseei*, *Dyctiomitra multicostata*, *Patellula verteroensis

BIOESTRATIGRAFIA

Hasta el momento los estudios anteriores se limitaron a dar un listado fosilífero más o menos abundante, sin establecer una relación con las unidades litoestratigráficas correspondientes.

Del estudio realizado se pueden discriminar dos conjuntos faunales que marcan el Maastrichtiano Superior y el Campaniano-Maastrichtiano inferior, respectivamente.

Maastrichtiano Superior:

La ocurrencia frecuente de ***Abathomphalus mayaroensis*, *Racemiguembelina fructicosa*, *Contusotruncana contusa*, *Globotruncanita conica***, así como la presencia de ***Plummerita hantkeninoides*** y ***Pseudoguembelina hariaensis***, indica una extensión bioestratigráfica, de las unidades en cuestión, desde la zona ***Abathomphalus mayaroensis*** a la zona ***Plummerita hantkeninoides*** (Sliter, 1994). Todas estas especies son representativas del Maastrichtiano Superior y además aparecen frecuentemente asociadas a al siguiente conjunto fosilífero:

Abathomphalus mayaroensis*, *Contusotruncana contusa*, *C. fornicata*, *Globotruncanita conica*, *G. stuartiformis*, *G. falsostuarti*, *Globotruncana aegyptiaca*, *G. linneiana*, *Heterohelix globulosa*, *H. navarroensis*, *Pseudoguembelina excolata*, *Globotruncanella petaloidea*, *Globigerinelloides subcarinatus*, *Rugoglobigerina macrocephala*, *Rugoglobigerina scotti*, *Racemiguembelina fructicosa*, *Pseudotextularia elegans*, *Laeviheterohelix pulchra*, *Plummerita hantkeninoides*, *Pseudoguembelina hariaensis*, *Asterorbis cubensis*, *Asterorbis havanensis*, *Orbitoides apiculata*, *Orbitocyclina* sp. *Sulcoperculina dickersoni. (Tablas I y II)

En este intervalo geológico de las secuencias tratadas se incluye el resultado del estudio palinológico de la Formación Los Negros como parte de la asociación fosilífera de esta edad. (Tabla III)

Campaniano-Maastrichtiano inferior:

Para este intervalo el conjunto fosilífero está caracterizado por la presencia de: ***Contusotruncana fornicata*, *Gansserina gansseri*, *Globotruncana elevata*, *Globotruncana ventricosa*, *Globotruncana lapparenti*, *Globigerinelloides praeriehillensis*, *Globotruncana arca* y *Globotruncana bulloides***, que indica una extensión bioestratigráfica de las unidades en cuestión desde la zona ***Globotruncana elevata*** hasta la zona ***Contusotruncana contusa***.



Racemiguembelina fructicosa (Premoli Silva I. and W.V. Sliter, 1995., Premoli Silva I. and D. Verga, 2004.), que limita la edad superior al Maastrichtiano inferior y con una asociación fosilífera representada por:

***Archaeoglobigerina blowi*, *Contusotruncana fornicata*, *Globotruncana lapparenti*, *Globotruncana linneiana*, *Heterohelix globulosa*, *Globigerinelloides praerierhillensis*, *Globotruncana arca*, *Laeviheterohelix pulcra*, *Heterohelix striata*, *Globotruncana bulloides*, *Globigerinelloides subcarinatus*, *Globotruncanita stuartiformis*, *Globotruncanita calcarata*, *Pseudotextularia elegans*, *Globotruncana falsostuarti*, *Globotruncanita stuarti*, *Globotruncanella petaloidea*, *Pseudoguembelina excolata*, *Heterohelix navarroensis*, *Sulcorbitoides pardo* y *Sulcoperculina diazi*.**

El estudio bioestratigráfico se ve limitado en el caso de las formaciones Río Yáquimo, La Picota y Manacal por el efecto Signor-Lipps (J. A. Arz et al., 2000) y fundamentalmente a la génesis litológica de dichas unidades, donde el componente clástico es excesivamente predominante y la matriz de las rocas es poco carbonatada. Esto conlleva a la escasez de fósiles que imposibilita el alcance a los datos micropaleontológicos necesarios para realizar la bioestratigrafía deseada.

CONCLUSIONES

- Se corrobora la equivalencia facial y temporal de las formaciones investigadas con la Formación Vía Blanca de Cuba Occidental, mayormente estudiada, tanto litológicamente como por su contenido faunal.
- Fue enriquecido el reporte paleontológico de foraminíferos planctónicos y bentónicos en muestras de superficie del Maastrichtiano Superior correspondiente a las formaciones Los Negros, Monos, Cotorro, Durán, La Jíquima y Vía Blanca.
- Se diferencian dos conjuntos fosilíferos que permiten establecer la división bioestratigráfica dentro de las unidades tratadas y el establecimiento de la biozonación correspondiente: zona ***Abathomphalus mayaroensis*** y ***Plummerita hantkeninoides*** para el Maastrichtiano superior y zona ***Globotruncana elevata*** hasta la zona ***Contusotruncana contusa-Racemiguembelina fructicosa*** para el Campaniano-Maastrichtiano inferior.
- Se reporta por primera vez la presencia de ***Abathomphalus mayaroensis*** para la Formación Durán, así como la presencia de foraminíferos bentónicos pequeños que contribuyen a extender la edad de esta unidad al Maastrichtiano superior.
- Se reportan por primera vez datos de palinoflora en la Formación Los Negros que ratifican la edad Maastrichtiano superior para el tope de esta unidad litoestratigráfica.

BIBLIOGRAFÍA

- Arz, J.A., I. Arenillas, E. Molina, R. Sepúlveda, 2000. La estabilidad evolutiva de los foraminíferos planctónicos en el Maastrichtiano Superior y su extinción en el límite Cretácico/Terciario de Caravaca, España. *Revista Geológica de Chile*, 27(1): 27-47.
- Caron, M., 1985. Cretaceous planktic foraminifera, en: *Plankton Stratigraphy* (ed. H. M. Bolli, J. B. Saunders y K. Perch-Nielsen) Cambridge University Press, p.17-86.
- Díaz, C et al., 2003. *Léxico Estratigráfico de Cuba*. Instituto de Geología y Paleontología. Ministerio Ind. Básica.
- Gil González S., C. Díaz, R. Delgado, 2003. Caracterización Bioestratigráfica de la Formación La Jíquima. *Memorias Geomin 2003*, La Habana, ISBN 959-7117-11-8: 116-124.
- Nagy E., K. Brezsnysanszky, A. Brito, D. Coutin, F. Formell, P. Gyarmati, P. Jakus, G.Y. Radocz, 1976. Texto explicativo del mapa geológico de la provincia de Oriente a escala 1:250 000.
- Nagy E., Brito A., P. Jakus, P. Gyarmati, K. Brezsnysanszky, G.L. Franco, G.Y., Radocz, N. Pérez, F. Formell, Albear J. F., Torre, A. de la., 1983. Contribución a la geología de Cuba Oriental. Editorial Científico Técnica. 273 p.



- Pentelenyi L., E. García Leyva, 1988. Informe sobre los resultados del levantamiento geológico completo y búsqueda acompañante a escala 1:50 000 en el Polígono IV, CAME-Holguín.
- Premoli Silva I. and W.V. Sliter, 1995. Cretaceous planktonic foraminiferal biostratigraphy and evolutionary trends from the Bottaccione section, Gubio, Italy. *Paleontographia Italica*, 82:1-89.
- Premoli Silva I. and D. Verga, 2004. Practical Manual of Cretaceous Planktonic foraminifera. International School on Planktonic Foraminifera. 3^o Course: Cretaceous. Verga and Rettori eds. Universities of Perugia and Milan (Italy).
- Rojas Consuegra R., 2005. Estratigrafía, Tafonomía y Paleoecología de los Rudistas en el Territorio Cubano. *Memorias Geociencias*, 2005, La Habana, ISBN 959-7117-03-7.
- Sliter, W.V., 1989. Biostratigraphic Zonation for Cretaceous Planktonic Foraminifers examined in thin section. *Journal of Foraminiferal Research*, 19 (1): 1-19.
- Sliter, W.V., 1994. Cretaceous planktic foraminifers examined in thin section. U.S. Geological Survey, California, USA. (inédito).



Tabla I. Especies índices de foraminíferos planctónicos por formación estudiada.

Taxa	Formaciones								
	Occidente		Centro				Oriente		
	Los Negros	Vía Blanca	Cotorro	Monos	Duran	Río Yáquimo	La Jíquima	La Picota	Manacal
Foraminíferos Planctónicos		X							
<i>Plummerita hantkeninoides</i>		X							
<i>Abathomphalus mayaroensis</i>		X			X		X		
<i>Abathomphalus intermedius</i>					X				
<i>Racemiguembelina fructicosa</i>		X		X			X		
<i>Globotruncanella havanensis</i>		X							
<i>Globotruncella petaloidea</i>		cf.		X	X		X		
<i>Globotruncana lapparenti</i>		X					X		
<i>Globotruncana arca</i>		X		X	X	X	X		
<i>Globotruncana bulloides</i>		X					X		
<i>Globotruncana aegyptiaca</i>		X	X		X		X		
<i>Globotruncana linneiana</i>		X	X		X	X	X		X
<i>Globotruncana falsostuarti</i>	X						X		
<i>Globotruncana gagnebi</i>					X				
<i>Globotruncana ventricosa</i>			X						
<i>Globotruncanella stuarti</i>		X		cf.	X	X	X		X
<i>Globotruncanella stuartiformis</i>		X	X	X			X		
<i>Globotruncanella cónica</i>			X			X	X		
<i>Globotruncanella elevata</i>			X						
<i>Globotruncanella havanensis</i>					X				
<i>Contusotruncana fornicata</i>		X			X	X	X		X
<i>Contusotruncana contusa</i>		X	X	X	X		X		
<i>Archaeoglobigerina blowi</i>							X		
<i>Archaeoglobigerina cretacea</i>		X							
<i>Gansserina gansseri</i>		X	X	X					
<i>Globigerinelloides subcarinata</i>							X		
<i>Globigerinelloides praerihillensis</i>							cf.		
<i>Rugoglobigerina hexacamerata</i>							X		
<i>Rugoglobigerina macrocephala</i>		X			X		X		
<i>Rugoglobigerina rugosa</i>		X		X	X				
<i>Rugoglobigerina rotundata</i>					X				
<i>Rugoglobigerina scotti</i>		X					X		
<i>Rugotruncana subcircumnodifer</i>					X				
<i>Heterohelidae</i>	X								
<i>Heterohelix globulosa</i>		X			X		X		
<i>Heterohelix navarroensis</i>							X		
<i>Heterohelix striata</i>		X					X		
<i>Laeviheterohelix pulchra</i>					X		X		
<i>Pseudotextularia elegans</i>		X		X	X		X		
<i>Pseudotextularia varians</i>					X				
<i>Planoglobulina glabrata</i>		X							
<i>Pseudoguembelina excolata</i>		X	X	X	X		X		
<i>Pseudoguembelina hariaensis</i>		X							
<i>Pseudoguembelina costulata</i>		X					X		
<i>Schackoina multispinata</i>		X							
<i>Schackoina cenomana</i>		X							



Tabla II. Especies índices de foraminíferos bentónicos por formación estudiada.

Taxa	Formaciones								
	Occidente		Centro				Oriente		
	Los Negros	Vía Blanca	Cotorro	Monos	Duran	Río Yaquimo	La Jíquima	La Picota	Manacal
F. Bentónicos Grandes									
<i>Asterorbis cubensis</i>		X							
<i>Asterorbis habanensis</i>		X							
<i>Omphalocyclus macroporus</i>		X							
<i>Historbitoides kozaryi</i>		X	X				X		X
<i>Vaughanina cubensis</i>									
<i>Vaughanina cbarkeri</i>									
<i>Sulcoperculina sp.</i>									
<i>Orbitoides tissoti</i>		X							
<i>Orbitoides apiculata</i>	X	X							
<i>Pseudorbitoididae</i>	X								
<i>Pseudorbitoides sp.</i>	X		X						
<i>Pseudorbitoides israelskyi</i>	X	X	X						
<i>Pseudorbitoides rutteni</i>	X	X	X						X
<i>Pseudorbitoides trechmani</i>			X						
<i>Historbitoides kozaryi</i>	X								
<i>Vaughanina cubensis</i>	X	X				X		X	
<i>Vaughanina barkeri</i>	X	X	X	X					
<i>Orbitocyclina sp.</i>	X	X							
<i>Sulcorbitoides pardoii</i>		X	X						
<i>Sulcoperculina sp.</i>	X		X						
<i>Sulcoperculina dickersoni</i>	X	X		X		X	X		X
<i>Sulcoperculina globosa</i>	X	X	X	X				X	X
<i>Sulcoperculina diazi</i>	X	X							
<i>Sulcoperculina angulata</i>	X	cf.							
<i>Sulcoperculina vermunti</i>	X								
<i>Sulcoperculina dickersoni</i>									
<i>Chubbina cardenasensis</i>		X							
<i>Smoutina bermudezi</i>	X	X							
<i>Rotalia vanvelleni</i>		X							
<i>Dicyclina schlumbergeri</i>		X							
<i>Accordiella conica</i>		X							
F. Bentónicos Pequeños									
<i>Nodosaria longiscata</i>					X				
<i>Nodosaria limbata</i>					aff.				
<i>Marhginulina jarvisi</i>					X				
<i>Saracenaria sp.</i>					X				
<i>Bolivina incrassata</i>					X				
<i>Praebulimina carseyae</i>					X				
<i>Gutulina sp.</i>					X				
<i>Pseudouvirgerina plummmerae</i>					X				



Tabla III. Datos palinológicos de la Formación Los Negros en el Pozo Las Mangas 1

Taxa	Intervalos de Profundidad (m)		
	2284-93	2555-60	2613-18
Microplancton			
<i>Dinogymnium evelaensis</i>	X		
<i>Hystriosphæridium spp.</i>	X		X
<i>Hystriosphæridium sp.</i>			?
<i>Leiosphaeridia sp.</i>	X		
<i>Hystriocholpoma ?</i>	X		
Dinoflagelados corados indet		X	
Dinosquites indet			X
<i>Operculodinium sp.</i>		?	
Esporas			
<i>Biretisporites asper</i>	aff.		
<i>Cicatricosisporites sp.</i>	X		
<i>Faveolatisporites sp.</i>		X	
<i>Pluricellaesporites sp.</i> (Fungóspora)		X	
<i>Classopollis sp.</i> (granuloso, 32 µ Ø)			
<i>Classopollis sp.B</i> (psilado, 13-20µ Ø)			
Triletes indet		X	
Polen			
<i>Liliacitites variegatus</i>	X		
<i>Triorites minutipori</i>	cf.		
<i>Agloeridia sp.</i>	X		
<i>Arecipites sp.</i>	X	?	
<i>Tricolpites sp.</i>	X		
<i>Brevitricolpites sp.</i>	X		
<i>Psilatricolpites sp.</i>		X	
<i>Retritricolpites sp.</i>		X	
<i>Inaperturopollenites spp.</i>			X
<i>Cyathidites minor</i>			X
<i>Varirugosisporites sp.</i>			X
<i>Appendicisporites sp.</i>			X
<i>Klukisporites sp.</i>			X
<i>Gleichenidiites sp.</i>			X
<i>Pluricellaesporites</i> (fungosporas)			X
<i>Inapertisporites</i> (fungosporas)			X
Tétradas y másulas indet		X	X
Colporado indet		X	



Tabla IV. Distribución estratigráfica de las formaciones estudiadas

Piso	Zonas de Foraminíferos Planctónicos. I. Premoli Silva y W. Sliter (1995)	Formaciones								
		Occidente		Centro				Oriente		
		Los Negros	Vía Blanca	Cotorro	Monos	Duran	Río Yáquimo	La Jíquima	La Picota	Manacal
Maastrichtiano	<i>Plummerita hantkeninoides</i>					
	<i>Abathomphalus mayaroensis</i>									
	<i>C. contusa- R. fructicosa</i>									
	<i>Gansserina gansseri</i>									
Campaniano	<i>Globotruncana aegyptiaca</i>									
	<i>Globotruncanella havanensis</i>									
	<i>Radotruncana calcarata</i>									
	<i>Globotruncana ventricosa</i>									
	<i>Globotruncana elevata</i>									



BIOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN VIA BLANCA Y SU RELACIÓN CON LA EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS

Leidy Menéndez Peñate⁽¹⁾, Jorge R. Sánchez Arango⁽¹⁾.

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington No. 169 esquina a Churruca, Cerro, Ciudad de La Habana, Cuba. E-mail:

RESUMEN

La Formación Vía Blanca constituye una unidad litoestratigráfica que está muy relacionada con eventos tectónicos importantes para explicar la estructura geológica de yacimientos de petróleo situados en la región Habana -Matanzas. En particular, el Miembro Flysch Los Mangos constituye el elemento más joven de la Formación; por su buena representatividad en afloramientos y pozos perforados, en la investigación realizada se abordan estudios micropaleontológicos y bioestratigráficos en un grupo de afloramientos y pozos de interés, lo que ha permitido, a partir de la identificación del complejo faunístico y de su caracterización litológica, determinar el contexto sedimentario y paleoambiental en que se depositó, así como precisar la controversial edad geológica de dicho Miembro.

De este modo se introdujo un nuevo enfoque, no abordado en trabajos anteriores, para el tope de la Formación Vía Blanca, evidenciándose una diacronía en el Miembro Flysch Los Mangos. A su vez, la extensión del límite superior de la Formación Vía Blanca hasta el tope del Maestrichtiano, constituida por los sedimentos pelíticos del Flysch Los Mangos, en sectores tan cercanos a la Formación Peñalver (Maestrichtiano Tardío), introduce interrogantes para explicar la influencia del impacto extraterrestre (meteorito de Chixchulub, México) que varios autores han propugnado hacia el límite Cretácico – Terciario en Cuba occidental.

ABSTRACT

The Via Blanca Formation is a lithostratigraphical unit which has a close range relationships with major tectonic events to explain the geological structure of oil reservoirs from the Habana – Matanzas region. In a more detailed study, the Los Mangos Flysch Member is the younger element of the Formation; because of its good representation in outcrops and drilled wells, in the present research there are conducted a series of micropaleontological and biostratigraphic studies in a group of outcrops and wells of our interest, which had let us, using the faunal compound identification, and lithological characterization, to determinate the sedimentary and paleoenvironmental context in which occur the deposition, as also to determine the controversial geological age of this Member.

By this way we came with a new focus, never used in previous researches, for the top of the Via Blanca Formation, been evident a diachronic result on the Los Mangos Flysch Member. At the same time, the extension of the upper limit of the Via Blanca Formation up to the top of the Maestrichtian age, constituted by the tiny sediments of the Los Mangos Flysch, in sectors so close to the Peñalver Formation (Late Maestrichtian), brings questions to explain the influence of the extraterrestrial impact (Chixchulub Meteorite in Mexico) which has been adjudge by several authors to the Tertiary Cretacic in occidental Cuba.

INTRODUCCIÓN

Desde la década de los 80 la historia de la Exploración de Hidrocarburos en Cuba ha tenido un sostenido crecimiento.

A lo largo de los últimos 60 años, los sedimentos que hoy se conocen como Formación Vía Blanca, se perforaron en un número significativo de pozos a lo largo de la costa norte Habana – Matanzas, en el sector de lo que conocemos actualmente como la Provincia



Petrolera Norte Cubana. Esos pozos constituyeron pequeños yacimientos de petróleo por el volumen de recursos de hidrocarburos almacenados. Ellos son: Bacuranao (donde están los pozos ICRM), Santa María, Peñas Altas, Guanabo, Camarioca somero y Cantel somero, Echevarría *et al.* (1991). La mayoría de esos yacimientos ya están agotados. Sin embargo, el país tiene particular interés en desarrollar, por medios propios, investigaciones de exploración en áreas nuevas, donde existan posibles estructuras de poca profundidad. En estos casos, en la región Habana-Matanzas, esas estructuras detectadas involucran, en muchos casos, el Miembro Flysch Los Mangos, como la roca capaz de sellar las presuntas acumulaciones de petróleo que pueden contener los reservorios infrayacentes.

La Formación Vía Blanca está constituida por varios paquetes litológicos, que podemos resumir en 3 tipos: conglomerados, olistolitos y sedimentos tipo flysch, compuestos por turbiditas siliciclásticas plegadas y falladas. Desde el punto de vista del desarrollo evolutivo de la cuenca que le dio origen a la Formación, todos los depósitos de la misma se denominan sinorogénicos, queriendo significar que son contemporáneos a la gran orogenia desarrollada en lo que hoy constituye Cuba Occidental, entre el Cretácico Superior Campaniano y el Eoceno Medio, Sánchez, Banford y López (informe SPT/UPET, 1993). Estas etapas de desarrollo constituyen a su vez ciclos sedimentarios transgresivos – regresivos que comienzan con clastitas y terminan con rocas carbonatadas.

Las clastitas, que aparecen durante el primer ciclo, son ricas en clastos derivados de la erosión del arco, como el caso de la Formación Vía Blanca que nos ocupa, y de las ofiolitas (véase el corte de los pozos ICRM, Santa María, Boca Ciega). También están las clastitas calcáreas de la Formación Peñalver, asociada por varios autores en los últimos años a un polémico evento catastrófico megaturbidítico, Takayama *et al.* (2000).

En esta investigación se realiza un nuevo estudio sobre la Formación Vía Blanca, pues, a pesar de que varios autores le han dedicado especial atención a ella y a sus Miembros, en la actualidad existen datos no exentos de contradicciones que llegan hasta modificar aspectos de su conceptualización original. Además dicha Formación está sumamente relacionada con eventos tectónicos de mucha importancia para comprender la estructura geológica de los yacimientos de petróleo, y con el sello de un tipo particular de roca almacén, en particular, su parte superior que se conoce como Miembro Flysch Los Mangos, el cual se convierte en el objeto de estudio principal de la investigación realizada, prestando a este Miembro, especial atención a su edad y características como roca sellante.

Trabajos publicados por Bermúdez, (1961), Brönnimann y Rigassi (1963), Kuznetsov *et al.* (1975), Albear e Iturralde (1985), Sánchez (1985) y muchos otros, han considerado que la edad de la Formación Vía Blanca se corresponde con el Cretácico Superior Campaniano a Maestrichtiano Inferior. Específicamente, el Miembro Flysch Los Mangos (Albear e Iturralde, 1985) fue establecido como Maestrichtiano Inferior.

En un estudio micropaleontológico realizado por Díaz-Otero *et al.* (2003), basado fundamentalmente en foraminíferos planctónicos, propone que se extienda la edad de la Formación Vía Blanca hasta el Maestrichtiano Superior, ya que los estudios realizados en las diferentes localidades de la parte alta de la Formación Vía Blanca de Brönnimann y Rigassi, se identificaron especies de edad exclusivamente Maestrichtiano Superior, tales como: *Abathomphalus mayaroensis*, *Pseudoguembelina haraiensis* y *Plummerita hantkeninoides* (Brönnimann). En el caso de *Contusotruncana contusa*, encontrada también en los estudios realizados, y según la propia autora,



ha sido ubicada en el límite Campaniano/Maestrichtiano, abarcando todo el Maestrichtiano; este resultado fue aprobado por la Comisión Internacional de Estratigrafía. También describe, dentro del complejo faunal encontrado, las especies de foraminíferos bentónicos *Omphalocyclus macroporus* y *Asterorbis cubensis*, también del Maestrichtiano Superior.

Este nuevo estudio enfoca el interés particular en los foraminíferos planctónicos, por ser el grupo más abundante en las muestras y cuyos taxones son de gran relevancia en la identificación de las biozonas y, por lo tanto, en las edades geológicas y correlaciones más refinadas. Aunque también se acude en varios casos a los foraminíferos bentónicos y otros microfósiles presentes en las muestras colectadas dado que aportan información desde el punto de vista paleoambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se dividió en dos partes, una primera que comprendió el trabajo de campo donde se obtuvieron muestras de afloramientos que fueron posteriormente procesadas e identificadas en el laboratorio, y una segunda, que comprendió el levantamiento geológico y paleontológico de pozos de petróleo perforados.

Después de conocer los datos resultantes de los trabajos realizados hasta el momento en relación a la Formación Vía Blanca, fueron seleccionadas, a través de Hojas topográficas de La Habana 1: 50000, las localidades para las cuales existen reportes de afloramientos para esta Formación, y en especial del Miembro Flysch Los Mangos, según Brönnimann y Rigassi (1963), quienes reconocieron la zona Este de Ciudad de La Habana como el área donde se encuentran los mejores afloramientos. Se visitaron 6 localidades de la región Este de la Ciudad de La Habana con la ayuda de las Hojas Topográficas correspondientes a cada localidad (*Cantera Peñalver II*, *Cantera Las Victorias*, *Cantera al sur de Minas*, *Sur de Tumba Cuatro*, *Sur de Jibacoa*, *Conglomerado Norte*; ver Mapa Topográfico del Sector Habana – Canasí).

Cada uno de los afloramientos fueron descritos teniendo en cuenta: ubicación, dimensiones, espesor y forma de yacencia de las rocas, composición litológica, entre otros datos de interés. Además, en cada uno de ellos se tomaron varias muestras de diferentes litologías a lo largo del corte y a diferentes intervalos, en cada caso teniendo en cuenta que fueran rocas frescas (no alteradas) de dimensiones aproximadas 12 x 10 x 3cm., las que fueron colocadas en saquitos de nylon independientes previamente etiquetados. La toma de las muestras y el espesor de los estratos fueron estimados mediante la piqueta de geólogo.

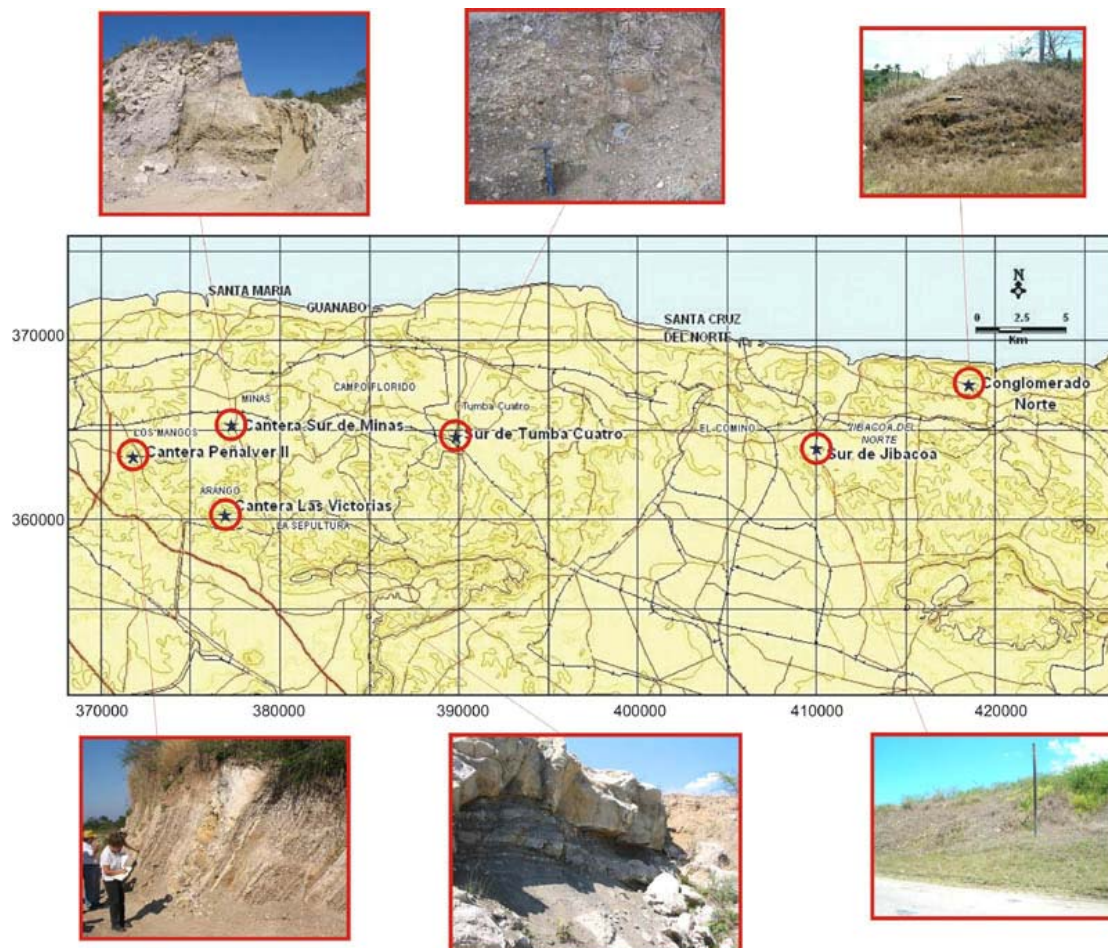


Figura 1. Mapa Topográfico del Sector Habana - Canasí. Ubicación de los afloramientos visitados.

Posteriormente se procedió al procesamiento de las muestras obtenidas mediante los métodos de lavado, y preparación de secciones delgadas para las rocas más duras. De esta forma fueron observadas y analizadas 11 muestras de lavado y 10 secciones delgadas, procedentes todas de 4 afloramientos.

En la segunda parte se llevó a cabo un levantamiento de datos de 35 pozos (ICRM 1, 2A, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 13, 15, 27, 49, 99, 101, 107, 110, 116, 121, 136, 138, 140, 142, 143, 154, 225, 226, 227, 227A, Tarará 1, Santa María 238, Boca Ciega 1, el Santa cruz 1 y el pozo Guanabo 19) ubicados entre La Ciudad de La Habana y Matanzas, (ver Mapa Geológico del Sector Habana - Canasí), donde se evidencia claramente, aunque a diferentes intervalos de profundidad, los límites tope y base de la Formación Vía Blanca.

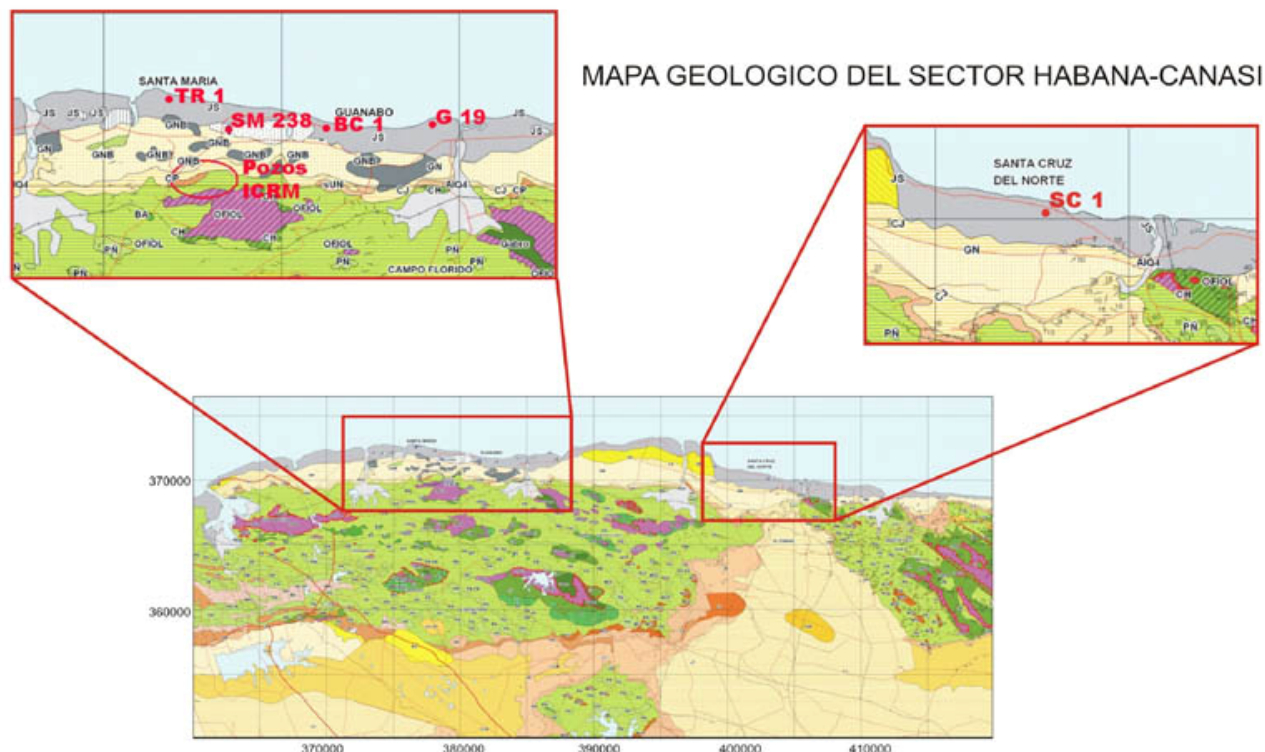


Figura 2. Ubicación de los pozos estudiados.

RESULTADOS

Entre las muestras de afloramientos y pozos estudiados, fue posible determinar varios grupos de microfósiles y dentro de ellos: foraminíferos planctónicos y bentónicos, fragmentos de rudistas, conchas de ostrácodos y espículas de esponjas.

Entre los foraminíferos planctónicos determinados, tanto en las muestras de pozos como en los afloramientos, se pudieron distinguir 5 familias: *Heterohelicidae*, *Globotruncanidae*, *Rugoglobigerinidae*, *Globigerinelloididae*, *Hedbergellidae*, todas ellas presentes en el Cretácico Superior, y una amplia variedad de géneros y especies distribuidas en cada uno de ellos. También se reconocieron, en las muestras de afloramientos, especies de foraminíferos bentónicos pertenecientes a las familias: *Miliolidae*, *Rotaliidae*, *Pithonellidae*, *Pseudorbitoididae*, *Lepidorbitoididae*, *Orbitoididae*, *Alveolinidae*, *Cibicidae*, *Rhapydioninidae*, *Gavelinellidae*, correspondientes también al Cretácico Superior. En los pozos, además se registraron miembros de las familias: *Bolivinoideidae*, *Bolivinidae*, *Osangulariidae* y *Soritidae*. Además se determinó una amplia diversidad de especies de radiolarios pertenecientes a los órdenes *Spumellaria* y *Nassellaria*.

Todo este complejo faunal observado en las muestras de afloramiento y pozos muestran que la Formación se sedimentó en un ambiente marino de la plataforma externa, en aguas cálidas con corrientes de turbidez. En la Formación Vía Blanca, aunque la abundancia de los radiolarios está limitada a las capas arcillosas, su presencia no deja de ser significativa, de hecho, según los estudios realizados por Flórez en 1983, y en la presente investigación, la diversidad de especies en estos sedimentos es muy grande. La constitución de estos depósitos, de tipo "flyschoides", que está



determinada por los movimientos orogénicos, de naturaleza rítmica y sus sedimentos arcillosos, corresponde a facies de aguas profundas, lo que facilitó el desarrollo de los policistínidos, siendo importante también la influencia de la orogenia pre-Campaniana, Flórez (1983).

La selección de un grupo de pozos y de afloramientos representativos, permitió identificar que las arcillas, lutitas y areniscas de grano fino a medio, constituyen realmente secuencias rítmicas en un tipo de sedimentación de flysch. Y se pudo corroborar que el Miembro *Flysch* Los Mangos, constituye la porción distal de una cuenca frontal al sustrato plegado lo cual se corresponde con la sedimentogénesis original del Miembro, dada por Brönnimann y Rigassi (1963).

En cortes de la Formación Vía Blanca de los pozos de la costa norte Habana-Matanzas, se observaron que los sedimentos pelíticos originalmente formados, se encontraban “mezclados” con rocas de la propia Formación, sobretodo con cantos de los paquetes conglomeráticos (tobas, areniscas tobáceas, etc). Este hecho ocasiona con frecuencia la imbricación espacial de taxones fósiles que no responden a las secuencias normales de la sedimentación. Esto se evidencia en el corte de los pozos Tará 1 y Guanabo 19, ver figura 3. Así, en la muestra SL-11 (lutita) del afloramiento Sur de Jibacoa, se encuentran “coexistiendo”, entre otras, las especies *Globotruncanita calcarata* (fósil índice del Campaniano) con *Plumerita hantkeninoides*, (índice del Maestrichtiano Tardío). Esas especies son excluyentes.

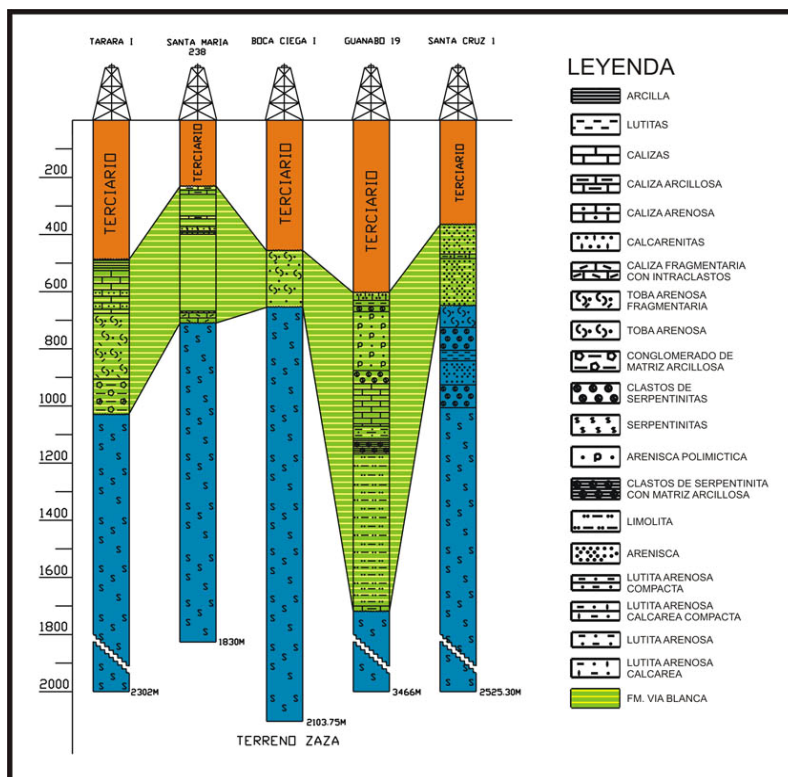


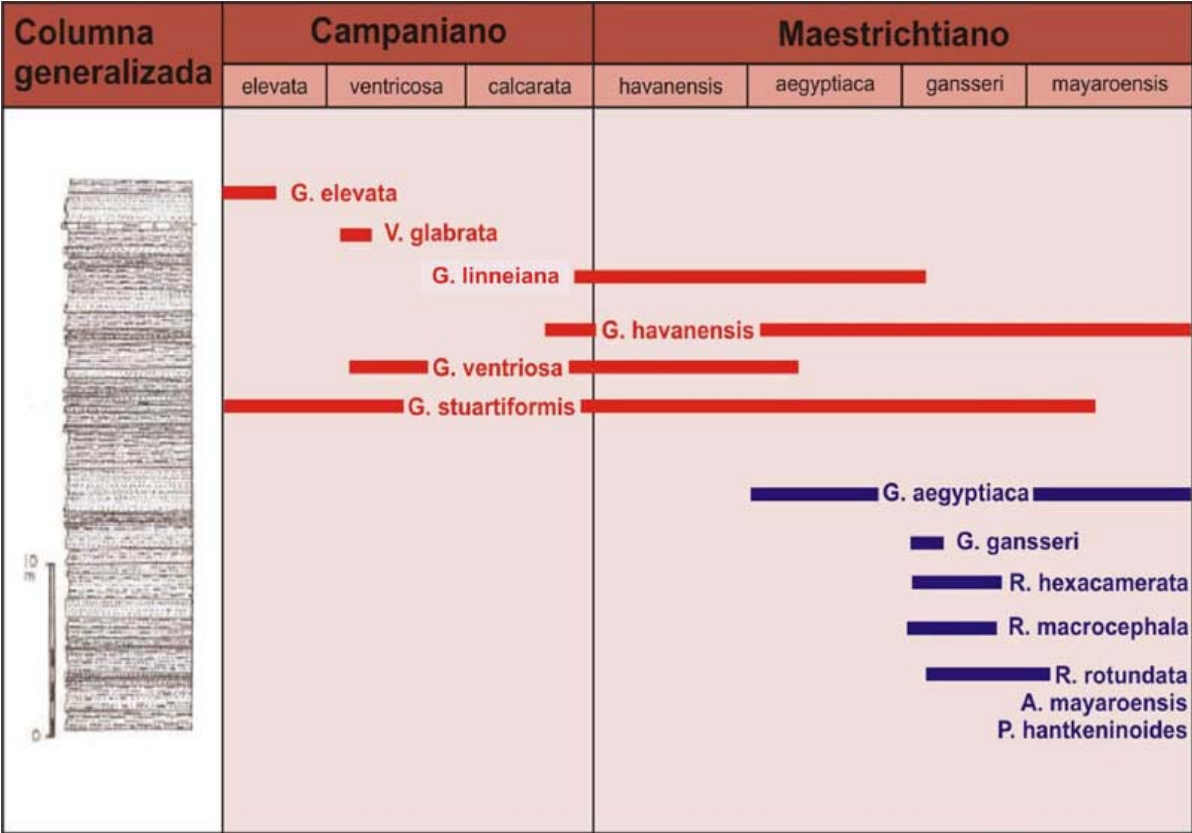
Figura 3. Columnas litoestratigráficas de los pozos: Tará 1, Santa María 238, Boca Ciega 1, Guanabo 19 y Santa Cruz 1.

En relación a la edad, en el presente trabajo se obtuvo para los afloramientos Peñalver II, Las Victorias y Sur de Minas, conjuntos faunales correspondientes a la edad Campaniano-Maestrichtiano Inferior, no siendo así para el afloramiento Sur de Jibacoa, donde se encontró la presencia de las especies *Plummerita hantkeninoides*, *Gansserina gansseri*, *Globotruncana aegyptiaca*, *Rugoglobigerina hexacamerata*, *Rugoglobigerina rotundata* y *Rugoglobigerina macrocephala*,



exclusivas todas del Maestrichtiano Superior, según Bolli (1985), correspondiéndose con los resultados obtenidos por Díaz-Otero *et al.* (2003) en otros afloramientos que también se corresponden con la parte más alta de la Formación. También en la secuencia *flysch* de varios pozos ICRM (Campo Habana, Bacuranao), se ha determinado una asociación con especies exclusivas del Maestrichtiano Superior, como son: *Abathomphalus mayaroensis* y *Omphalocyclus macroporus*, especies de amplia presencia en el Caribe. Ver tabla I.

Tabla I. Relación de especies representativas del Cretácico Superior.



En los yacimientos estudiados, migrando desde sus rocas sedimentarias generadoras, el petróleo se acumuló en rocas serpentiniticas fracturadas y para evitar su escape, su entrappe se selló por rocas altamente impermeables. Dichas rocas están, en todos los casos, representadas por el Flysch Los Mangos de la Formación Vía Blanca. O sea que los sedimentos arcillosos del *flysch* constituyen el sello para esas acumulaciones de petróleo que pueden contener los reservorios infrayacentes.

DISCUSIÓN

Debido a la tectónica de cabalgamiento ocurre el escamamiento de los paquetes litológicos y se produce muchas veces la imbricación de taxones fósiles que no se corresponden con el orden de yacencia original de sedimentación. En la figura 3 no se representa por razones de simplificación.

La Formación Vía Blanca que se extienden en forma de banda en el sector septentrional del área de La Habana-Matanzas se depositó de forma alóctona dado que el sitio original de deposición ocurrió varios kilómetros al sur del anticlinal Bejucal – Madruga – Limonar y fueron trasladados hacia el norte,



a su posición actual, por medio de los movimientos de sobrecorrimento o cabalgamiento, Sánchez, Banford y López (informe SPT / CUPET, 1993).

Este contexto geológico tan complejo, se tiene muy en cuenta en los estudios bioestratigráficos, pues estamos tratando con secuencias de rocas y los fósiles que las contienen, que están en un contexto exótico. Los afloramientos representan lo que se denominan “escamas tectónicas”, en donde la ley de superposición de los estratos está alterada, en ocasiones invertida. Una primera aproximación al problema indicaría una simple redeposición del Campaniano en el Maestrichtiano Superior, lo cual no es muy explicable, porque lo “lógico” sería que la redeposición ocurriera en el Maestrichtiano Inferior. Una explicación alternativa estaría vinculada a una reelaboración tectónica posterior, o sea, una resedimentación que pudo ocurrir durante el Terciario Temprano. A favor de esta interpretación está el hecho de que la especie *Globotruncanita calcarata* se encontró en un grado apreciable de recristalización (fenómeno recurrente a las fallas) y de distinto color al resto de la asociación fósil.

En relación a la edad los datos apoyan, pues, las conclusiones más recientes aportadas por Díaz-Otero *et al.* (2003) en el sentido de que el límite superior de la Formación Vía Blanca, constituida por el Miembro Flysch Los Mangos, se extiende durante todo el Maestrichtiano, incluyendo entonces la biozona *Gansserina gansseri* y *Abathomphalus mayaroensis*. Sin embargo, este resultado introduce un nuevo enfoque para el tope de la Formación Vía Blanca, o sea, en las relaciones estratigráficas entre las Formaciones Vía Blanca y Peñalver, no abordadas en el trabajo antes mencionado. Evidentemente, se expresa una diacronía en el Miembro Flysch Los Mangos. A la parte más distal de la cuenca, a inicios del Maestrichtiano Superior, no llegó el gran deslizamiento submarino de una masa clástica carbonatada propuesto por Albear e Iturralde (1985), lo que explica que continuó durante todo el Maestrichtiano Superior la sedimentación del flysch Los Mangos. Por otra parte, hacia la cuenca frontal en los inicios del Maestrichtiano Superior, sí llegó la masa clástica carbonatada, lo que dio lugar al ciclo sedimentario de la Formación Peñalver y a una discordancia erosional en su base, con el característico solapamiento (*onlap*). Esto se hace evidente en los estudios realizados en afloramientos y en pozos.

A su vez, la extensión del límite superior de la Formación Vía Blanca hasta el tope del Maestrichtiano, constituida por los sedimentos pelíticos del Flysch Los Mangos, en sectores tan cercanos a la Formación Peñalver (Maestrichtiano Tardío), introduce interrogantes para explicar la influencia del impacto extraterrestre (meteorito de Chixjulub, México) que varios autores han propugnado hacia el límite Cretácico – Terciario en Cuba occidental (Takayama *et al.*, 2002).

CONCLUSIONES

- ✓ En el estudio realizado fueron identificadas 5 familias de foraminíferos planctónicos especies de foraminíferos bentónicos, y una amplia diversidad de radiolarios, todos pertenecientes al Cretácico Superior.
- ✓ Los estudios realizados en afloramientos y los datos obtenidos a partir de los pozos demuestran que las arcillas, lutitas y areniscas de grano fino a medio constituyen realmente secuencias rítmicas en un tipo de sedimentación de *flysch*, que se presenta en el Miembro Flysch Los Mangos y que el predominio de rocas procedentes de la erosión del arco volcánico cretácico, no son más que material redepositado por la cercanía de terrenos emergidos al inicio del Campaniano.
- ✓ El Miembro *Flysch* Los Mangos constituye la porción distal de una cuenca frontal al sustrato plegado, lo cual concuerda con la sedimentogénesis original de la formación descrita por Brönnimann y Rigassi (1963).



- ✓ La Formación se sedimentó en un ambiente marino de la plataforma externa, en aguas cálidas con corrientes de turbidez, según los datos obtenidos a partir de los foraminíferos bentónicos y radiolarios.
- ✓ Se encontró la presencia de las especies *Plummerita hantkeninoides*, *Gansserina gansseri*, *Globotruncana aegyptiaca*, *Rugoglobigerina hexacamerata*, *Rugoglobigerina rotundata* y *Rugoglobigerina macrocephala*, exclusivas todas del Maestrichtiano Superior, expresándose una diacronía en el Miembro Flysch Los Mangos.
- ✓ Los resultados bioestratigráficos alcanzados en cuanto a la extensión del tope del Miembro Flysch Los Mangos de la Formación Vía Blanca al Maestrichtiano Tardío, constituyen aportes nuevos en afloramientos y pozos no incluidos en investigaciones precedentes que, por primera vez, establecieron ese límite.
- ✓ Se expresa con más argumentación, que la sección del Maestrichtiano Superior asociada a la parte más alta de la Formación Vía Blanca constituye un excelente sello para acumulaciones petrolíferas en reservorios infrayacentes constituidos por serpentinitas fracturadas. Este factor, tan importante en la evaluación de los sistemas petroleros, se demuestra en los pequeños yacimientos petroleros de Bacuranao – Cruz Verde (pozos ICRM) y Guanabo somero y muy recientemente en el nuevo pozo Tarará 100, perforado a inicios de 2006.

BIBLIOGRAFÍA

- Albear, JF. y MA. Iturralde. 1985. Estratigrafía de las provincias de La Habana. En: Contribución a la geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana. Editorial Científico –Técnica, Ciudad de La Habana, p. 12-54.
- Bermúdez, PJ. 1961. Las formaciones geológicas de Cuba. *Rev. Geología Cubana*, (La Habana), (1):177.
- Brönnimann, P. y D. Rigassi. 1963. "Contribution to the Geology and Paleontology of the city of La Habana, Cuba and its surroundings". *Eclog. Geol. Helvetiae*, (Ciudad de La Habana), vol.56 (1): 222-261.
- Díaz-Otero, C, J.A. Arz, I. Arenillas, E. Molina, N. Corona. 2003. Nuevas consideraciones sobre la edad de la Formación Vía Blanca. *Memorias Geomin*. 2003, La Habana, ISBN 959-7117-11-8, p. 109-115.
- Bolli, H.M., J.B. Saunders, K. Perch-Nielsen. 1985. *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press, (Cambridge), p. 1-86.
- Echevarría, G. *et al.* 1991. Oil and gas exploration in Cuba. *Journal of petroleum Geology*, (Ciudad de La Habana), vol.14 (3): 259-274.
- Flórez, E.1983. Radiolarios de algunas formaciones del Cretácico Paleógeno Inferior de Cuba Occidental. *Rev. Ciencias de la Tierra y el Espacio*, (Ciudad de La Habana), (7): 3-19.
- Kuznetsov, VI. *et al.*1975. Elaboración de los materiales de los pozos paramétricos, de búsqueda y de exploración, división y correlación de los cortes de pozos de la República de Cuba y su plataforma, Empresa de Geología, Informe de archivo, no publicado, La Habana, 122 pp., anexos 42.
- Sánchez, JR. 1985: Ostrácodos de algunas formaciones de las provincias de La Habana. En: En: Contribución a la geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana. Editorial Científico –Técnica, Ciudad de La Habana, p. 116- 125.
- Sánchez, JR., M. Banford, and JG. López., 1993. Stratigraphy. In: The Geology and Hidrocarbon Potencial of the Republic of Cuba. SPT/CUPET eds. Proprietary Report, Llandudno, UK, vols. 1 and 2, 10 boxes.
- Takayama, H., S.R. Tada, T. Matsui, M.A. Iturralde-Vinent, T. Oji, E. Tajika, S. Kiyokawa, D. Garcia, H. Okada, T. Hasegawa, K. Toyoda. 2000. Cretaceous-Tertiary boundary sequence in the Cacarajicara Formation, western Cuba: An impact-related, high-energy, gravity-flow deposit. *Geological Society of America*, Special Paper 356:125- 144.

CONTRIBUCIÓN AL ESCLARECIMIENTO DE LA EDAD DE LOS SEDIMENTOS ARCILLOSOS DE LA FORMACIÓN VEGA ALTA EN EL ÁREA VARADERO-CARDENAS

Aliena Flores Nieves⁽¹⁾, **Jorge Sánchez Arango**⁽¹⁾, **Lourdes Pérez Estrada**⁽¹⁾, **Silvia Blanco Bustamante**⁽¹⁾, **Dania Brey del Rey**⁽¹⁾, **Carlos Perera Falcón**⁽¹⁾.

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Calle Washington No 169, esq. Churruca, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, E-mail: aliena@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

En los últimos tiempos, la edad de la Formación Vega Alta ha venido considerándose como de edad Eoceno Inferior en la Franja Norte de Crudos Pesados (FNCP). Estos sedimentos son de gran importancia para el sistema petrolero, por su carácter de secuencia sellante en todos los yacimientos de la FNCP. En muchos pozos, es significativo el contenido arcilloso. En este trabajo se establece y generaliza la edad de las arcillas, argilitas y limolitas de la Fm. Vega Alta en el área estudiada, considerando un grupo de pozos representativos verticales y dirigidos, tanto por núcleos convencionales como por muestras de canal. Se incluyen los pozos Varadero 703, Varadero W 708, Marbella Mar 1, Litoral 3, Guásimas 7, Cupey 1 X, Majaguillar 1, 2, 3 y 21, y el pozo Playa Larga 1, recientemente perforado. Se reportan en estos sedimentos arcillosos especies fósiles de edad Paleoceno Superior, lo que corrobora la misma edad en similares rocas estudiadas con anterioridad en el área Jibacoa-Seboruco. Los datos más recientes provienen del pozo Playa Larga 1, que contiene arcillas que se sedimentaron al finalizar el Paleoceno Superior. El género *Morozovella* tuvo gran auge y diversificación específica, debido a las temperaturas elevadas de las aguas en aquel tiempo. Estas características permiten, probablemente, explicar la abundancia de varias especies de *Morozovella* en estos pozos representativos, lo que unido a su tasa de evolución rápida, determina una distribución estratigráfica restringida de aquéllas. Se pudo precisar que la fracción arcillosa de las rocas clásticas, no siempre tiene la misma edad dentro de la formación. Al Paleoceno Superior se refiere la matriz arcillosa de las brechas en el pozo Guásimas 7. Al Eoceno Inferior Temprano se vinculan los olistostromas y conglomerados polimícticos como los de los pozos Majaguillar 2 y 3. Las biofacies expresan un mayor significado cronoestratigráfico a nivel de taxones específicos (género-especies) que a nivel de grupos fósiles.

ABSTRACT

In the last times, Vega Alta Formation has been considered as low Eocene in age in the North Heavy crudes belt. These sediments are of great importance for the oil system, for its character of seals sequence in all the locations of the North Heavy crudes belt. In many wells the clay content is significant. This work specifies and generalizes the age of the clays, claystones and siltstone of the Vega Alta Fm in the studied area, considering a group of vertical and horizontal representative wells, as much for conventional core as for cuttings samples. The wells studied were Varadero 703, VaraderoW 708, Marbella Mar 1, Litoral 3, Guásimas 7, Cupey 1X, Majaguillar 1, 2, 3 y 21 and the Playa Larga 1 well recently drilled. The fauna reports of the clay sediments in these wells show fossil species from Upper Paleocene, which corroborate this age in previous study in Jibacoa-Seboruco area. The most recent data come from the Playa Larga 1 well that contains clays that settled when concluding the Upper Paleocene. The genera *Morozovella* had great peak and specific diversification, due to the high temperatures of the waters in that time. These characteristics allow, probably, explain the abundance of several species of *Morozovella* in these representative wells, that together to their rate of quick evolution, it determines a restricted stratigraphic distribution of those. The clay fraction of the clastics rock, doesn't always have the same age inside the Formation. To Upper Paleocene it refers the clayed matrix of the breccia in the well Guásimas 7. To the low Eocene the olistostromes and polymictic conglomerates are linked like those of the wells Majaguillar 2 and 3. The biofacies expresses a bigger cronoestratigraphic meaning at level of specific taxones (genera-species) that at level of fossil groups.

INTRODUCCIÓN

La Formación Vega Alta, sedimentos sinorogénicos, presentes en la Franja Norte de Crudos Pesados tiene gran importancia en la exploración petrolera por constituir el sello regional de los yacimientos presentes en la misma.

Esta Formación litológicamente esta compuesta por intercalaciones arcillosas, limonitas, margas y calizas, en ella se disponen algunos conglomerados y olistrostromas. Su carácter sellante se debe al contenido de arcilla presente en ella.

Este trabajo tiene como objetivo establecer y generalizar la edad de la fracción arcillosa de dichos sedimentos en el área Varadero-Cárdenas a partir de las imprecisiones que existen respecto a la datación de dicha Formación y la necesidad de contar con un estudio más completo y actualizado de la misma por su significado petrolero.

Aunque se trabaja con diversos grupos fósil (Foraminíferos planctónicos, Foraminíferos bentónicos pequeños, Nannoplactón calcáreo y Radiolarios), los primeros resultan de gran importancia para la determinación de la edad de estas arcillas, específicamente el género *Morozovella*, de gran abundancia, diversidad y fácil determinación en el Paleoceno Superior-Eoceno Inferior.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizan los resultados micropaleontológicos y sedimentológicos correspondientes a la Formación Vega Alta, tanto de núcleos como de cuttings de los pozos Varadero 703, Varadero W 708, Marbella Mar 1, Litoral 3, Guásimas 7, Cupey 1 X, Majaguillar 1, 2, 3 y 21 obtenidos de informes inéditos en el Archivo Técnico del Centro de Investigaciones del Petróleo y del pozo Playa Larga 1 perforados en el área Varadero-Cárdenas (Fig 1).

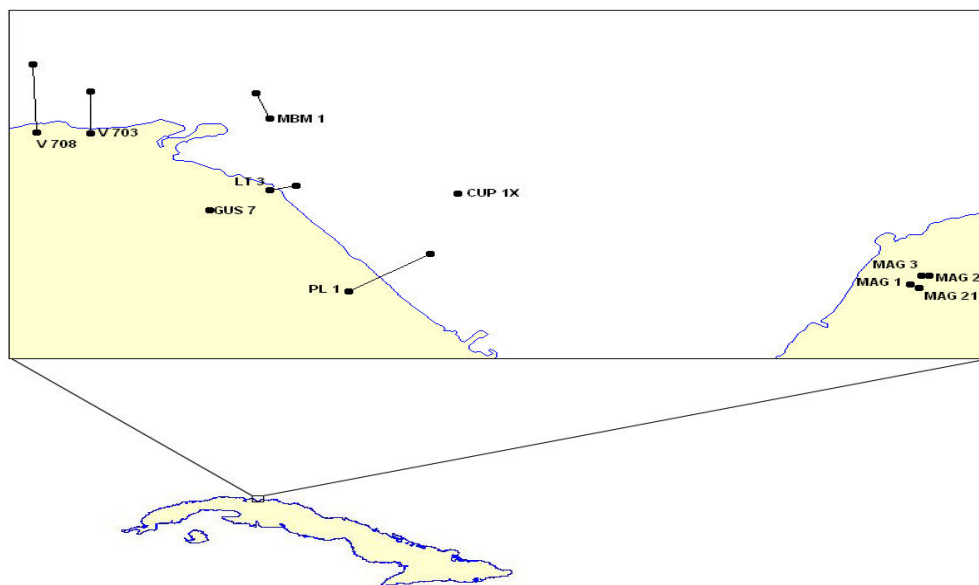


Figura.1 Ubicación de los pozos comprendidos en el estudio

Se utiliza la distribución estratigráfica de Foraminíferos planctónicos del Paleoceno-Eoceno propuesta por Tourmarkine y Luterbacher, 1985 y para el Nannoplánton calcáreo la propuesta por Perch-Nielsen ambos en Bolli, y colaboradores, 1985.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los resultados obtenidos en la perforación del pozo Playa Larga 1 por la compañía Sherit s.a, se pudo apreciar que el corte perteneciente a la Formación Vega Alta muestra una litología representada en su mayor por ciento por arcillas a las cuales se le pudo determinar de forma muy precisa la edad. (Fig 2).

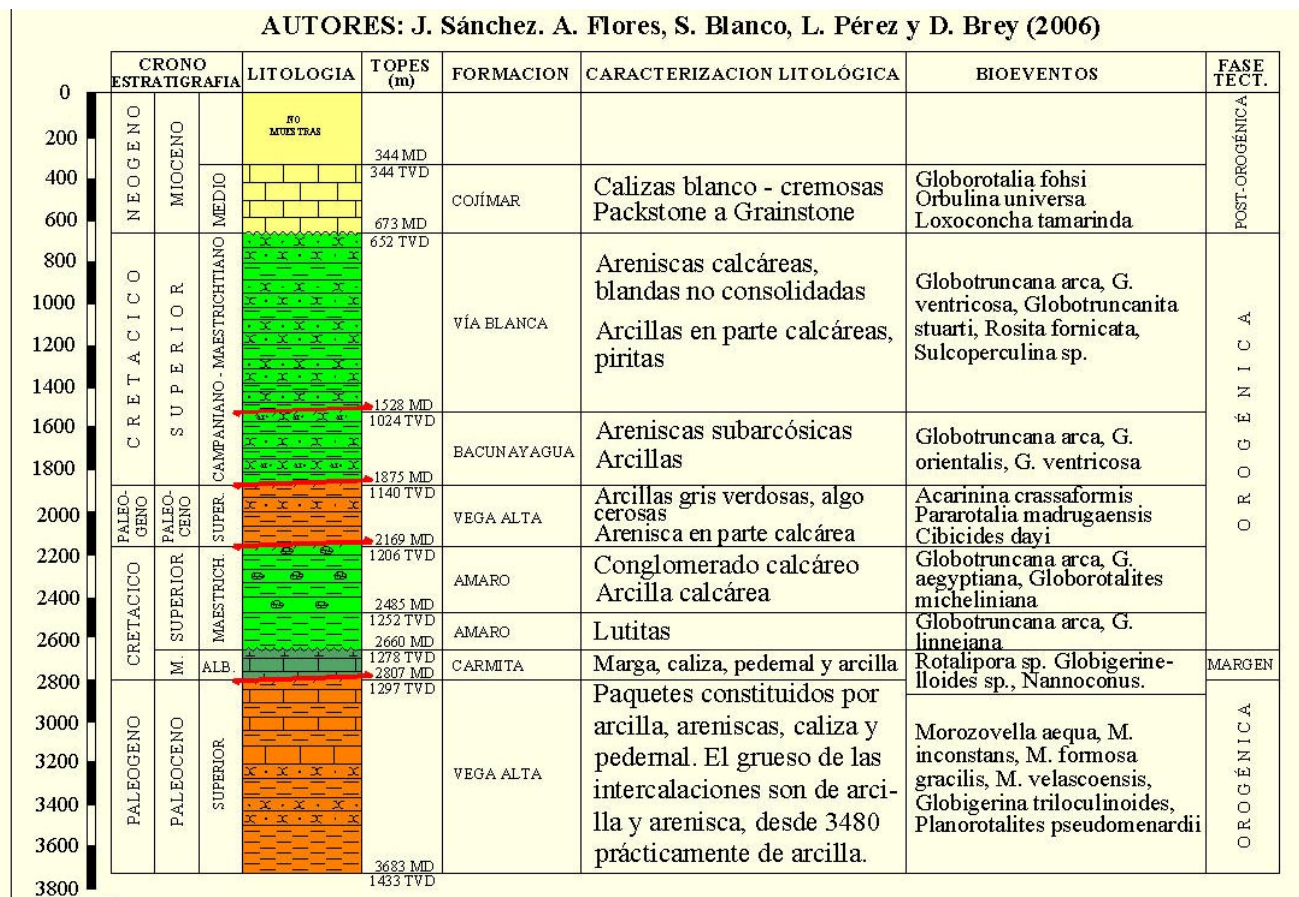


Figura 2. Columna esquemática del pozo Playa Larga 1 confeccionada por Raúl Rodríguez.

A partir de estos resultados se tomaron pozos comprendidos en el área Varadero- Cárdenas, ya perforados anteriormente los cuales cortaron sedimentos pertenecientes a dicha Formación y se analizó su litología y bioeventos.

La tabla I muestra los resultados obtenidos

Los sedimentos arcillosos de la Formación Vega Alta en todos los pozos estudiados en esta área son de edad Paleoceno Superior. Esto corrobora lo ya visto anteriormente por Hernández en el 2003,

donde en el área Jibacoa- Seboruco, los paquetes arcillosos muestran esta misma edad (Comunicación personal).

La asociación fósil esta determinada fundamentalmente por el género *Morozovella* con sus especies características del Paleoceno Superior-Eoceno Inferior. Este género es muy importante en la datación de sedimentos de esta edad debido a que tuvo una gran diversificación y abundancia de especies a causa de las aguas cálidas presentes en este tiempo, periodo donde los mares alcanzaron las mayores temperaturas. Su rápida tasa evolutiva permite que presenten una distribución estratigráfica restringida lo que permite datar los sedimentos con mayor precisión, unido a su fácil determinación.

También se reportan Radiolarios, Foraminíferos bentónicos pequeños y Nannoplancton calcáreo.

En el pozo Playa Larga 1 estos sedimentos se depositaron al finalizar el Paleoceno Superior, determinado por una asociación de especies del género *Morozovella* que aparecen en este tiempo (*M. subbotinae*, *M. formosa gracilis*, *M. marginodentata*) y que conviven con *Morozovella velascoensis*, la que es indicadora de esta edad en toda su extensión.

La matriz arcillosa que componen las brechas, conglomerados y olistrostromas de dicha Formación no siempre tienen la misma edad. En algunos casos datan del Paleoceno Superior como se observa en los núcleos 8 y 9 con litología de brecha polimictica en el pozo Guásimas 7 y en otros de Eoceno Inferior en los conglomerados polimicticos del pozo Majaguillar 3. Esta edad fue determinada por la Lic. Silvia Blanco a partir de una asociación de Nannoplancton calcáreo característica de la parte media del Terciario.

En el trabajo realizado por Pérez, L. y colaboradores en el 2003 en el área Jibacoa-Seboruco, los sedimentos de la Formación Vega Alta son divididos en tres biofacies a partir de la asociación de grupos fósiles reportados en las mismas. Estas biofacies fueron también caracterizadas por la litología y la edad. En este estudio la asociación de grupo fósil más representada es la compuesta por Foraminíferos planctónicos, Foraminíferos bentónicos pequeños, Nannoplancton calcáreo y Radiolarios. Esta asociación muestra una edad (Paleoceno Superior) y una litología (arcilla) diferente a la propuesta con anterioridad.

A partir de lo que se refiere se considera que realizar determinaciones de biofacies a partir de géneros y especies da una mayor precisión y mayor significado al estudio y permite correlacionar de manera más certera las mismas en un área determinada.

CONCLUSIONES

1. Los sedimentos arcillosos de la Formación Vega Alta en el área Varadero- Cárdenas se depositaron en el Paleoceno Superior lo que corrobora lo obtenido para el área Jibacoa-Seboruco estudiada anteriormente.
2. La matriz arcillosa de brechas, conglomerados y olistrostromas presentes en esta formación poseen distinta edad: Paleoceno Superior y Eoceno Inferior
3. El género *Morozovella* resulta de gran importancia para la datación de sedimentos comprendidos entre el Paleoceno Superior-Eoceno Inferior por su abundancia y diversidad específica en este tiempo.

4. Se deben realizar estudios biofaciales a partir de asociaciones de géneros y especies lo que brinda mayor precisión y significado a la biofacies que se determinen.

RECOMENDACIONES

- ❖ Extender el estudio a otras áreas donde los pozos corten la Formación Vega Alta.
- ❖ Realizar estudios biofaciales en la Formación Vega Alta a partir de asociaciones de géneros y especies.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.

- Bolli, Hans M., J. B. Saunders, K. Perch-Nielsen, 1985, Plankton Stratigraphy.1 (Australia: Press Syndicate of The University of Cambridge): 996 pp.
- Pérez, L., J. Fernández Carmona, J. Hernández León, 2003, Análisis biofacial de la Formación Vega Alta sello regional de la Franja de Crudos Pesados de la costa norte de Cuba, Informe Inédito. Archivo Ceinpet: 6pp.

Tabla I. Litología, Bioeventos y Edad de la Formación Vega Alta en los pozos estudiados

Pozo	Prof. (m)	Litología	Bioeventos	Edad
Varadero 703 (vertical)	1435-1755	Mudstone calcáreo arcilloso, Wackstone fosilífero, roca silíceo arcillosa, limonita poligénica.	<i>Morozovella velascoensis</i> <i>Globigerina</i> sp Radiolarios	Paleoceno Superior
Varadero W 708 (dirigido)	1960-2355	Típica de arcilla con fracción polimíctica arenoso-conglomerática. Predominio de pedernales de variados colores y distintos tipos de rocas arcillosas y margosas.	<i>Morozovella velascoensis</i> <i>Morozovella</i> sp <i>Globotruncanita</i> sp (red.) Radiolarios	Paleoceno Superior con red. del Cretácico Superior campaniano-maastrichtiano
Marbella Mar 1 (vertical)	920-1294	Limoargilita, arenisca polimíctica, pedernal, caliza muy arcillosa.	<i>Morozovella aequa</i>	Paleoceno Superior-Eoceno Inferior
Litoral 3 (dirigido)	1366-1371	Lavado de argilita y limolita	<i>Morozovella velascoensis</i> (muy abundantes), <i>Morozovella aequa</i> , <i>Morozovella conicotruncata</i> , <i>Planorotalites pseudomenardii</i> , <i>Planorotalites compressa</i>	Paleoceno Superior
Guásimas 7 (vertical)	2880-3150	Brecha polimíctica de matriz arcillosa	N 8 <i>Morozovella acuta</i> , <i>Morozovella marginodentata</i> N 9 <i>Morozovella angulata</i> , <i>Morozovella marginodentata</i>	Parte mas alta Paleoceno Superior-Eoceno inferior basal con redeposición del Cretácico Inferior aptiano-albiano Paleoceno Superior con redeposición del Cretácico
Cupey 1X	890-930	Intercalaciones de rocas siliciclásticas y carbonatos incluyendo areniscas margosas, conglomerados, caliza, limolita, detritos volcánicos, caliza margosa, pizarra y arcilla.	<i>Morozovella subbotinae</i> , <i>Morozovella aequa</i> , <i>Morozovella conicotruncata</i> , <i>Morozovella formosa</i> , <i>Morozovella angulata</i> , <i>Morozovella acuta</i> <i>Planorotalites chapmani</i> <i>Globotruncanita</i> sp, <i>Heterohelix</i> sp. <i>Discoaster multiradiatus</i> , <i>F. tympaniformis</i> , <i>T pertusus</i> Radiolarios	Paleoceno Superior

Majaguillar 1	935-1550	935-1320 conglomerado polimíctico con fragm. De calizas diversa, pedernales, efusivos, intrusitos y serpentinitas. N 2 (1151-1156) Brecha Conglomerado 1320-1550 Intercalaciones de claystone calcáreo con intercalaciones de calcarenita, arcilla-argilita, pedernal y calizas. N 3 (1320-1325)	<i>Morozovella aequa</i> , <i>Morozovella angulata</i> , <i>Planorotalites pseudomenardii</i> Radiolarios	Cretácico Superior campaniano-maastrichtiano Paleoceno Superior
Majaguillar 2 (vertical)	1023-1155	1023-1135 Intercalaciones de claystone calcáreo. Pedernal radiolárico arcilloso y caliza friable. N 59 (1075) pedernal arcilloso piritizado. N 58 (1103) Intercalaciones de argilita-claystone limoso y creta de cocolitos. N 57 (1107) Coquina de Foraminíferos con intraclastos con elevada porosidad intrafósil. N 56 (1120) Mudstone calcáreo dolomítico 1135-1155 Conglomerado polimíctico con fragm. de cuarzo, pedernal y calizas diversas.	Radiolarios bien preservados Cocolitos del grupo I, <i>Globigerina</i> spp. <i>Nannoconus</i> s.l. (red), Radiolarios <i>Morozovella</i> spp, <i>Globigerina</i> spp 1110 (lavado) <i>Morozovella velascoensis</i> , <i>Morozovella aequa</i> , <i>Acarinina</i> spp, <i>Globotruncanita</i> spp. Radiolarios 1140 (lavado) <i>Globigerina</i> ayalai	Según Informe prob., Eoceno Inferior-Medio Paleoceno-Eoceno Medio Paleoceno-Eoceno Inferior. Paleoceno Superior con red. del Cretácico Superior campaniano-maastrichtiano Indet Eoceno Inferior
Majaguillar 3 (dirigido)	1140-1285	1140-1220 Conglomerado polimíctico, escaso pedernal 1220-1285 Pedernal blanco y verde claro	1210 (ditches) <i>Tribrachiatulus orthostylus</i> , <i>Discoaster binodosus</i> , <i>Discoaster</i> spp., <i>Sphenolithus radians</i>	Eoceno Inferior Indet

Majaguillar 21 (dirigido)	933-1265	<p>933-1120 Calcilutita, biocalcarenita, pedernal</p> <p>1120-1265 conglomerados polimicticios, grauvaca, pedernal arcilloso N1 1211-1212 Intercalaciones de caliza arcillosa, claystone y arcilla argilita.</p>	<p><i>Morozovella velascoensis</i>, <i>Morozovella aequa</i>, <i>Morozovella conicotruncana</i>, <i>Morozovella marginodentata</i>, <i>Morozovella angulata</i>, <i>Acarinina pseudotopilensis</i> Radiolarios</p>	Paleoceno Superior
Playa larga 1	1885-3440	<p>1885-2169 Arcilla , Arenisca, limonita</p> <p>2807-3683 Se compone principalmente de arcilla con intercalaciones de arenisca con menor cantidad de caliza y pedernal</p>	<p><i>Acarinina crassaformis</i>, <i>Morozovella sp</i>, <i>Pararotalia madruensis</i>, <i>Cibicides dayi</i>, <i>Discoaster sp.</i>, Radiolarios</p> <p><i>Morozovella tipo formosa</i>, <i>Morozovella subbotinae</i>, <i>Morozovella formosa gracilis</i>, <i>Morozovella aequa</i>, <i>Morozovella acuta</i>, <i>Morozovella velascoensis</i>, <i>Planorotalites chapmani</i>, <i>Globotruncana sp</i>, <i>Globotruncanita sp</i>, <i>Pararotalia madruensis</i>, <i>Boldia sp</i>,</p>	<p>Paleoceno Superior con red del Cretácico Medio</p> <p>Parte mas alta Paleoceno Superior con red. del Cretácico Superior campaniano-maastrichtiano</p>



CAMBIOS CLIMATICOS ABRUPTOS EN LA TRANSICION PLEISTOCENO-Holoceno A PARTIR DE PALEOREGISTROS ISOTOPICOS. CASOS DE ESTUDIO CON ESPELEOTEMAS.

Jesús M. Pajón¹

⁽¹⁾ Instituto Cubano de Antropología. Departamento de Arqueología. Amargura No. 203, e/n Habana y Aguiar, Habana Vieja, Ciudad de La Habana, Cuba, CP: 10 100. Email: ican@ceniai.inf.cu
Grupo Espeleológico Martel de la Sociedad Espeleológica de Cuba.

RESUMEN

Los cambios abruptos de temperatura en el sistema climático de la tierra ocurridos en los últimos 18 ka (Ultimo Máximo Glacial-Presente), han generado un gran interés en las últimas décadas, especialmente aquellos enmarcados dentro de la transición temporal Pleistoceno-Holoceno. Las espeleotemas y particularmente las estalagmitas, constituyen registros potenciales de alta resolución para las reconstrucciones paleoclimáticas y paleoambientales. Los isótopos estables, particularmente los de oxígeno, han sido ampliamente utilizados para estudiar los cambios climáticos ocurridos durante el Pleistoceno Tardío-Holoceno.

Entre los resultados obtenidos, se pudo establecer una correlación preliminar con los registros isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ (‰ PDB), entre la estalagmita CDANAS-01 (Cueva Dos Anas, Cuba), una estalagmita de la cueva Soreq en Israel y un núcleo de hielo tomado en Groenlandia por la Estación GISP-2 (Greenland Ice Sheet Project 2). Estos ejemplos tipifican sitios representativos de climas de diferentes latitudes (clima tropical húmedo, mediterráneo y polar). En los casos estudiados se determinó el $\delta^{18}\text{O}$ (‰ PDB) para el intervalo de tiempo 0-20 ka A.P. La variación de los contenidos de los isótopos estables de oxígeno en las capas homogéneas de calcita de la estalagmita CDANAS-01, reflejan una diferencia alrededor de 10 °C entre los valores máximo y mínimo de $\delta^{18}\text{O}$, lo que indica un período de calentamiento desde los $15\,330 \pm 50$ años A.P. ($\delta^{18}\text{O} = -0.668$) hasta $4\,540 \pm 40$ años A.P. ($\delta^{18}\text{O} = -2.570$).

Se detectó un calentamiento climático abrupto (muestra CDANAS-01), ocurrido a principios del Holoceno, reportado para diferentes regiones frías del planeta, cuya fase inicial fue datada por AMS- ^{14}C en $11\,520 \pm 50$ años A.P., mientras que los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de -1.168 ($11\,520 \pm 50$ años A.P.) y -2.892 ‰ ($9\,200 \pm 50$ años A.P.) pudieran estar relacionados con la oscilación climática del Young Dryas, pero mas datos de alta resolución se necesitan para confirmar este resultado.

Actualmente se realizan estudios isotópicos con muestras de espeleotemas de cuevas cubanas, con vistas a aumentar el grado de resolución en las determinaciones isotópicas y las cronologías absolutas, así como precisar con exactitud la posible incidencia de las cronozonas establecidas para las regiones frías respecto a las áreas tropicales y subtropicales. Estas investigaciones permitirán establecer nuevos criterios sobre el posible sincronismo y/o tiempos de retardo, así como la magnitud de los cambios climáticos abruptos ocurridos en diferentes áreas hemisféricas debido a las tendencias naturales del planeta.

Palabras Claves: Cambios Climáticos Abruptos, Estalagmitas, Paleoclima, Isótopos Estables, Paleotemperaturas, Pleistoceno Tardío-Holoceno.

ABSTRACT

The temperature abrupt changes in the earth's climatic system of the last 18 000 ky (Last Maximum Glacial-Present), has been generated a strong interest in the last decades, specially, those related with the Pleistocene-Holocene transition. Speleothems, and particularly stalagmites, show strong potential as high-resolution records



for paleoclimatic and paleoenvironmental reconstruction. Stable isotopes and especially oxygen isotope in stalagmites, has been used to study the climatic changes during the Late Pleistocene-Holocene.

In the scope of the obtained results, a preliminary correlation with the $\delta^{18}\text{O}$ (‰ PDB) isotopic records of the stalagmite CDANAS-01 (Dos Anas cave, Cuba), one stalagmite from Soreq cave in Israel and one ice core from the Station GISP-2 in Greenland (Greenland Ice Sheet Project 2) was established. These examples are representative sites of different latitude's climate (moist tropical climate, mediterranean and polar climate). In the study cases, the $\delta^{18}\text{O}$ (‰ PDB) isotopic contents, according the span of time 0-20 ky B.P., was determined. Variations in the content of stable isotopes of oxygen in the homogeneous calcite layers from the stalagmite CDANAS-01 were determined. These results suggest a difference in temperature around of 10 °C between the maximum and minimum $\delta^{18}\text{O}$ values, which records a period of warming between 15, 330 ± 50 yr. B.P. ($\delta^{18}\text{O}$ = -0.668) and 4, 540 ± 40 yr. B.P. ($\delta^{18}\text{O}$ = -2.570).

An abrupt climatic warming (sample CDANAS-01) was detected before the beginning of the Holocene, reported for different cold regions of the world, which initial phase was dated by AMS- ^{14}C to 11 520 ± 50 years B.P. The values of $\delta^{18}\text{O}$ shift from -1.168 (11 520 ± 50 years B.P.) to -2.892 ‰ (9 200 ± 50 years B.P.), could be related to the Younger Dryas climate oscillation, but more high-resolution data are needed to confirm this result.

At present, new isotopic studies with speleothems of Cuban caves are developing, in order to increase the level of resolution in the isotopic and absolute chronologies determinations, as well as, precise the relative influence of the cold region chronozones concerning the tropical and subtropical areas. Such researches will suggest new criterias about the possible synchronism and/or retarded times, as well as, the magnitude of the abrupt climatic changes which took place in different hemispheric areas, due to the natural tendencies of the earth.

Key Words: Abrupt Climate Changes, Stalagmites, Paleoclimate, Stable Isotopes, Paleotemperatures, Late Pleistocene-Holocene.

INTRODUCCION

Los cambios climáticos abruptos ocurridos durante el intervalo Pleistoceno Tardío-Holoceno, inferidos a partir de la utilización de diversos métodos paleoclimáticos y paleoambientales para las diferentes áreas climáticas del planeta, aunque han sido abundantemente estudiados, constituyen en el presente un problema aun no resuelto. Entre algunas de las contribuciones mas significativas en este sentido, pueden citarse los trabajos de: Berger and Labeyrie (1987), Jouzel et al., (1987), Imbrie (1987), Dansgaard et al., (1989), Fairbanks (1989), Alley et al., (1993), Mayewski (1995), Anderson (1996; 1997), Sowers (1998), Severinghaus et al., (1998) y Curtis et al., (2001).

El Chron Younger Dryas (12 900 – 11 500 años A.P., según ^{14}C), que representa la fase final de frío, con condiciones glaciales para Europa y las latitudes altas en ambos hemisferios de las Américas, y condiciones templadas y frías en las áreas tropicales y subtropicales, precedió el calentamiento climático abrupto ocurrido a principios del Holoceno. El Young Dryas marca un regreso a las condiciones frías del tipo Ultimo Máximo Glacial (UMG) y fue seguida por el calentamiento del Ultimo Interstadial Glacial, cuando la deglaciación procedió rápidamente.

Importantes estimaciones de paleotemperaturas obtenidas para el intervalo de tiempo 18 000 años (UMG) – Presente, a través de data y proxy-data en diferentes paleoregistros naturales, indican significativas variaciones de temperatura para el periodo analizado, especialmente los enmarcados en la transición Pleistoceno Tardío-Holoceno y el Young Dryas. Kelly (1981) argumenta que 18 000



años atrás, cuando el Último Máximo Glacial, el nivel del mar estaba al menos 85 m. más abajo que hoy y la corriente del Golfo fluía hacia el Este, a través del Atlántico y se dirigía a la Península Ibérica. La temperatura oceánica en el Atlántico Norte alrededor de las latitudes 40-50° N era 12 °C a 18 °C menor, y en ciertas áreas del Pacífico Norte 6 °C a 10 °C también inferior (Vivas, 1992). Por otra parte, los estudios sobre el contenido de CH₄ y el $\delta^{15}\text{N}$ en muestras de aire atrapadas en núcleos de hielo de la estación GISP-2 en Groenlandia, indican que durante el Younger Dryas la temperatura en esa región fue 15 ± 3 °C más fría que en el presente (Severinghaus et al., 1998).

Sobre la base de un drástico aumento en las velocidades de acumulación de hielo observadas en testigos de hielo de la Estación GISP-2 (Groenlandia) durante el periodo de transición Young Dryas/PreBoreal, Alley et al., (1993) argumentaron un incremento de la temperatura media anual sobre Groenlandia de 7 °C para explicar este cambio, lo cual es confirmado por las estimaciones de $\delta^{18}\text{O}$ obtenidas por Dansgaard et al., (1989).

Las espeleotemas son uno de los más importantes paleoregistros naturales, y constituyen un archivo natural de excepcional valor para el estudio de los cambios climáticos y la variabilidad del clima en el pasado geológico. Las bandas de crecimiento anual de las estalagmitas constituyen registros paleoclimáticos de alta resolución. Cuando la calcita ha sido depositada sobre una espeleotema en equilibrio isotópico con el agua subterránea, la variación en la composición o actividad de los isótopos de oxígeno de la calcita ocurrirá solo si ha existido variación en el clima, de manera que entonces la espeleotema podrá ser utilizada como indicador paleoclimático.

Importantes datos y estimaciones derivadas de los registros isotópicos de alta resolución en espeleotemas de cavidades localizadas en todos los climas terrestres, han contribuido a caracterizar los cambios climáticos ocurridos desde el UMG hasta el Presente. De especial interés, entre otros, han sido los trabajos desarrollados, según diferentes aproximaciones, en las últimas décadas por: Harmon et al., (1975), Gascoyne et al., (1978), Harmon and Curl (1978) Atkinson et al., (1978), Ford et al., (1983), Schwarcz and Yonge (1983), Bakalowicz et al., (1987), Li et al., (1989), Ming and Tungsheng (1995), Bar-Matthews et al., (1997), Antonioli et al., (1998a), Antonioli et al., (1998b), Antonioli and Leoni (1998), (Pajón et al., (1999), Pajón et al., (2001a), Pajón et al., (2001b), Niggemann et al., (2003), Fleitmann et al., (2003), Frisia (2003), Stenni (2003), Borsato and Forti (2003), Borsato et al., (2003), Wurth et al., (2004), Holzkämper et al., (2005), Mangini et al., (2005) y Pajón et al., (2006).

MATERIALES Y METODOS.

Una estalagmita de tipo climática ($p\text{CO}_2/\text{Caudal de goteo} \gg 1$) fue extraída como muestra de la cueva de las Dos Anas (estalagmita CDANAS-01), en el Sistema Cavernario Majaguas (Sierra de San Carlos, Pinar del Río, Cuba) (Figura 1), a la cual se determinó según las diferentes bandas de crecimiento, la composición isotópica de ^{18}O y ^{13}C . De igual forma, se realizó la datación de la estalagmita mediante AMS- ^{14}C . El punto de muestreo está ubicado a pocos metros antes del Salón Feo, en la galería Carlos Roloff de la cueva Dos Anas, la cual tiene un funcionamiento hidrogeológico merofósil, solo con actividad del drenaje autóctono en la actualidad. Una caracterización preliminar



del karst de la Sierra de San Carlos y datos sobre el funcionamiento paleohidrológico del sistema cavernario Majaguas-Cantera puede verse en Acevedo y Gutiérrez (1970; 1976), Acevedo y Valdés (1974) y Pajón, et al., (1999).

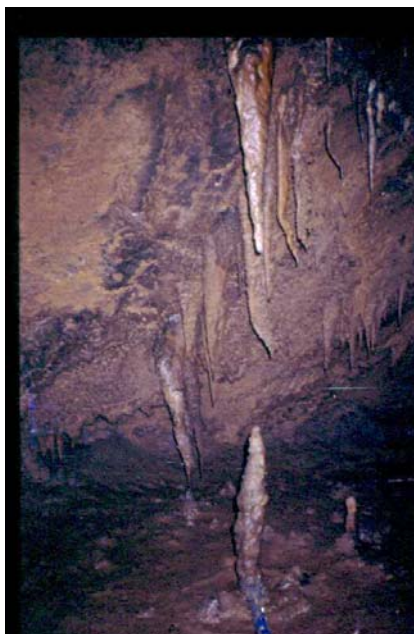


Figura 1. Ubicación de la estalagmita CDANAS-01 en la galería Roloff de la cueva Dos Anas, Sierra de San Carlos, Pinar del Río, Cuba. (Fotografía: Jesús M. Pajón).

La estalagmita CDANAS-01, de 42 cm. de altura, fue cortada en dos secciones a lo largo del eje longitudinal, con el objetivo de exponer la estructura interna con sus bandas de crecimiento. Con un taladro eléctrico con diámetro de 1 mm, se extrajeron 9 muestras de 100 mg c/u en las capas homogéneas de calcita a lo largo del eje de crecimiento y con una separación entre muestras de 50 cm.

Los análisis de isótopos estables de oxígeno y carbono, se realizaron con una cantidad entre 0.5-1.0 mg de submuestras de calcita, las cuales fueron previamente molidas hasta un fino tamaño de partícula. Las muestras de carbonato fueron disueltas con ácido ortofosfórico al 100% (McCrea, 1950) y a 90 °C en un sistema automático de preparación de carbonatos, y el CO₂ obtenido durante la reacción fue analizado en un espectrómetro de masa VG Isogas Prisma. La desviación standard para 330 análisis de polvo de coral (COR1D-standard), corrida en una muestra durante un período de 9 meses fue 0.03% para el ¹³C y 0.08% para el ¹⁸O. Todos los valores isotópicos de los carbonatos han sido corregidos para interferencias isobáricas y han sido referidos respecto al standard PDB. Las determinaciones isotópicas fueron realizadas de forma duplicada; un grupo de muestras fue analizado en el Laboratorio de Isótopos Estables del Departamento de Geología y Geofísica en la Universidad de Edimburgo, mientras que el segundo fue analizado en el Laboratorio de Espectrometría de Masa para Isótopos Estables del Departamento de Geología de la Universidad de la Florida, Gainesville, donde además se efectuaron dataciones isotópicas por AMS-¹⁴C (Pajón et al., 2001b; Pajón et al., 2006).

La información referente a los registros isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ (‰ PDB), de la estalagmita de la cueva Soreq en Israel y un núcleo de hielo tomado en Groenlandia por la Estación GISP-2 (Greenland Ice Sheet Project 2), fue obtenida a partir del análisis de la bibliografía especializada en el tema (Bar-Matthews et al., 1997; Anderson, 1997; Sowers, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSION

Geoquímica de Isótopos Estables de Oxígeno.

El oxígeno (Z = 6) es el elemento químico mas abundante en la corteza de la tierra y se combina con el hidrogeno para formar el agua (H₂O). El oxígeno tiene tres isótopos estables, cuyas abundancias



aproximadas son: $^{16}\text{O} = 99.7630 \%$, $^{17}\text{O} = 0.0375 \%$ y $^{18}\text{O} = 0.1995 \%$. El hidrogeno ($Z = 1$) tiene dos isótopos estables cuyas abundancias aproximadas son: $^1\text{H} = 99.9844 \%$ y $^2\text{H} = 0.0156 \%$, conocido como deuterio. El tercer isótopo del hidrogeno es el ^3H (Tritio), el cual es radiactivo y tiene un tiempo de vida medio de 12.26 años. El carbono tiene dos isótopos estables con abundancias: $^{12}\text{C} = 98.89 \%$ y el $^{13}\text{C} = 1.11 \%$. El tercer isótopo de carbono es el ^{14}C , el cual es radiactivo y tiene un tiempo de vida medio de $5\,730 \pm 40$ años.

Las composiciones isotópicas de oxígeno y deuterio son reportadas en términos de las diferencias de las relaciones $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ y D/H respecto a un Standard Primario Internacional, el SMOW (Standard Medio del Agua Oceánica) para el caso de estudio de aguas y el Carbonato Standard PDB (Belemnita Cretácica de CaCO_3 hallada en la formación Pee Dee en Carolina del Sur) para el caso de estudio de carbonatos.

Cuando el CaCO_3 es precipitado en equilibrio con el agua, según la clásica reacción del sistema CO_2 - H_2O - CaCO_3 , entonces es posible determinar la temperatura de formación de la espeleotema (paleotemperatura) según la expresión (Craig, 1965):

$$T\text{ }^{\circ}\text{C} = 16.9 - 4.38(\delta^{18}\text{O}_{\text{calcita}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{agua}}) + 0.10(\delta^{18}\text{O}_{\text{calcita}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{agua}})$$

donde:

$\delta^{18}\text{O}_{\text{calcita}}$: Composición isotópica de Oxígeno en la muestra de calcita.

$\delta^{18}\text{O}_{\text{agua}}$: Composición isotópica de Oxígeno en la muestra de agua.

$T\text{ }^{\circ}\text{C}$: Temperatura en grados Celcius.

y

$$\delta_c = \left[\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_c - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{std}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{STD}}} \right] \cdot 1000$$

donde:

δ se expresa como partes por mil (‰) y los dos Standard primarios empleados para el sistema carbonato-agua son:

- ✓ El SMOW (Standard Medio del Agua Oceánica), que es el agua Standard para el cual $\delta^{18}\text{O} = \delta^2\text{H}$
- ✓ El PDB (Belemnite Pee Dee), que es el carbonato Standard donde $\delta^{13}\text{C} = \delta^{18}\text{O} = 0$. Este último se emplea en el trabajo.

Pajón et al., (1999), Pajón et al., (2001a), Pajón et al., (2001b) y Pajón et al., (2006), estudiaron mediante isótopos estables de oxígeno y carbono, así como dataciones isotópicas por AMS- ^{14}C , una estalagmita de 42 cm. de altura (CDANAS-01) extraída de la cueva Dos Anas en la sierra de San Carlos (Sierra de los Organos, Pinar del Río, Cuba), a partir de cuyos resultados se obtuvieron



inferencias sobre el comportamiento paleoclimático del sector de montaña estudiado, desde el Último Máximo Glacial hasta el Presente.

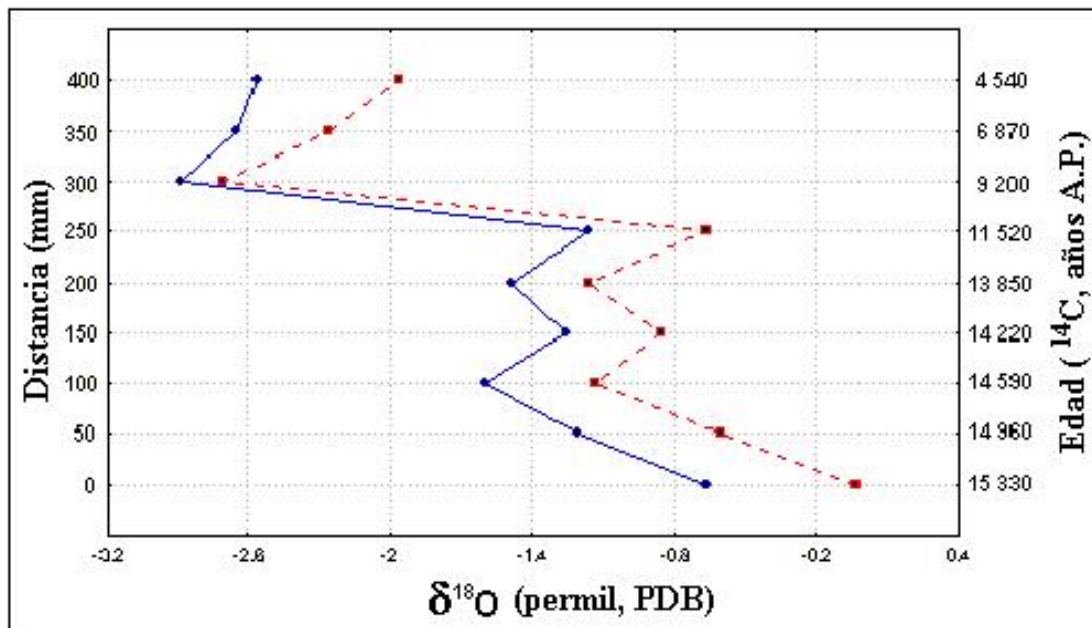


Figura 2. Composición isotópica de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$ - ‰ PDB) de la estalagmita CDANAS-01 de la cueva Dos Anas, referidas a la altura (mm) y las dataciones AMS- ^{14}C de los puntos muestreados (1-9), según los resultados de los Laboratorios de Escocia (rayas continuas) y Florida (rayas discontinuas) (Pajón et al., 2001; Pajón et al., 2006).

En la Figura 2, se presenta la variación del $\delta^{18}\text{O}$ (‰ PDB), (Laboratorios de Escocia y Florida), con la altura (mm) en la estalagmita estudiada de la cueva Dos Anas, referida a las dataciones mediante AMS- ^{14}C para los puntos muestreados (1-9). La composición isotópica del Oxígeno de la estalagmita cambia en el tiempo hacia valores isotópicamente más ligeros, desde la muestra 1 (más vieja) hacia la muestra 9 (más joven), apreciándose un cambio muy notable entre las muestras 6 y 7. La tendencia general en el comportamiento del $\delta^{18}\text{O}$, indica un evidente calentamiento desde hace 15 330 años A.P. hasta el presente. Teniendo en cuenta que el cambio en la composición isotópica se debe en gran medida a la temperatura, la magnitud del cambio en el caso estudiado tiene un valor medio de 9.5 °C, para una relación de 0.21 permil/°C.

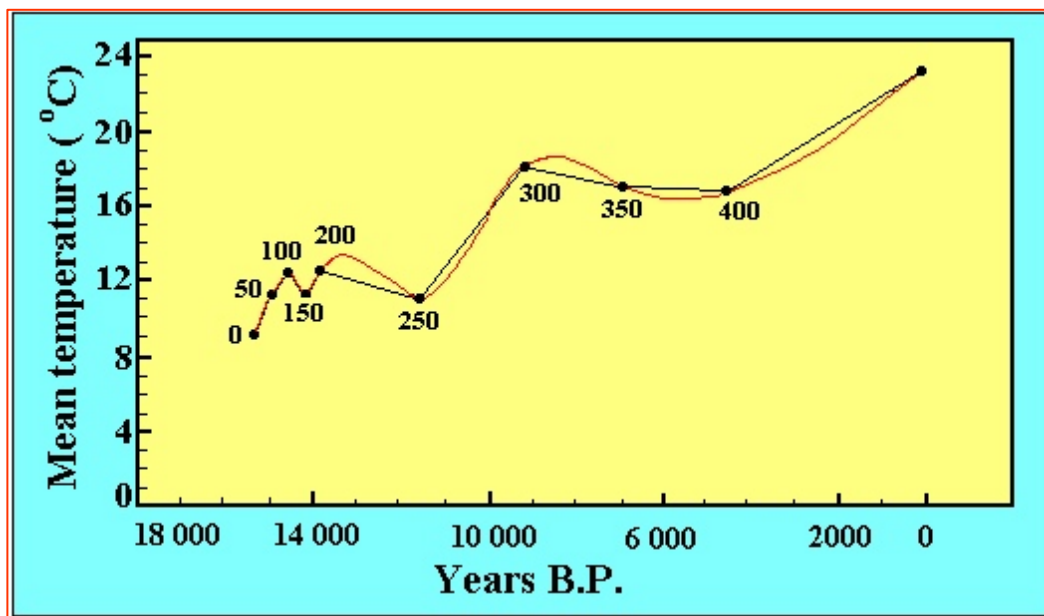


Figura 3. Curva de paleotemperaturas (P_T) isotópicas desde el UMG hasta el presente, obtenidas a partir de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ en las muestras 1-9 tomadas en la estalagmita CDANAS-01 de la cueva Dos Anas.

A partir de los contenidos isotópicos de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$ - ‰ PDB) de la estalagmita CDANAS-01 de la cueva Dos Anas, referidas a la altura (mm) y las dataciones AMS- ^{14}C obtenidas en las capas de crecimiento, Pajón et al., (2006) obtuvieron una curva de paleotemperaturas desde hace 15 330 años hasta el presente (Figura 3), la cual muestra una tendencia al aumento de las temperaturas hasta la actualidad, así como una diferencia de temperaturas de 8-10 °C entre los valores máximo y mínimo de $\delta^{18}\text{O}$, que indica un período de calentamiento desde los $14\,960 \pm 50$ años A.P. hasta $4\,540 \pm 40$ años A.P. y pone de manifiesto la influencia de la extensión y magnitud de los enfriamientos continentales ocurridos durante el Último Máximo Glacial sobre los ecosistemas de la franja tropical-subtropical. Se detectó un calentamiento climático abrupto ocurrido a principios del Holoceno, cuya fase inicial fue datada por ^{14}C en $11\,520 \pm 50$ años A.P., observándose la variabilidad climática dentro de la tendencia general al calentamiento.

Tabla I. Valores de paleotemperaturas obtenidas a partir de los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{calcita}}$ en la estalagmita CDANAS-01 de la cueva Dos Anas (valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{agua}}$ tomados como referencia).



M.	ALT. (mm)	Edad $\pm 1\sigma$ ^{14}C (años) Florida LAB	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) Escocia LAB	$\delta^{18}\text{O}_a$		$\delta^{18}\text{O}$ (‰) Florida LAB	$\delta^{18}\text{O}_a$	
				-2,62	-3,26		-2,62	-3,26
				$P_T(^{\circ}\text{C})$	$P_T(^{\circ}\text{C})$		$P_T(^{\circ}\text{C})$	$P_T(^{\circ}\text{C})$
1	0	15 330	-0.668	9.2	6.9	-0.03	6.9	4.7
2	50	14 960	-1.212	11.2	8.5	-0.61	9.0	6.7
3	100	14 590	-1.602	12.7	10.3	-1.14	10.9	8.6
4	150	14 220	-1.260	11.4	9.2	-0.86	9.4	7.5
5	200	13 850	-1.489	12.3	9.9	-1.17	11.1	8.7
6	250	11 520	-1.168	11.1	8.7	-0.67	9.0	6.9
7	300	9 200	-2.892	18.0	15.4	-2.71	17.3	14.6
8	350	6 870	-2.651	17.0	14.3	-2.26	15.4	12.8
9	400	4 540	-2.570	16.7	14.1	-1.96	14.1	11.3

En la Tabla I, se presentan los resultados de los valores de paleotemperaturas (P_T) obtenidas a partir de los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{calcita}}$ de las muestras 1-9 tomadas en la estalagmita CDANAS-01 de la cueva Dos Anas, así como los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{agua}}$ tomados como referencia. Los valores de P_T calculados son referidos a las dataciones AMS- ^{14}C y las alturas correspondientes en la estalagmita. Nótese el incremento sostenido de los valores de paleotemperaturas, desde la muestra 1 hacia la muestra 9.

Se puede resumir, que los registros de paleotemperaturas a partir de unos $15\,330 \pm 50$ años A.P., obtenidos del estudio de la composición isotópica de oxígeno en un conjunto de muestras de la espeleotema, indican que el clima en el área kárstica de montaña de la Sierra de los Órganos (Cuba Occidental, provincia Pinar del Río (200-300 m de altitud s.n.m.) fue entre 8-10 °C más frío durante el Último Máximo Glacial que el Presente Interglacial (Actual). Los resultados encontrados están en concordancia con lo planteado por Stute et al., (1995) Figura 6) sobre un relativo enfriamiento uniforme de las Américas entre los 40° S y los 40° N. Además, los valores de P_T obtenidos son consistentes con los registros de polen, las reconstrucciones de las líneas de nieves, las relaciones Sr/Ca y los registros de $\delta^{18}\text{O}$ en corales, para las áreas de estudio cercanas.

Cambio Climático Abrupto en la transición Pleistoceno Tardío-Holoceno.

Los cambios abruptos de temperatura en el sistema climático de la tierra han generado un gran interés en la última década, especialmente aquellos cambios abruptos ya sea de corto o largo periodo, enmarcados dentro de la transición temporal Pleistoceno-Holoceno.

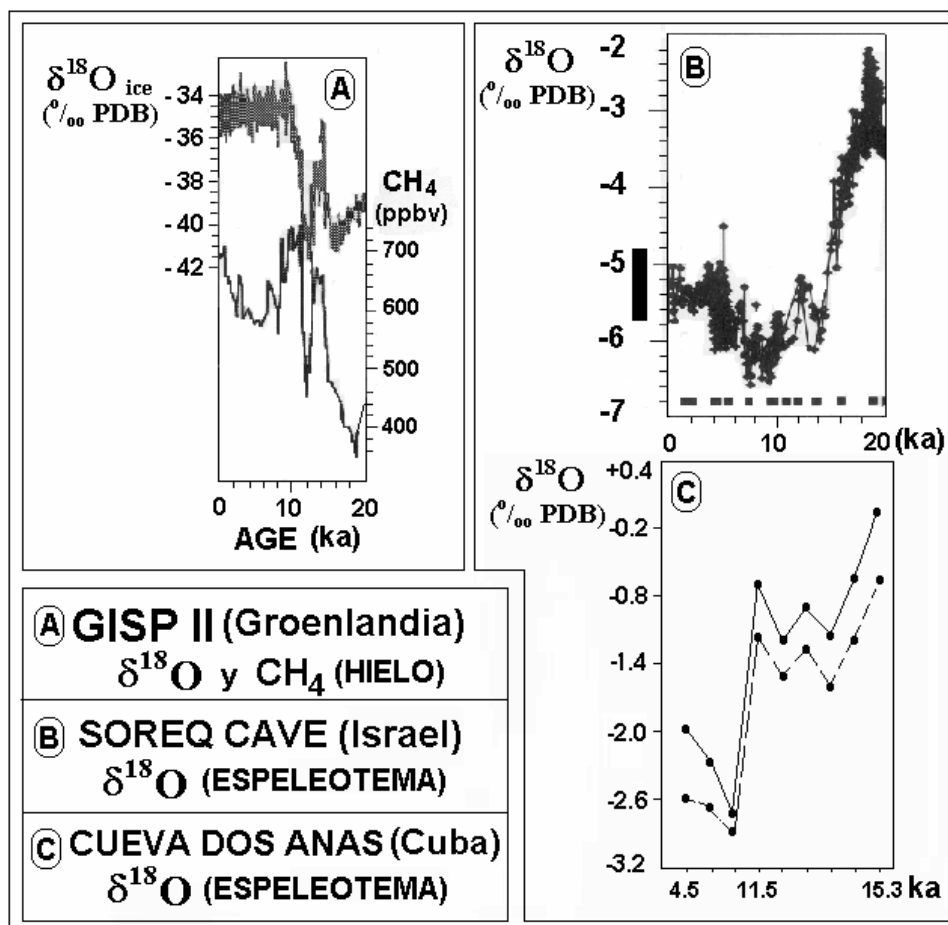


Figura 4. Registros de las variaciones del $\delta^{18}\text{O}$ (‰ PDB) en muestras de testigos de hielo de Groenlandia Central (A) (Sowers, 1998 - Estación GISP-2), y espeleotemas de Soreq Cave en Israel (B) (Bar-Matthews et al., 1997) y la Cueva Dos Anas en Cuba (C) (Pajón et al., 2001). Cambio Climático Abrupto en la Transición Pleistoceno Tardío-Holoceno.

A partir del estudio de registros instrumentales e históricos de temperatura en Cuba, dentro del Holoceno reciente y específicamente en los períodos históricos y recientes, Celeiro (1999), detectó la incidencia en Cuba del enfriamiento climático abrupto conocido como "Pequeña Edad de Hielo", el cual se reporta para Europa y Norteamérica para el periodo 1450-1890, y tiene su repercusión en Cuba en el intervalo 1600-1900. Este periodo de enfriamiento fue precedido de la etapa de calentamiento ocurrido en los siglos 12 y 13, denominada como "Período Cálido Medieval". Estos excelentes resultados ponen de manifiesto la incidencia en Cuba de los cambios climáticos abruptos de corto período, ocurridos en las áreas frías del planeta, y muestran al mismo tiempo como periodos



de enfriamiento se insertan dentro de la tendencia general al calentamiento, que tiene lugar desde el Último Máximo Glacial.

En la Figura 4, se presentan los resultados obtenidos a partir de los estudios isotópicos realizados con muestras de espeleotemas y testigos de hielo, tomados en sitios representativos de climas de diferentes latitudes. El núcleo de hielo fue tomado en Groenlandia por la Estación GISP-2 (Greenland Ice Sheet Project 2), lo cual representa la zona climática polar (Anderson, 1997; Sowers, 1998). Las espeleotemas estudiadas corresponden a las cuevas Soreq (Israel) (Bar-Matthews et al., 1997) y Dos Anas (Cuba) (Pajón et al., 1999) zonas representativas de climas mediterráneos y tropicales húmedos respectivamente. En los tres casos estudiados se determinó el $\delta^{18}\text{O}$ (‰ PDB) para el intervalo de tiempo comprendido entre los últimos 0-20 ka, determinándose adicionalmente el contenido de CH_4 en el caso de la muestra de hielo.

Los registros isotópicos de oxígeno de las muestras analizadas, que cubren los últimos 20 ka, reflejan las variaciones climáticas regionales en las regiones arriba referidas. La alta precisión en las determinaciones de las edades, permiten establecer una correlación, al menos preliminar, de las series isotópicas de tiempo entre los casos estudiados, así como con otros registros globales.

En los tres gráficos (A, B y C) que componen la Figura 4, se observa el cambio climático iniciado hace unos 18 000 años A.P. (18 ka a 8.5-9.0 ka, equivalente al período de deglaciación), con una marcada tendencia al calentamiento, lo cual aparece bien fundamentado con la tendencia a la disminución de los valores del $\delta^{18}\text{O}$ (‰ PDB) para el caso de las espeleotemas, así como el aumento del $\delta^{18}\text{O}$ (‰ PDB) para la muestra de hielo (se invierte el valor del $\delta^{18}\text{O}$ para el caso de muestras líquidas, según la teoría del fraccionamiento isotópico).

En todos los gráficos se observa claramente la ocurrencia del calentamiento climático abrupto ocurrido a principios del Holoceno (Transición Pleistoceno Tardío-Holoceno), el cual a su vez fue precedido por otro cambio climático abrupto que duró unos 1000 años, etapa conocida como el "Younger Dryas", la cual marca las condiciones glaciales a finales del Pleistoceno. El estudio detallado de la curva isotópica de la Estación GISP-2, pone de manifiesto la existencia de cronozonas intercaladas en el periodo estudiado (Bolling, Older Dryas, Allerod y Younger Dryas), mientras que en los casos de Soreq Cave y la cueva Dos Anas la caída abrupta entre 3-5 ‰ parece sugerir la presencia e influencia del Younger Dryas. Los datos isotópicos correspondientes a la estalagmita de Dos Anas no permiten precisar o definir la presencia del Young Dryas, para lo cual se necesitan mas determinaciones de alta resolución entre las muestras 5 y 7 (13 850-9 200 años). Actualmente, se realizan estudios isotópicos con muestras de espeleotemas de cuevas cubanas, con vistas a aumentar el grado de resolución en las determinaciones, así como precisar con exactitud la posible ocurrencia de los cronozonas establecidas para las regiones frías. Al mismo tiempo, estas nuevas investigaciones permitirán establecer nuevos criterios sobre el posible sincronismo y la magnitud de los cambios climáticos abruptos en diferentes áreas hemisféricas.



CONCLUSIONES

Los registros isotópicos de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$ - ‰ PDB) de la estalagmita CDANAS-01 de la cueva Dos Anas, desde hace $15\,330 \pm 50$ años A.P. hasta el Presente indican la existencia de una variabilidad climática desde el UMG hasta el presente, con una tendencia general al calentamiento. Las estimaciones de paleotemperaturas y la asunción de una relación de 0.21 permil/°C, indican que el clima en el área kárstica de montaña de la Sierra de los Órganos (Cuba Occidental, provincia Pinar del Río (80-300 m de altitud s.n.m.) fue entre 8-10 °C más frío durante el Último Máximo Glacial que el Presente.

Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ de la estalagmita de la cueva Dos Anas comprendidos entre -1.168 ($11\,520 \pm 50$ años A.P.) y -2.892 ‰ ($9\,200 \pm 50$ años A.P.) enmarcan temporalmente el calentamiento climático abrupto ocurrido a principios del Holoceno, reportado para diferentes regiones frías del planeta. La fase inicial del calentamiento es datada por AMS ^{14}C en $11\,520 \pm 50$ años A.P., pero mas datos de alta resolución se necesitan para confirmar este resultado.

Se estableció una correlación preliminar con los registros isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ (‰ PDB) que cubren los últimos 20 ka, entre la estalagmita CDANAS-01 (Cueva Dos Anas, Cuba), una estalagmita de la cueva Soreq en Israel y un núcleo de hielo tomado en Groenlandia por la Estación GISP-2, que tipifican sitios representativos de climas de diferentes latitudes, observándose el cambio climático iniciado hace unos 18 000 años A.P. (18 ka a 8.5-9.0 ka, equivalente al período de deglaciación), con una marcada tendencia al calentamiento. En todos los gráficos de las series isotópicas temporales, se observa claramente la ocurrencia del calentamiento climático abrupto ocurrido a principios del Holoceno (Transición Pleistoceno Tardío-Holoceno).

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi gratitud a Jason Curtis y Tom Guilderson, del Laboratorio de Espectrometría de Masa para Isótopos Estables del Departamento de Geología de la Universidad de la Florida, Gainesville, por su valiosa ayuda en los análisis de isótopos estables y las dataciones AMS- ^{14}C , de igual forma a Sandy Tudhope y Collin Chilcot por las también valiosas determinaciones isotópicas en el Laboratorio de Isótopos Estables del Departamento de Geología y Geofísica en la Universidad de Edimburgo. De igual forma, mi sincero agradecimiento a mis colegas de las exploraciones espeleológicas Gabriel García, Ismael Hernández, Jorge Macle, Vladimir Otero, Leonardo Flores, Ernesto Flores, Manuel Rivero y Efrén Jaimez por su asistencia en los trabajos de campo.

BIBLIOGRAFIA

Acevedo, G.M., y Gutiérrez, R.D., 1970. La Región de Sumidero y sus inmediaciones, Sierra de los Organos, Pinar del Río, Cuba. Revista Tecnológica IX, (3-4), pp. 33-54.



- Acevedo, M., y Valdés, J., 1974. Introducción de métodos geomorfológicos e hidrogeológicos cuantitativos en la evaluación de sistemas cavernarios: Aplicación al Sistema Majaguas-Cantera, Pinar del Río, Cuba. *Revista Tecnológica*. La Habana, vol. 12, pp. 29-39.
- Acevedo, M y R. Gutiérrez. 1976. El Sistema Cavernario Majaguas-Cantera. *Revista Voluntad Hidráulica*, 13:18-30. La Habana.
- Alessio, M., Allegri, L., Antonioli, F., Belluomini, G., Improta, S., Manfra, L. E Preite, M., 1994. La curva di risalita del Mare Tirreno negli ultimi 43 ka ricavata da datazioni su speleotemi sommersi e dati archeologici. Volume degli Abstract di Geosub'94, Palinuro 8-10 Giugno 1994. In stampa (1997) sulle Memorie Descrittive del Servizio Geologico Nazionale, 52 pp.
- Alley, R., B., Meese, D., A., Shuman, C. A., Gow, A. J., Taylor, K, C., Grootes, P. M., White, J. W., C., Ram, M., Waddington, E, D., Mayewski, P. A., and Zielinski, G. A., 1993. Abrupt increase in Greenland snow accumulation at the end of the Younger Dryas event. *Nature* 363, pages. 527-529.
- Anderson, D. E., 1996. Abrupt Holocene climatic change recorded in terrestrial peat sequences from Western Ross, Scotland. Unpublished Dphil. Thesis, University of Oxford.
- Anderson, D. E., 1996. Younger Dryas research and its implications for understanding abrupt climatic change. *Progress in Physical Geography* 2, pages. 230-249.
- Antonioli, F., Borsato, A., Frisia, S., e Silenzi, S., 1998a. L'uso degli speleotemi per ricostruzioni paleoclimatiche e variazioni del livello del mare. *Il Quaternario*, Italian Journal of Quaternary Sciences, 11 (1), pp. 67-78.
- Antonioli, F., e Leoni, G., 1998. Siti Archeologici Sommersi e Loro Utilizzazione Quali Indicatori Per lo Studio Delle Variazioni Recenti Del Livello Del Mare.. *Il Quaternario*, Italian Journal of Quaternary Sciences, 11 (1), pp. 53-66.
- Antonioli, F. Silenzi, S., Vittori, E., e Villani, C., 1998b. Sea level changes and tectonic mobility: precise measurements in three coastlines of Italy considered stable during the last 125 ky. *Manuscrito Inédito*, 6 pp.
- Atkinson, C.T., Harmon, R.S., Smart, P.L., and Waltham, A.C., 1978. Paleoclimatic and Geomorphic Implications of $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ dates on Speleothems from Britain. *Nature* Vol. 272, No. 5648, pp. 24-28, March 2 1978.
- Bakalowicz, M. et al., 1987. Thermal Genesis of Dissolution Caves in the Black Hills, South Dakota. *Geol. Soc. of Am. Bulletin*, V. 99, pp. 729-738, December 1987.
- Bar-Matthews, M., Ayalon, A., and Kaufman, A., 1997. Late Quaternary Paleoclimate in the Eastern Mediterranean Region from Stable Isotope Analysis of Speleothems at Soreq Cave, Israel. *Quaternary Research* 47, pp. 155-168.
- Berger, H. W., y Labeyrie, D. L, 1987. Abrupt Climatic Change. An Introduction. H. W. Berger and L. D. Labeyrie (eds.). *Abrupt Climatic Change*. Pages. 3-22.
- Borsato, A., y Forti, P., 2003. Ricostruzione paleoclimatiche e paleoambientali da concrezioni di mgrotta. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 80 (2003): pages. 55-63.
- Borsato, A., Cucchi, F., Frisia, S., Miorandi, R., Paladini, M., Piccini, L., Potleca, M., Sauro, U., Spötl, C., Tuccimei, P., Villa, I. M., and Zini, L., 2003. Ricostruzione climatica degli ultimi 17.000 anni da una stalagmite della Grotta Savi (Trieste, Italia). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 80 (2003): pages. 111-125.
- Celeiro, M., 1999. El método histórico en las investigaciones climáticas en Cuba: Contribución al Transepto PEP-I del PAGES. Libro "El Caribe: Contribución al Conocimiento de su Geografía". IGT, AMA/CITMA, pp. 48-55.
- Craig, H., 1965. The Measurement of Oxygen Isotope Paleotemperatures. *Proc. Spoleto Conf. On Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures*. Ed. Tongiorgi, CNR Lab. Geol. Pisa, Vol. 3, pp. 3-24.
- Curtis, H. J., Brenner, M., and Hodell, D. A., 2001. Climate Change in the Circum-Caribbean (Late Pleistocene to Present) and Implications for Regional Biogeography. *Biogeography of the West Indies*.



- Patterns and Perspectives. Second Edition (Edited by Charles A. Woods and Florence E. Sergile). CRC Press, pags. 35-54.
- Dansgaard, W., White, J. W., and Johnsen, S. J., 1989. The abrupt termination of the Younger Dryas climate event. *Nature* 339, pags. 532-534.
- Fairbanks, R.G., 1989. A 17 000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature*, 342:637-642.
- Fleitmann, D., Burns, E. J., Mudelsee, M., Neff, U., Kramers, J., Mangini, A., and Matter, M., 2003. Holocene Forcing of the Indian Monsoon Recorded in a Stalagmite from Southern Oman. *Science* Vol. 300, 3.June.2003. Pags. 1737-1739
- Ford, T. D. et al., 1983. Speleothem Dates and Pleistocene Chronology in the peak district of Derbyshire. *Trans. Brit. Cave Res. Assoc.*, Vol. 10, No. 2, pp. 103-115. June 1983.
- Frisia, S. 2003. Gli isotopi stabili negli speleotemi. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 80 (2003): pags. 29-36.
- Gascoyne, M., Schwarcz, H.P., and Ford, D.C., 1978. Uranium Series Dating and Stable Isotope Studies of Speleothems: Part I. Theory and Techniques. *Trans. Brit. Cave Res. Assoc.*, Vol. 5, pp. 91-111.
- Harmon, S.R. et al., 1975. Uranium-Series Dating of Speleothems. *The NSS Bulletin*, 1975, 37(2): 21-33.
- Harmon, S.R. and Curl, L.R., 1978. Preliminary Results on Growth Rate and Paleoclimate Studies of a Stalagmite from Ogle Cave, New Mexico: Reply. *The NSS Bulletin*, Vol. 40, No. 4, October 1978, pp. 123-124.
- Hendy, C.H., 1971. The Isotopic Geochemistry of Speleothems - I - The Calculation of the Effects of Different Modes of Formation on the Isotopic Composition of Speleothems and their Applicability as Palaeoclimatic Indicators. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 35, pp. 801-824.
- Holzkämper, S., Spötl, C., and Mangini, A., 2005. High-precision constraints on timing of Alpine warm periods during the middle to late Pleistocene using speleothems growth periods. *Earth and Planetary Science Letters* (236) (2005), 751-764.
- Imbrie, J., 1987. Abrupt termination of Late Pleistocene Ice Ages: A simple Milankovitch explanation. H. W. Berger and L. D. Labeyrie (eds.). *Abrupt Climatic Change*. Pags. 365-367.
- Jouzel, J., Lorius, C., Merlivat, L., and Petit, J-R., 1987. Abrupt Climatic Changes: The Antarctic Ice Record During the Late Pleistocene. H. W. Berger and L. D. Labeyrie (eds.). *Abrupt Climatic Change*. Pags. 235-245.
- Kelly, P.M., 1981. Climate and Climatic Change. En: *The Cambridge Encyclopedia of Earth Sciences*. Editor D.S. Smith. Crown. Pub. Cambridge University Press, pp. 297-310.
- Li, X.W. et al., 1989. High-Precision Mass-Spectrometric Uranium-Series Dating of Cave Deposits and Implications for Palaeoclimate Studies. *Nature* Vol. 339, No. 6225, pp. 534-536, 15 June 1989.
- Mangini, A., Spötl, C., and Verdes, P., 2005. Reconstruction of temperature in the Central Alps during the Past 2000 yr from a $\delta^{18}\text{O}$ stalagmite record. *Earth and Planetary Science Letters* (235) (2005), 741-751.
- Mayewski, P., A., 1995. The Summit Ice Cores (GISP2 and GRIP). U.S. National Report to IUGG, 1991-1994 Rev. *Geophys. Vol. 33 Suppl.*, © 1995 American Geophysical Union.
- McCrea, J.M., 1950. On the Isotopic Chemistry of Carbonates and a Paleotemperature Scale. *The Journal of Chemical Physics*. Vol. 18, No. 6, June 1950, 849-857.
- Ming, T.N., and Tungsheng L., 1995. Stable Isotope Records of a Stalagmite from Jiguan Cave in Henan Province, China. *Scientia Geologica Sinica, Supplementary Issue* (1), pp. 281-284, Printed in China.
- Montero, M.E., Aspiazú, J., Pajón, J.M., Miranda, S., y Moreno, E., 2000. PIXE Study of Cuban Quaternary Paleoclimate Geological Samples and Speleothems. *PERGAMON. Applied Radiation and Isotopes* 52, pp. 289-297.
- Myroie, J.E., 1984. Pleistocene Climatic Variation and Cave Development. *11-Norssk Geogr. Tidsskr.* 33-4/1984, pp. 151-156.
- Myroie, J.E., and Carew, J.L., 1988. Solution Conduits as Indicators of Late Quaternary Sea Level Position. *Quaternary Science Reviews*, 7, pp. 55-64.



- Myroie, J.E., and Carew, J.L., 1990. The Flank Margin Model for Dissolution Cave Development in Carbonate Platform. *Earth Surface Processes and Landforms* 15: pp. 413-424.
- Niggemann, S., Mangini, A., Mudelsee, M., Richter, D. K., and Wurth, G., 2003. Sub-Milankovitch climatic cycles in Holocene stalagmites from Sauerland, Germany. *Earth and Planetary Science Letters* (216) (2003), 539-547.
- Pajón, J.M., 1999. *Paleoclima del Cuaternario Cubano: Una Caracterización Cuantitativa*. Monografía, Ciudad de La Habana, 362 pags.
- Pajón, J.M., et al., 2001a. Reconstrucción paleoclimática y paleoambiental del Pleistoceno Tardío-Holoceno para Cuba Occidental. Monografía, Ciudad de La Habana, 273 pp.
- Pajón, J.M., Hernández, I., Macle, J., y Ortega, F., 2001b. Periods of Wet Climate in Cuba: Evaluation of Expression in Karst of Sierra de San Carlos. Book "Interhemispheric Climate Linkages (Present and Past Interhemispheric Climate Linkages in the Americas and their Societal Effects)". Chapter Long-Term Climate Variability. Academic Press, pp. 217-226.
- Pajón, J. M., Curtis, J., Tudhope, S., Metcalfe, S., Brenner, M., Guilderson, T., Chilcot, C., Grimm, E., Hernández, I., 2006. Isotope Records from a Stalagmite from Dos Anas Cave in Pinar del Rio Province, Cuba. Paleoclimatic implications. CD Rom "Fifth International Symposium on Nuclear and Related Techniques-NURT-2006". ISBN 959-7136-42-2
- Schwarcz, H., Harmon, S.R., Thompson, P., and Ford, D.C., 1976. Stable Isotope Studies of Fluid Inclusions in Speleothem and their Paleoclimatic Significance. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 40, pp. 657-665.
- Schwarcz, H. and Yonge, C.J., 1983. Isotopic Composition of Paleowaters as Inferred from Speleothem and its Fluid Inclusions. I.A.E.A. STI/PUB/621. pp. 115-133.
- Severinghaus, J.P., Sowers, T., Brook, E.J., Alley, R.B., and Bender, M.L., 1998. Timing of Abrupt Climate Change at the end of the Younger Dryas Interval from Thermally Fractionated Gases in Polar Ice. *Nature*, 8 January 1998, Vol. 391, pp. 141-146.
- Sowers, T., 1998. Interhemispheric Linkages During the Last Glacial Period. Libro PEP-1 Pole-Equator-Pole, Paleoclimate of the Americas, Mérida, Venezuela, 16-20. March 1998, 4 pp.
- Stenni, B., 2003. Applicazione degli isotopi stabili in oaleoclimatologia: le carote di ghiaccio. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 80 (2003): pags. 17-27.
- Stute, M., Forster, M., Frischkom, H., Serejo, A., Clark, J.F., Schlosser, P., Broecker, W.S., and Bonani, G., 1995. Cooling of Tropical Brazil (5 °C) During the Last Glacial Maximum. *Science*, 21 July 1995, Vol. 269, pp. 379-383.
- Thompson, P., Schwarcz, H.P., and Ford, D.C., 1974. Continental Pleistocene Climatic Variations from Speleothemsage and Isotopic Data. *Science*, Vol. 184, pp. 893-895.
- Vivas, L., 1992. *El Cuaternario*. Universidad de los Andes. Consejo de Publicaciones. Mérida-Venezuela, 266 pp.
- Wurth, G., Niggemann, S., Richter, D. K., and Mangini. A., 2004. The Younger Dryas and Holocene climatic record of a stalagmite from Hölloch Cave (Bavarian Alps, Germany). *Journal of Quaternary Science* (2004), 9 (3), pags. 29-298.

ESTRATIGRAFÍA DEL ARCO VOLCÁNICO CRETÁCICO DE CUBA OCCIDENTAL Y CENTRAL POR DATOS DE SUBSUELO

Carlos Perera Falcón⁽¹⁾, L. Díaz de Villalvilla⁽²⁾, R. Segura Soto⁽¹⁾, S. Blanco Bustamante⁽¹⁾, Osvaldo López Corzo⁽¹⁾.

(1) Centro: Centro de Investigaciones del Petróleo Churrucá No. 167 Sq. Vía Blanca, Cerro Ciudad de la Habana

(2) Instituto de Geología y Paleontología Carrete Central y Vía Blanca, San Miguel del Padrón, Ciudad de la Habana

RESUMEN

El presente trabajo aborda algunos aspectos sobre la edad, relaciones estratigráficas y bioestratigráfica de los diferentes estadios del desarrollo del Arco Volcánico Cretácico en la zona Occidental y principalmente en la zona Central de Cuba.

Se presenta una tabla en la que se resumen las edades de las distintas fases efusiva y explosiva del Arco Volcánico, abalado por su contenido litológico y paleontológico; no obstante en algunas áreas la división estratigráfica está dada por la posición en el corte.

Otro de los aspectos en el trabajo es la correlación de las distintas secuencias del Arco Volcánico de subsuelo con las de superficie; aunque se debe señalar que ésta comparación está limitada por no tener datos petroquímicos.

Se destacan las últimas perforaciones de pozos de búsqueda de petróleo y gas; donde éstos han atravesado los distintos sedimentos del Arco Volcánico. Por último se exponen columnas geológicas generalizadas por cada región de la Zona Occidental y Central de Cuba del Arco Volcánico.

ABSTRACT

The present work approaches some aspects on the age, stratigraphic relationship of the different stages of development of the Cretacic Volcanic Arch in the Western Zone and mainly in the Central Zone of Cuba.

It is presented table where are summarised the ages of the different effusive and explosive phasses of Volcanic Arch, demonsthrated by their contain; nevertheless in some areas the estratigraphic division is given by the position in the profil.

Another aspect in the work is the correlation of different sequences of the Volcanic Arch in wells with those of surface; although it should be pointed out that this comparison is limited by not having petrochemical data.

They stand out the last perforations of wells for oil an gas search, where these have crossed the different sedimenrs of the Volcanic Arch. Lastly, geologic columns area exposed generalized for each region of the Western and Central Area of Cuba of the Volcanic Arch.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio se basa fundamentalmente en datos de los pozos de petróleo de la zona occidental y central de Cuba, aunque, como es obvio, se integran algunas observaciones de afloramientos. En la actividad petrolera ha sido y es una práctica común establecer una comparación constante entre las formaciones estratigráficas de superficie y las secuencias de las volcanitas de subsuelo. Esto ha producido confusiones porque es bien conocido que los afloramientos corresponden a segmentos erráticos que ocupan la posición actual después de la orogenia principal.

Por otra parte, aunque en el subsuelo la conservación es mejor, sólo tenemos puntos aislados de un gigantesco sistema. Por consiguiente, no debe supeditarse el volcanismo a la estratigrafía, sino considerarlo como un proceso evolutivo que se expresa de un modo u otro en la estratigrafía. Lamentablemente, se cuenta sólo con una ínfima cantidad de datos petroquímicos de muestras de subsuelo.

Los autores consideran que, desde el punto de vista genético es correcto distinguir la asociación del arco de isla volcánica y la asociación ofiolítica como dos unidades geotectónicas separadas. Pero, ocurren dos fenómenos paralelos:

- 1) La mezcla tectónica de ambas unidades, desarrollada esencialmente durante la orogenia principal de Cuba, la cual se registra notablemente tanto en superficie como en subsuelo.
- 2) La perteneciente de un determinado complejo de rocas a una unidad u otra constituye una disputa entre volcanólogos y especialistas en ofiolitas no resuelta en Cuba, ni en otros países. Por consiguiente, es mejor, desde un punto de vista práctico, adoptar la concepción de Terreno tectono-estratigráfico de Zaza, tal como se utiliza actualmente en la geología petrolera de Cuba. De este modo describiremos el arco volcánico separadamente de las particularidades de la asociación ofiolítica, no obstante a esto, en algunos pozos se nos hace difícil esta separación, pues al comentar los cortes obtenidos en los pozos petroleros ambas pueden quedar incluidas.

Características del Arco Volcánico Cretácico

La asociación volcánica del Cretácico se observa casi siempre en superficie en contacto tectónico con la asociación ofiolítica que representa presumiblemente su basamento. Ambas asociaciones, en el Norte, están cabalgando sobre secuencias del margen continental pasivo norteamericano representado por los dominios de Pinar del Río y Las Villas (CUPET, SPT, 1993).

En las etapas del desarrollo del arco insular se distinguen dos grandes complejos:

- 1-. Vulcanógeno -Sedimentario
- 2-. Efusivos

1-Complejo vulcanógeno-sedimentario

El complejo vulcanógeno-sedimentario se distribuye en toda Cuba con espesores variables que según algunos autores pudieran alcanzar en la parte central de Cuba un máximo de 7 km. Se puede calificar en su conjunto como complejo basáltico-andesítico-dacítico, poco riolítico, consecuentemente diferenciado que corresponde a una serie de asociaciones magmáticas. El complejo es predominantemente vulcano clástico con intercalaciones de rocas sedimentarias que constituyen los únicos elementos que aseguran sus correlaciones estratigráficas.

Las rocas de este complejo, principalmente las capas sedimentarias, presentan fósiles que permiten la datación de algunos niveles. Los más antiguos son foraminíferos del Aptiano (Furrazola et. al., 1964, Meyerhoff y Hatten, 1968; Iturralde, 1994) Algunos autores extienden la antigüedad de las vulcanitas del arco al Neocomiano, sobre la base de que bajo ese horizonte fosilífero del Aptiano se observan varios cientos de metros de rocas volcánicas (Díaz de Villalvilla y Dilla, 1987) La edad de la vulcanitas más jóvenes es también problemática, pero en el área Pina se ha reportado el género y especies de *Glotruncanita calcarata* del Campaniano Superior. En general existen evidencias

suficientes para considerar que el arco volcánico del Cretácico estuvo activo por lo menos hasta el Campaniano Tardío (Perera et. al., 1994)

2-Efusivos

Secuencia efusivo-sedimentarias: Es aquella donde es común la presencia de lavas y cuerpos subvolcánicos, que se intercalan con tobas, tufitas y rocas sedimentarias. Se interpreta como propia de las cuencas axiales del archipiélago volcánico, ya que coinciden con la distribución de numerosos aparatos volcánicos y nudos vulcano-plutónicos. En algunas localidades se conocen las rocas del sustrato oceánico del arco (diabasas en los pozos Jatibonico -78, Vega-1 y Mercedes-2). En la zona Central de Cuba es donde mejor se ha establecido las distintas etapas del Arco Volcánico Cretácico.

Nosotros en este trabajo tratamos de dar una idea del comportamiento en subsuelo del Arco Volcánico en la zona Occidental y Central de Cuba desde el punto de vista bioestratigráfico y estratigráfico; establecer en algunas secuencias la edad de acuerdo al contenido fosilífero que es de suma importancia para la búsqueda de petróleo.

Las Rocas del Arco Volcánico según datos de Subsuelo.

A continuación, una descripción de la estratigrafía de las secuencias del archipiélago volcánico del Cretácico a partir de pozos tipo perforados en cada región.

Cuba Occidental.

En la provincia de Pinar del Río se reconoce la faja de Cajalbana perteneciente a las ofiolitas septentrionales. Las mismas yacen bajo las secuencias del arco volcánico; Esto se demuestra en el pozo Mariel-1, (fig.-1) donde la edad para el arco volcánico está comprendida desde el Aptiano hasta el Campaniano.

El Aptiano-Albiano está asumido por posición estratigráfica en el corte, constituido por brecha de lava de composición básica e intercalada entre ellas encontramos tobas litoclásticas de composición similar. El espesor cortado es de alrededor de 1000m..

Esta secuencia la asociamos en superficie a la formación Encrucijada. En contacto suprayacente encontramos un corte serpentinitico intercalado entre efusivos y la secuencia explosiva, su espesor es alrededor de los 600m. Su posición en el corte tiene la misma ocurrencia que en superficie, producto de los sobrecorrimentos y sus contactos son tectónicos.

Por encima de la serpentinita se encuentran las rocas de la fase explosiva con fauna de *Globigerinelloides sp.*, *Stomiosphaera sp.*, *Hedbergella sp.* del Albiano-Turoniano constituida por tobas de fragmentos gruesos y medianos de composición andesítica, intercaladas entre ellas encontramos lavas de composición básica y sedimentos representados por limolitas y calizas fragmentarias, que son las que determinan la edad de la secuencia. Este corte lo referimos en superficie a la formación Quiñónez.

Al final del corte encontramos tobas cristalovitroclásticas de composición media de granulometría fina cinerítica, subacuáticas y depositadas lejos de los focos volcánicos; intercalados entre las tobas aparecen calizas fragmentarias y en su parte media brecha de calizas y pedernal. El espesor no sobrepasa los 500m.. Es de destacar que en el núcleo-2 del pozo Mariel-1, (fig.-1) se encontraron Radiolarios *Pseudoaulophacidae* y *Globotruncana spp.* definiéndose el corte como Campaniano. Este corte al parecer no tiene equivalente en superficie, más bien se asemeja a los sedimentos de

Cuba Central. Queremos también hacer observar que las rocas básicas son más representativas (subsuelo) en Pinar del Río que las rocas medias-ácidas.

El pozo Mariel Norte 1X su perforación fue dirigida hacia el mar cortando un espesor de conglomerados de ultramafitas que sobrepasan los 1000m. su parte basal está muy serpentinizada. Estos conglomerados en superficie se lo adjudicamos a la Formación Vía Blanca del Camapaniano Maestrichtiano. (Fig. 1) El pozo en su perforación se desplazó 1800m en la horizontal hacia el mar terminando el mismo en 2050m con una secuencia carbonatada de la Formación Cacarajícara, no pudiendo estimarse el espesor porque el pozo cortó la formación prácticamente horizontal. Este pozo demuestra que los sedimentos volcánicos no se depositaron en esa zona de la costa norte.

En el pozo Ariguanabo-2 desde el fondo 3058m. a 2460m. se puede estudiar una secuencia de piroclastitas y basaltos y andesito - basaltos, representantes de una asociación basáltica inicial del desarrollo del arco volcánico, pero que lamentablemente carece de elementos fósiles.

Volcanitas de la Región Habana-Matanzas

En los pozos de petróleo perforados en la cercanía de la costa norte los volcánicos están generalmente triturados hasta brechas, lo que incrementa sus cualidades como reservorios de petróleo con algunas producciones. Los contactos coinciden con zonas muy fracturadas, las cuales en ocasiones, están representadas por una masa caótica que contiene una mezcla de bloques de ofiolitas, rocas sedimentarias y volcánicas del arco. Sin embargo más al Sur, en zonas presumiblemente cercana al bloque del arco volcánico, varios pozos (Vegas-1 y Mercedes-2) Fig-2 han atravesado una secuencia normal del arco sobre las ofiolitas. En Vegas-1 los volcánicos yacen sobre diabasas alteradas. Esta relación normal entre el arco y las ofiolitas que lo subyacen observada tanto en pozo como en superficie por algunos autores (Zelepuguin, 1982) ha llevado a algunos autores a afirmar que hacia el Sur, el contacto es transicional, mientras que en el Norte es tectónico. O sea que los cabalgamientos de los volcánicos sobre las ofiolitas bien demostrados en el Norte se ponen en duda hacia el Sur.

Los pozos Mercedes-2 y Vegas-1 permiten un mayor conocimiento tanto del arco volcánico como de la asociación ofiolitas. Así en Mercedes-2, con una profundidad de 4000m., a partir de 3240m. hasta el fondo, fueron determinadas diabasas con transformaciones de rocas verdes representantes de un típico complejo ofiolítico; más arriba, hasta 2900m. se destacan las rocas de la asociación andesítica, con sedimentos intercalados cuya edad se determinó como no más antigua que el Turoniano. El corte del pozo Vegas-1, presenta características similares y otro tanto podría decirse del Campestre-1 perforado más al Norte aún. (Fig. 2)

El pozo más representativo del arco volcánico es el pozo Cochino-1. (Fig.-2) En este pozo fueron cortadas tobas litoclásticas de composición media a básica, teniendo intercalaciones de secuencias sedimentarias: argilitas, calizas, y rocas silíceo-arcillosas, subordinadamente rocas efusivas de composición andesito-basáltica. En este pozo no está bien definida la edad de las secuencias del arco volcánico por tener la fauna muy pobre, pero de acuerdo a la composición de las rocas, debe pertenecer a la fase explosiva que corresponde a la edad Turoniano-Campaniano. El espesor cortado es de 2500m. En la zona Norte, en subsuelo no tenemos reportado ningún pozo que cortara el arco volcánico.

Volcanitas de la Región Cuba Central (Villa Clara- S.Spiritus- C. Avila).

Las rocas del arco volcánico constituyen el gran volumen de las rocas magmáticas en la Cuenca Central, y se encuentra uniformemente distribuida en toda su extensión. Ha sido el objeto temático de la actividad petrolera en repetidas ocasiones, pero desde el punto de vista principal de reservorios. Su evolución magmática se ha intentado establecer varias veces pero sin análisis petroquímico.

Se han esbozado las facies principales de las volcanitas. De este modo, se tienen las facies efusiva y explosiva. La facie efusiva está representada por basalto y andesito-basaltos, andesitas y andecito-dacitas, que son las más distribuidas y raramente dacito-riolitas. La facies explosiva comprende el gran volumen de las volcanitas, con un coeficiente de explosividad aproximadamente del 90% para todo el corte.

La yacencia típica de las rocas explosivas es circularmente a los focos volcánicos pero que, en superficie resulta difícil, se complica aún más en el subsuelo. La potencia de las capas también varía extraordinariamente y según el registro geofísico, debido a sus productos de alteración, resulta difícil de distinguir de las rocas sedimentarias intercaladas. Por otra parte, como el volcanismo fue subacuático, las rocas adquirieron las características de transporte y deposición de los sedimentos comunes.

En la Cuenca Central se puede resumir la actividad volcánica en dos asociaciones magmáticas, que en su evolución fueron:

Rocas efusivas de composición basálticas y andesito-basáltica, tobas y subordinadamente intercalaciones finas de calizas y arcilitas, que constituyen las rocas más antigua (subsuelo) del arco con edad Aptiano-Albiano Inferior, que se identifica por la presencia de *Ticinella roberti*, *Hedbergella spp.* Su ambiente de deposición es nerítico Externo, este corte es homólogo a la formación Mataguá; su espesor puede sobrepasar los 1000m. En el Jatibonico-78 (Fig.3) está bien representada este tipo de roca.

La otra asociación es la fase explosiva que cubre el corte anterior concordantemente por tobas de distintos tipos predominando una granulometría gruesa con intercalaciones de calizas. La edad Albiano Superior-Turoniano se define por la presencia de *Praeglotruncana spp.* *Rotalipora spp.* *Globigerinelloides spp.* El ambiente deposicionales Batial. El corte tiene un espesor aproximado de 400m. y es semejante a la formación Seibabo. Aquí, en el área Pina, se descubren lentes de calizas intercalados entre las tobas gruesas que tiene edad de Albiano- Cenomaniano.

La fase explosiva, se compone por tobas de composición andesíticas y subordinadamente dacítica con granulometría fina, intercaladas con margas, arcilitas y areniscas polimícticas. Dentro de esta secuencia se encontró una fauna de *Radiolarios* y *Glotruncanita calcarata* de edad Campaniano Superior lo que nos demuestra que la terminación del volcanismo en Cuba Central fue en el último estadio del Campaniano lo cual es una novedad. Esta secuencia yace discordantemente sobre la secuencia inferior. Su espesor puede alcanzar los 600m. y es homólogo de la formación Dagamal. El ambiente de deposición es Batial. Por encima de esta secuencia yace discordantemente rocas sedimentarias del Maestrichtiano Superior hasta el Eoceno Medio con un potencial de 2000metros.

En reciente perforación en Villa Clara el pozo Gigante-1 cortó 670m(Fig.-3). de tobas de granos fino, cristaloclástica y vítrea en menor medida, clara y verde clara, a veces arenosas con fragmentos de efusivos, su edad es de Cretácico Superior, en superficie la comparamos con la Formación Hilario. Su contacto inferior lo hace con una secuencia de abundantes lavas fundamentalmente de basalto, andesito- basalto probablemente de edad Cretácico Inferior, en superficie de acuerdo a su

composición litológica la asociamos a la Formación Cabaiguán(?). El pozo termina por debajo de esta secuencia con bloques de serpentinitas, principalmente de peridotitas. (Fig.3)

CONCLUSIONES

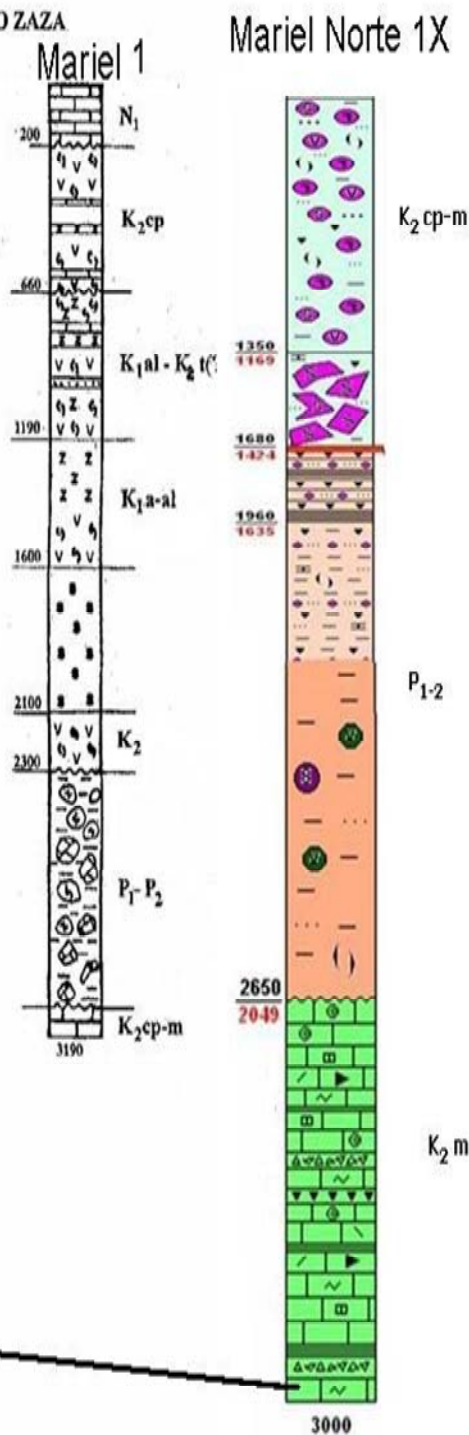
- En la zona central de Cuba (por datos de subsuelo) se presenta una división estratigráfica donde se plantea que las rocas efusivas tienen edad Aptiano- Albiano y una fase transicional efusivo-explosiva de edad Albiano Superior – Turoniano y la explosiva, último estadio del arco, de edad Campaniano Superior. (tabla-1)
- Los sedimentos asociados al sistema del Arco Volcánico tienen una amplia distribución de paleoambientes, desde agua somera de plataforma a marinas de agua profunda (Batial).
- En subsuelo no se han descrito sedimentos continentales del arco volcánico, preservándose el volcanismo submarino en todo el desarrollo de las etapas del Arco.
- Se confirma la discordancia del Maestrichtiano Inferior entre la secuencia vulcanógena-sedimentaria del Arco Volcánico del Campaniano Superior y la secuencia sinorogénica del Maestrichtiano Superior.

BIBLIOGRAFÍA

- Bronniman, P., Truitt P., Pardo C., Wassall H., (1954) Annotation to the correlation chart and catalogue of formation, Las Villas Province, Fondo Geológico del Ministerio de la Industria Básica.
- Díaz de Villalvilla L., 1988, Caracterización Geológica y Petrológica de las asociaciones vulcanógenas del Arco Insular Cretácico Central. Instituto de Geología y Paleontología. (Tesis de Doctorado).
- Duclos C., (1958), Generalized Geological Map Central y Northern Las Villas Province, Cuba. Scale 1: 1000 000, Unpublished report. Centro Nacional del Fondo Geológico del Ministerio de la Industria Básica
- Hatten C. U., Shooler, D.E. Meyerhoff A., 1958, Geology of Central Cuba, Eastern Las Villas and Western, Camagüey Province (Fondo Geológico, MINBAS).
- Iturralde-Vinent M., Tchounev D., Cabrera, r., et. al 1981 Geología del territorio de Ciego-Camagüey-Las Tunas, Resultado de las Investigaciones Científicas del Levantamiento geológico escala 1: 250 000 Academia de Ciencias de Cuba y Bulgaria Exop. Y mapa (inédito).
- Judoley K. Furrázola-Bermúdez, G., 1964 Geología de Cuba. Instituto Cubano de Recursos Minerales., MINBAS.
- Kanchev I. et. al. 1976. Geología de la Provincia de Las Villas, Resultados de las investigaciones Científicas del Levantamiento Geológico, escala 1: 250 000 Academia de Ciencias de Cuba y Bulgaria, 1480p. Mapa. La Habana.
- Rutten M. G., 1937. Geology of the Northern part the Province Santa Clara (Las Villas) . Min. Gel. Inst. Rijksuniv; (Utrecht) 60 pp. Lamp.
- Thiaden A. A., 1937 Geology of the Southern part of the Province Santa Clara (Las Villas). Cuba, Georgy, Geol. Mededeel, Phys. Geol. Reeks. No.12 pp-169.
- Tijomirov i. 1967 Formaciones magmáticas de Cuba y algunas particularidades de Metalogenia. Fondo Geológico Nacional, MINBAS
- Segura Soto R., 1972, Actividad Magmática en Cuba, Fondo Geológico Nacional MINBAS.

Fig.1 COLUMNA GEOLOGICA GENERALIZADA DEL TERRENO ZAZA
PINAR DEL RIO (subsuelo)

PERIODO	EDAD	COLUMNA LITOLOGICA	LITOLOGIA	PALEONTOLOGIA
CRETACEO	CAMPANIANO	2300	Arcilla, arenisca y caliza	Globotruncana spp. Sulcoperculina sp.
	CAUASALIANO	2300-2100	Toba cristalovitrea Toba de composición media, caliza	Dictyonitris sp. Pseudoulophacidae Globotruncana sp.
	ALBIANO SUP.	2100-1960	Lava básica Toba litoclástica Toba cinética Arenisca polimítica	Globigerinelloides sp. Hedbergella sp. Stomiosphaera sp.
	ALBIANO ALB.	1960-1600	Microdiatoma	INDET
	ALBIANO INF.	1600-1350	Serpentinita	INDET
	ALBIANO INF.	1350-1169	Toba litoclástica de composición básica	INDET
JURASICO - CRETACEO	PALIOCENO EOCENO INF.	1169-1000	Secuencia olistostromica	
	SEDIMENTOS DE CUENCAS MARGEN CONTINENTAL	3000-3500		



**Fig.2 COLUMNA GEOLOGICA GENERALIZADA DEL TERRENO ZAZA
HABANA - MATANZAS**

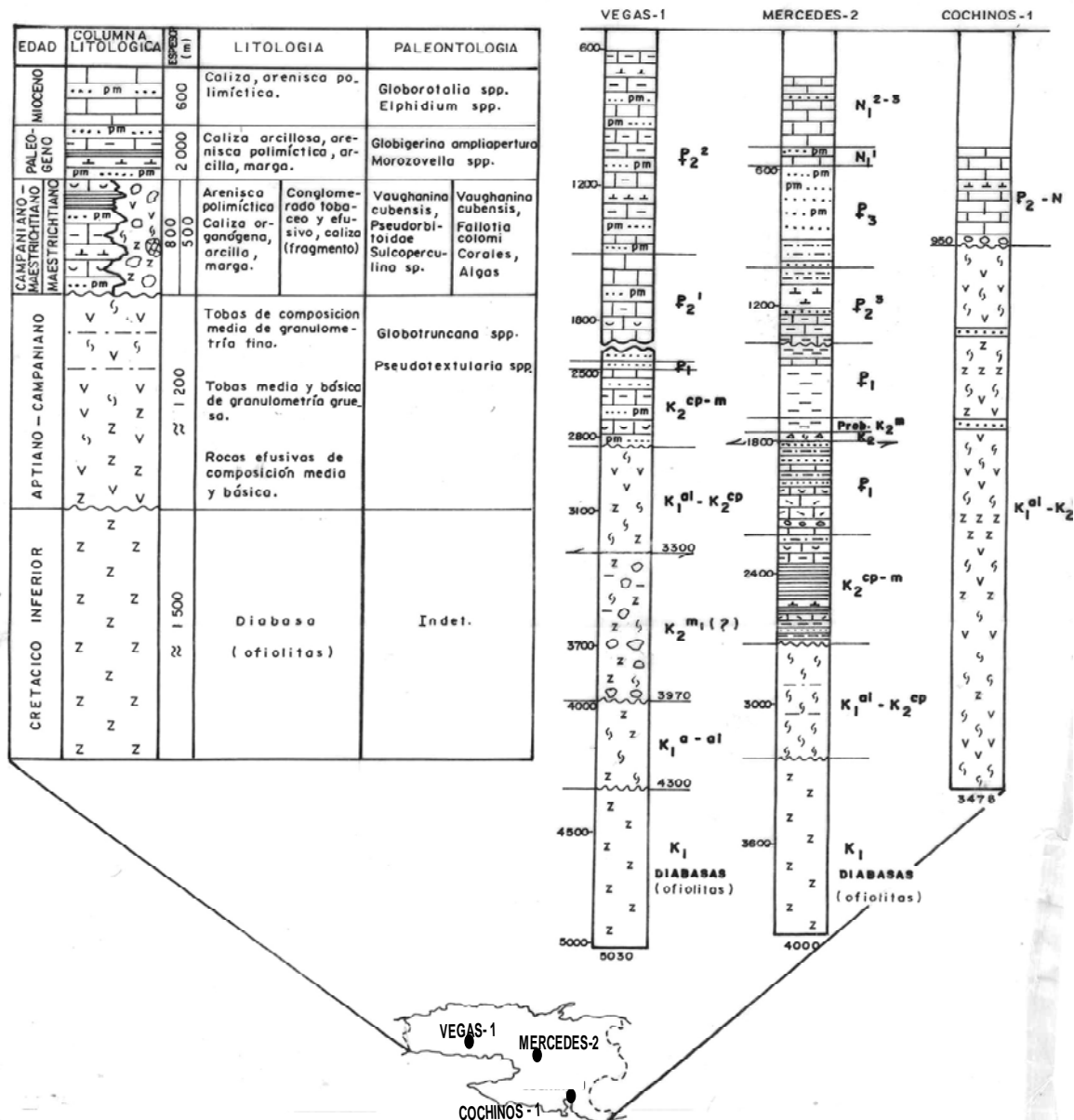


Fig.3 COLUMNA GEOLOGICA GENERALIZADA DEL TERRENO ZAZA
VILLA CLARA, SANCTI SPIRITUS Y C. DE AVILA (subsuelo)

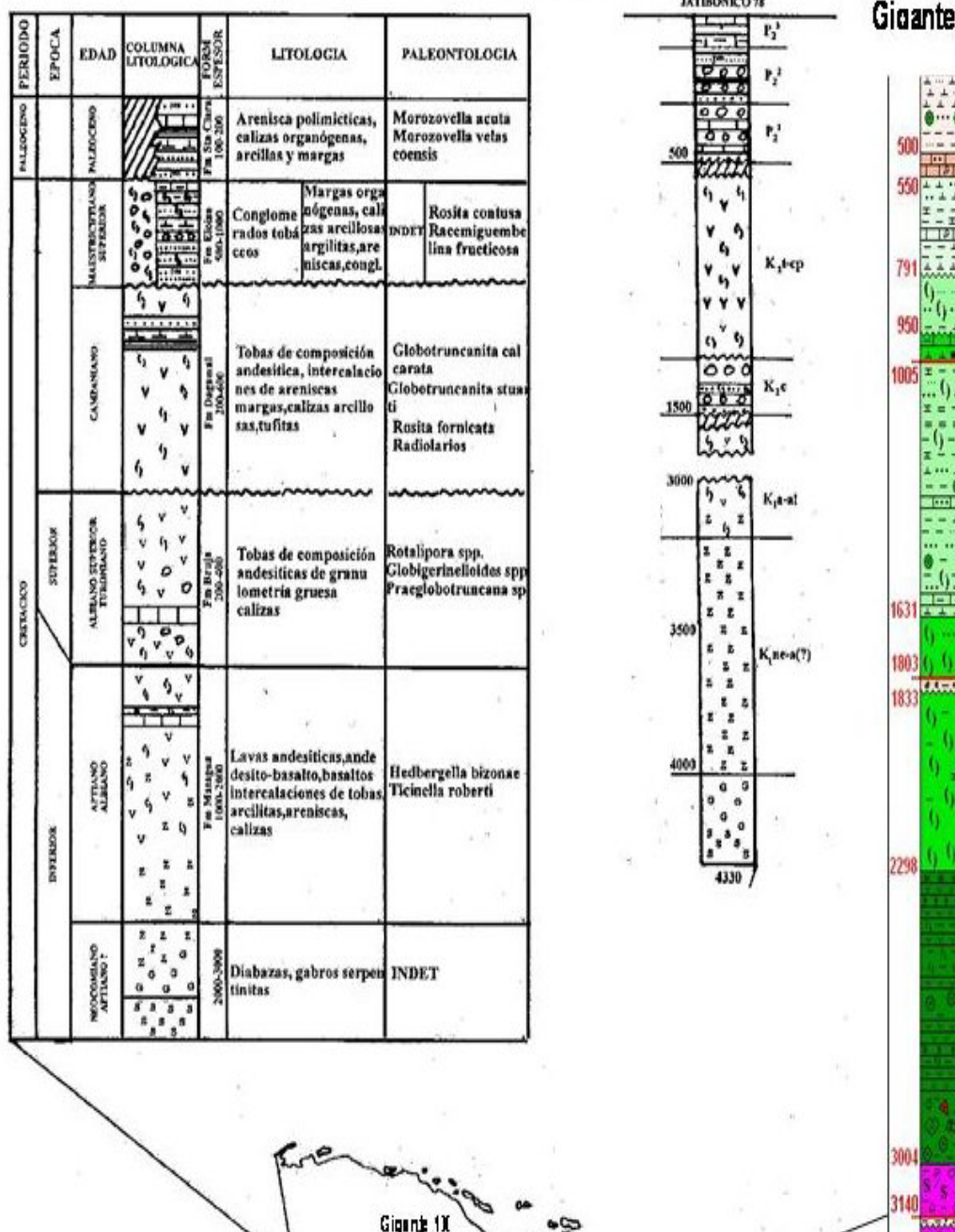




Tabla I. RESULTADOS BIOESTRATIGRAFICOS DE LA ZONA CENTRAL DE CUBA

Edad	Litología y Fósiles
Maestrichtiano Superior.	Margas, areniscas polimícticas y arcillas con espesor de 20 a 60 m, que contienen <i>Abathomphalus mayaroensis</i> , <i>Racemiguembelina fructicosa</i> , <i>Rosita contusa</i> , <i>Rugoglobigerina rotundata</i> , <i>R. rugosa</i> . Yacen discordantes sobre la sección inferior (pozos Pina).
Campaniano	Secuencia de margas, argilitas y lutitas con tobas andesíticas vitrocrystaloclasticas y litocrystaloclasticas con espesor de 200 - 400 m, contiene <i>Globotruncananita calcarata</i> , <i>Globotruncana arca</i> , <i>Globotruncana sp.</i> , <i>Globotruncanita stuarti</i> , <i>Rosita fornicata</i> , <i>Pseudotextularia spp.</i> (pozos Pina).
Turoniano ?	Secuencia de tobas litoclasticas y vitrocrystaloclasticas de composición media con espesor de 60 - 200 m. Carecen de foraminíferos.
Albiano Superior	Tobas y calizas arcillosas biógenas intercaladas con espesor hasta de 50 m. Contiene <i>Praeglobotruncana sp.</i> , <i>Globigerinelloides spp.</i> , <i>Hedbergella simplex</i> .
Aptiano-Albiano Inferior.	Secuencia de argilitas tobáceas, calizas y areniscas hasta conglomerados polimícticos. Espesor de unos 200 metros. Contiene <i>Hedbergella aff.</i> , <i>Bizonae</i> , <i>Ticinella roberti</i> , <i>Ticinella spp.</i> , <i>Hedbergella sp.</i> (pozos Pina y Jatibonico).
Aptiano.	Basalto andesito-basalto con algunas intercalaciones de andesitas y de tobas. Espesor mayor de 800 m. (pozos Pina).



CONSIDERACIONES FACIALES DE LOS DEPÓSITOS DE LA FORMACIÓN AMARO EN EL YACIMIENTO DE BOCA DE JARUCO

Silvia Blanco Bustamante⁽¹⁾, Dania Brey del Rey⁽¹⁾, Olga Castro Castiñeira⁽¹⁾, Lourdes Pérez Estrada⁽¹⁾

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington # 169, Esq. a Churruca, Cerro, Ciudad de La Habana, Cuba. C. Eléct.: sblanco@ceinpet.inf.cu

RESUMEN

Se realiza el estudio interdisciplinario de los depósitos de la Formación Amaro en tres pozos del yacimiento de Boca de Jaruco, donde se conjugan los datos bioestratigráficos, sedimentológicos y de registro de pozos que han permitido una caracterización facial de estas rocas, importantes reservorios de la Franja Norte de Crudos Pesados Cubanos.

Se definen 2 paquetes principales: 1. Conglomerado con soporte de granos. 2. Conglomerado con soporte de matriz.

El primero, en la parte inferior del corte, se encuentra relacionado con las electrofacies 2 y 3 (EF 2 y 3) y el segundo, en la parte superior del corte, corresponde a la EF 1.

Se plantea la hipótesis de que ambos paquetes de la Fm Amaro encontrados en el yacimiento son el resultado de una deposición relacionada con los eventos catastróficos del límite K/T, debido a la edad de Maastrichtiano Superior que define la asociación faunal y a su semejanza con el patrón sedimentario encontrado en estudios realizados en superficie en unidades asociadas a este evento. Se considera que estos paquetes corresponden a dos ciclos sedimentarios de origen diferente. El inferior, relacionado a un flujo gravitacional y el superior, originado por decantación a partir del agua cargada de lodo y partículas de arena, provocado por tsunamis.

ABSTRACT

It is carried out an interdisciplinary study of the Amaro Formation deposits in three wells of Boca de Jaruco oil field, where biostratigraphical, sedimentological data and well log are conjugated, in assessing a facial characterization of these rocks, important oil reservoirs of the Northern Cuban Belt of Heavy Oil.

They are defined 2 main units: 1. Grain supported conglomerate. 2. Matrix supported conglomerate.

The first one, in the lower part, is related with the electrofacies 2 and 3 (EF 2 and 3) and the second, in the upper part, corresponds to EF 1.

The authors propose the hypothesis that both units of Amaro Formation are the result of a deposition related with the catastrophic events of the K/T boundary, due to the age of Upper Maastrichtian defined by faunal assemblage and to its resemblance with the sedimentary pattern found in study carried out by important authors in surface units associated to this event. It is considered that these units correspond with two sedimentary cycles of different origin. The lower part, related to a gravity-flow and the upper, originated by decantation starting from the water loaded with mud and particles of sand, triggered by tsunamis.

INTRODUCCION

En los pozos verticales más sureños del Bloque Central del Yacimiento Boca de Jaruco se encuentra una secuencia clástica muy característica atribuida a la Fm Amaro que constituye un buen reservorio. Estos depósitos han sido muy estudiados, destacándose los trabajos de Valladares, S. *et al*, 1998 y de Vilaín, A. y otros, 1998, donde son analizados desde el punto de vista geológico-estructural, sedimentológico, petrofísico, así como, hidrodinámico.



En este trabajo se ha puesto especial empeño en el estudio litofacial de dicha secuencia, donde se integran los resultados sedimentológicos, bioestratigráficos y de registro geofísico de pozos, con la finalidad de hacer una caracterización más completa de estos depósitos.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Se realiza un estudio sedimentológico - paleontológico detallado de 73 núcleos de 3 pozos del Yacimiento de Boca Jaruco, seleccionados por presentar un corte representativo de los depósitos de la Fm. Amaro. (Ver fig. I)

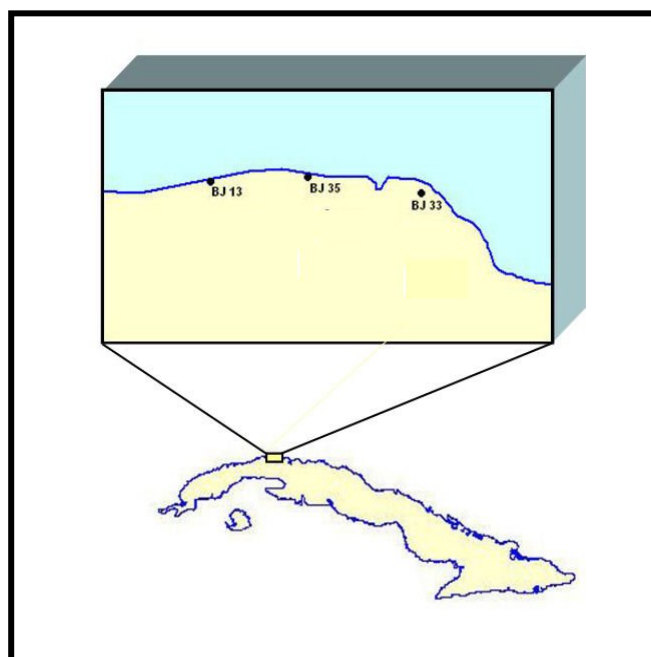


Fig. I Mapa de Ubicación de los pozos

Esto permitió obtener las facies características, así como el tipo de reservorio. Igualmente se realiza un estudio semi-cuantitativo de la procedencia de los clastos calcáreos presentes en estas rocas utilizando para ello secciones delgadas de núcleos, con la finalidad de hacer una caracterización más completa de la geología de estas secuencias. En la Tabla I se relacionan los núcleos comprendidos en este estudio.

Pozos	Intervalo/ m	Núcleos
BJ- 13	1790 - 2183	14-42
BJ- 33	1818 -2215	1-26
BJ-35	1756 -2135	51-62

Tabla I. Relación de los pozos y núcleos estudiados.



Por otra parte, fueron utilizados los registros geofísicos convencionales de los pozos para caracterizar las electrofacies y evaluar toda la secuencia. Para la división se utilizó fundamentalmente el registro de resistividad, apoyado por el GR, el SP y el Neutrónico.

Todo el material utilizado se encuentra en el Archivo Técnico del Centro de Investigaciones de Petróleo (CEINPET).

RESULTADOS Y DISCUSION

La caracterización de la formación por el complejo de registros geofísicos define 3 elementos o electrofacies. Las electrofacies 2 y 3 corresponden a la parte inferior del corte, que hemos caracterizado como Amaro 2 (Ver Fig II). El complejo de registro de la EF 2 es irregular, pero comienza y termina con una zona de baja resistividad. La EF 3 presenta mayor homogeneidad que las anteriores, pudiéndose encontrar algunos valores elevados del GR, y variabilidad en las porosidades, éstas más bajas que en 1 y 2. Estos comportamientos del registro se expresa litológicamente como una secuencia de conglomerado con soporte de grano, que se revelan en los tres pozos estudiados, con un espesor aparente entre 253 y 290 m. Se trata de conglomerados fundamentalmente calcáreos con escasa matriz micrítica. Sólo en el BJ 35 N 60 se observa ésta con fauna del Cretácico Superior. Aunque, en el pozo BJ 13, el más occidental, hay un cambio litofacial en este intervalo, registrándose floatstone con abundante matriz y menor proporción grainstone / packstone de bioclástico.

Los fragmentos son muy heterogéneos en la parte alta del corte, y son predominantemente calcáreos, constituidos por wackestone de bioclastos, mudstone calcáreo, grainstone de oolitos y **Favreina**, aunque, se reportan subordinadamente, rocas silíceas, clastos efusivos y areniscas cuarcíferas. Estos dos últimos, en el BJ 13, solo en esta parte del corte. En el análisis de los clastos en la parte superior de este paquete se reportan granos de las FM Ronda + Cifuentes I (44 %), Cifuentes somero (29 %), Carmita (24%), y de las Fm. Morena y Cifuentes profundo en igual proporción, de 2,4%. Por el contrario, en la parte mas baja del corte, aunque no se realiza un análisis estadístico, por considerarse que esta poco documentado por núcleos, se aprecia en todos los testigos que hay menos variedad en la procedencia de los clastos, ya que hay un predominio de fragmentos de Ronda, Ronda + Cifuentes profundo y Cifuentes somero a y muy subordinadamente microfacies de la Fm Carmita. Los fragmentos de Ronda se encuentran en una matriz calcárea pelítica a manera de floatstone y se observa fauna del Berriasiano-Valanginiano tanto en fragmentos como en matriz, pero se encuentra en los núcleos sin un orden cronológico lo que indica una reelaboración de esta Fm. La composición similar de los fragmentos se expresa en la homogeneidad de la resistividad en este intervalo. Los fragmentos rudáceos pueden ser tan grandes como el orden de metros y por ello algunos núcleos solo recuperaron clastos.

Se destaca que no se registra fauna del Maastrichtiano en este paquete, a excepción del BJ 13, donde si se encuentran microfacies de floatstone con fauna característica de esta edad y en el N. 60 del BJ 35, donde en la matriz sólo se observa fauna del Cretácico Superior (Turoniano-Maastrichtiano). Es por ello que esta secuencia ha presentado mayor controversia en su interpretación.

El complejo de registro de la parte alta del corte (EF 1) se relaciona con el paquete llamado Amaro 1 (Fig. II). Se caracteriza por variaciones de la resistividad, al igual que el paquete inferior, pero con mayor resistividad hacia el centro. Se observan en los tres pozos estudiados con un espesor aparente entre 105 y 117 m. Este primer elemento se define por una litología muy característica correspondiente a floatstone de intraclastos y conglomerados fundamentalmente calcáreos en una matriz de mudstone calcáreo que pudiera estar enriquecida por arcilla y MO. Ocurren algunas rocas



silíceo-arcillosas intercaladas muy subordinadamente. Caracterizamos esta secuencia como conglomerado calcáreo con soporte de matriz. La respuesta heterogénea de los registros esta dada por la naturaleza conglomerática de la Fm en dependencia de la intensidad del material erodado y transportado, observándose por zonas predominio de clastos sobre matriz y viceversa. En el pozo BJ 13 se distingue una tendencia en los núcleos a la abundancia de la matriz sobre los clastos. Inclusive se registran microfacies de mudstone calcáreo sin fragmentos (N. 18) o estos muy escasos (N. 26), de ahí la abundancia de bioclastos descritos en la matriz en este pozo.

Los fragmentos rudáceos presentan poco redondeamiento, con formas sudredondeadas a angulosas y son de wackestone de bioclásticos, grainstone/ packstone de **Favreina**, grainstone oolítico, mudstone calcáreo, caliza recristalizada. Se encuentran además fragmentos de pedernal procedentes de la Fm Ronda, escasas limolitas, que provienen al parecer de la Fm Carmita. El análisis de los clastos en los pozos comprendidos en este estudio revela que provienen fundamentalmente del Grupo Veloz: de las Fm Ronda + Cifuentes I: 36 %, Cifuentes, paquete de aguas someras: (25 %), Morena (15 %), Carmita (18 %), Cifuentes, paquete de aguas profundas (6%).

La edad de este paquete esta muy bien definida en todos los casos, por poseer una rica y variada asociación microfaunal, constituida fundamentalmente por foraminíferos planctónicos de la biozona de **Abathomphalus mayaroensis** (Sliter, 1992) del Maastrichtiano Superior (Fernández, J. *et al*, 2006).

Estos depósitos infrayacen a la Fm Vega Alta y es de destacar el registro del Daniano Inferior por primera vez en este yacimiento. En el tope del N. 51 del BJ 35 (1755-1756, 4 m), con una recuperación de 0,90 m, se reconoce la zona de **Parasubbotina pseudobulloides** (G. Fernández, 1991), aunque no se diferenciò la biozona mas baja del Daniano correspondiente a **Globigerina eugubina** (= **Parvularuglobigerina eugubina**), que al parecer no aparece, ya que en la parte media y del fondo del núcleo solo se reporta fauna del Maastrichtiano Superior, por lo que el contacto con la Fm Vega Alta sería con una pequeña discordancia, al menos en este pozo. Este núcleo esta constituido por calizas densas y calcarenitas. Lo curioso de este horizonte es que corresponde con un pico anómalo del registro gamma, que pudiera estar relacionado a la anomalía del iridio, encontrada en depósitos de superficie en la Fm Moncada. (Iturralde, M., *et al*, 2001).

Los depósitos de la Fm Amaro evidentemente están relacionados con los eventos catastróficos del Limite K/T, que en los últimos tiempos se han investigado en superficie en la parte occidental y central de Cuba, por un equipo de trabajo cubano – japonés. (Iturralde, M., y otros, 2001). En la tesis de diploma de J. Fernández, 2005, se presentan algunas evidencias de este límite en pozos del yacimiento de Boca Jaruco donde se destacan el "cóctel" característico de microfauna de diferentes edades, el hallazgo de tectitas, etc.

En todas las formaciones estudiadas en superficie relacionadas con este evento se observa una brecha basal que puede haberse formado por ondas sísmicas debido al impacto del meteorito en Chicxulub que dieron lugar al colapso de los paleomargenes que rodeaban la paleocuena del Caribe. (Kiyokawa, S. *et al*, 2002, Tada, R, *et al*, 2003).

El paquete inferior registrado en los pozos estudiados se asemeja a las brechas basales, descritos en las Formaciones Cacarajícara y Peñalver, entre otros aspectos, en la escasez de matriz que indica una sedimentación rápida que no propició la deposición de fauna y matriz. Debe destacarse que en los depósitos de la Formación Amaro a diferencia de las formaciones anteriores, la composición de los clastos tiene una procedencia fundamentalmente del paleomargen de Bahamas y muy subordinadamente, del arco volcánico. Otra diferencia con los depósitos de las Fm Cacarajícara y Peñalver es que en estos pozos apenas se observa fauna de ambientes mas someros, a excepción



del N. 52 del pozo BJ 35, donde se reportan rudistas y foraminíferos orbitoidales, sólo observados en el paquete superior.

El paquete superior de floatstone y conglomerados calcáreos con soporte de matriz también presenta algunas similitudes con los depósitos de "homogeinitas" es decir calcarenitas masivas cuyo tamaño de grano decrece hacia arriba. En los depósitos de los pozos estudiados esto último no es obvio, pero puede ser debido a que la observación se realiza sólo por testigos de núcleos y que realmente no se ha realizado un análisis del tamaño de los granos, aunque en el pozo BJ 35, la parte inferior y media del N. 51, correspondiente al tope de esta secuencia, se registra grainstone / wackestone de bioclóstos de edad Maastrichtiano que coincide con la formación de capas superiores muy finas encontradas tanto en las Fm Cacarajicara y Peñalver, como producto de la floculación, cuando las aguas del mar quedaron tranquilas. En todos los núcleos de los pozos estudiados en este intervalo se observa abundante matriz calcárea pelítica con diversa fauna del Maastrichtiano Tardío que sugiere una deposición más lenta que la del paquete inferior. Esta secuencia se relaciona a grandes olas de tsunamis que provocan depósitos turbulentos de alta densidad. (Kiyokawa, S. et al, **op. cit.**, Tada, R, **et al, op. cit.**).

Así, vemos que el patrón sedimentológico encontrado en los depósitos relacionados al límite K/T en Cuba occidental y central en superficie es similar al hallado en los pozos y que el modelo de sedimentación propuesto por estos investigadores daría respuesta a los diferentes ciclos sedimentarios que observamos en el corte. Por ejemplo, las zonas de baja resistividad, que a pesar de estar poco documentadas por testigos, se registran en el pozo BJ 13 dos núcleos, el N. 27 (1912-1915 m) de 0,70 m de recuperación y el N. 28 (1929-29.8 m) con 0,6 m de recuperación, y se encuentran en una zona de baja resistividad. El N. 27, constituido por un packstone arcilloso bioclástico de edad Maastrichtiano y el N. 28 se describe un floatstone de abundante matriz con fauna de igual edad. En el resto de los núcleos de la parte de mayor resistividad, hay predominio de conglomerados con fragmentos mayores de 2 cm. Por lo que suponemos que serían dos ciclos de flujos gravitacionales separados cada uno por rocas de grano pelítico correspondientes a la parte alta de cada ciclo.

CONCLUSIONES

1. Se describen dos litofacies principales en la Fm Amaro: Conglomerados con soporte de matriz y conglomerados con soporte de grano. El primero en la parte superior del corte, correspondiendo a la EF 1 y la segunda relacionada con las EF 2 y 3, en la parte inferior.
2. Se define la edad Maastrichtiano tardío en el paquete superior, mientras que en el segundo se presenta muy escasa fauna de esta edad a excepción del BJ 13, donde se comprueba la edad Maastrichtiano.
3. Se reporta por primera vez para este yacimiento una asociación de foraminíferos planctónicos del Daniano en la base de la Fm Vega Alta en el n. 51 del BJ35, que sobreyace a las rocas de Amaro.
4. Se plantea la hipótesis de que ambos paquetes de la Fm Amaro encontrados en el yacimiento son el resultado de una deposición relacionada con los eventos catastróficos del Límite K/T y que corresponden a dos ciclos sedimentarios de origen diferente. El inferior, relacionado con un flujo gravitacional y el superior, originado por decantación a partir del agua cargada de lodo y partículas de arena, provocada por tsunamis.



BIBLIOGRAFÍA

- Fernández, G., F. Quintas, J. R. Sánchez, J.L. Cobiella, 1991. El límite Cretácico-Terciario en Cuba. *Revista de Minería y Geología* (Cuba), 8(1): 69-85
- Fernández, J., 2005. Acerca del Límite Cretácico-Terciario (K/T) en pozos de la Franja Norte Cubana de crudos pesados. Tesis de Diploma. Archivo Técnico CEINPET
- Fernández, J., S. Blanco, L. Pérez, 2006. Acerca del límite Cretácico - Terciario en pozos de la Franja Norte Cubana de crudos pesados. *Memorias de la III Jornada Científica CEINPET-CUPET*. ISBN 959-234-059-5
- Iturralde, M., T. Matsui, R. Tada, E. Tajika, T. Oji, H. Takayama, K. Goto, S. Kiyokawa, D. García, R. Rojas, C. Díaz, 2001. Eventos paleoambientales y paleobiológicos registrados en las rocas cubanas posiblemente relacionadas con la caída de un asteroide en el Caribe hace 65 millones de años. CD, editado por el Centro Nacional de Información Geológica. ISBN 959-7117-14-
- Kiyokawa, S. *et al*, 2002. Cretaceous-Tertiary boundary sequence in the Cacarajicara Formation: an impact related high energy, gravity flow deposit. *Geol. Soc. of American* (U.S.A), 356: 123-144
- Sliter, W. V., 2001. Biostratigraphic zonation for Cretaceous planktonic foraminifers examined in thin section. *Journal of Foramin. Research* (U.S.A.), 19 (1): 1-19, Pl: 1-3
- Tada, R, *et al*, 2003. K/T boundary deposits in the Paleo-Western Caribbean basin. *AAPG Memoir* (U.S.A), 79:582-604
- Valladares, Silvia *et al*. Informe del Proyecto 2006: Reservorios Carbonatados de Cuba. Etapa 1: Reservorios Carbonatados Pertenecientes a la UTE Placetas. Informe inédito. Archivo Técnico CEINPET, 1997
- Vilain Milian, Alexis *et al*, 1998 Informe del Proyecto 2115: Recuperación Mejorada de Petróleo del Yacimiento Boca de Jaruco. Etapa 1: caracterización del Reservorio. Informe inédito. Archivo Técnico CEINPET





Fig. 2 Resumen de los Resultados Sedimentológicos, Bioestratigráficos y Geofísicos

FM.	COLUMNA LITOLOGICA	LITOFACIES	MICROFACIES	BIOEVENTOS / EDAD	ELECTROFACIES	TIPO DE RESERVORIO	EJEMPLOS	MICROGRAFIA
VEGA ALTA			Packstone de bioclásticos, Mudstone calcáreo	<i>Parasubbotina pseudobulboides</i> <i>Subbotina trilobuloides</i> Daniano			BJ-35 N-51	
AMARO -1		Conglomerado de matriz sopartada	Packstone / Grainstone de bioclásticos, Conglomerado calcáreo matriz mudstone calcáreo Floodstone intradástico Mudstone calcáreo finamente recristalizado	<i>Albathophalus mayarcensis</i> <i>Contusotruncana contusa</i> <i>Racemiguembelina fructicos</i> <i>Plumeria hanfkenioides</i> Fauna de K-J Maastrichtiano Superior Zona de <i>Albathophalus mayarcensis</i>		Fracturado porosidad secundaria m oólica e intercristalina	BJ-35 N-52-57 (1756-1870) BJ-33 N-1-11 (1818-1925) BJ-13 N-14-26 (1790-1907)	
AMARO -2		Conglomerado granos sopartado	Packstone bioclástico arcilloso Floodstone intradástico conglomerado calcáreo cemento de poro y contacto	<i>Globotruncanella havanensis</i> <i>Contusotruncana sp</i> <i>Kuglerina rotundata</i> <i>Racemiguembelina sp</i> <i>Globotruncanidae</i> Fauna de K-J Maastrichtiano En los fragmentos: Fauna del K-J En la matriz <i>Hedbergella spp</i> <i>Globotruncana sp</i> <i>Globigerinellidae sp</i> Cretácico Superior		Fracturado brechado poroso	BJ-13 N-27-42 (1907-2200) BJ-33 N-12-26 (1925-2215) BJ-35 N-59-62 (1870-2040)	

ACERCA DEL LÍMITE CRETÁCICO-TERCIARIO (K/T) EN POZOS DE LA FRANJA NORTE CUBANA DE CRUDOS PESADOS

Autores: Jaivin Fernández Pérez⁽¹⁾, Silvia Blanco Bustamante⁽¹⁾, Lourdes Pérez Estrada⁽¹⁾.

**Centro de Investigaciones del Petróleo. Washington #169 esq Churruca, Cerro. Ciudad de la Habana. Cuba.
C Elect.**

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo. Ceinpet, Washington No 169 esq. Churruca. Cerro. Ciudad de la Habana. Cuba. CP.12000 jaivin@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

Con el objetivo de definir el límite Cretácico-Terciario, atendiendo a las variaciones en las asociaciones de foraminíferos planctónicos, se estudiaron algunos núcleos de pozos de Yumurí y Boca de Jaruco, pertenecientes a la Franja Norte Cubana, teniendo en cuenta sus registros previos de Paleoceno Inferior y Cretácico Superior. Luego de observar detalladamente las muestras, se reconocieron un total de 34 especies de foraminíferos planctónicos, de las cuales 26 corresponden al Cretácico y solo 8 al Daniense. Las especies del Cretácico se incluyen en 18 géneros y 6 familias y su preservación es por lo general buena, mientras que las 3 especies reportadas para el Paleoceno corresponden a 7 géneros y 3 familias y la preservación es por lo general regular. Solamente el 29,4% de los **taxa** que habitan en el Maastrichtiense sobreviven al límite Cretácico-Terciario, o de lo contrario pudiera tratarse simplemente de ejemplares retrabajados, de cualquier manera, y teniendo en cuenta el efecto Signor-Lipps, el patrón de extinción parece ser catastrofista. En el presente trabajo se reconoció la biozona de *Abathomphalus mayaroensis* para el tope del Maastrichtiense, en la cual fue reportada por primera vez en el subsuelo la especie la especie *Plumerita hantkeninoides*. También se identificaron las biozonas de *Parasubbotina pseudobulloides* y *Praemurica trinidadensis* para el Paleoceno basal. Se realizó, además, una comparación con los resultados obtenidos del informe final de las investigaciones cubano-japonesas en superficie (Iturralde, M., T. Matsui et al., 2002), y arrojó que prácticamente se obtuvieron los mismos indicios del impacto del meteorito (con excepción del cuarzo choqueado). Estos indicios son los siguientes: 1- Presencia de esferulitas; 2- Determinación de la edad de la roca (65 millones de años); 3- Presencia del coctel paleontológico; 4- Litología muy similar a la de la superficie, en la cual se encontraron evidencias sedimentológicas de la ocurrencia de tsunamis; 5- Posible presencia de iridio, determinada a partir de los registros gamma.

ABSTRACT

With the objective of defining the Upper Cretaceous-Lower Paleocene transition were studied some cores of wells of Yumurí and Boca de Jaruco oil fields based in planktonic foraminifera.

Were recognized a total of 34 species of planktic forams, of wich 26 correspond to Upper Cretaceous and 8 to Danian (Lower Paleocene). The species of Upper Cretaceous are included in 18 genera and 6 families and their preservation is in general good, while the 3 species reported for Paleocene correspond to 7 genera and 3 families and the preservation is regular.

Only the 29,4% of the taxa of the maastrichtian survives to Upper Cretaceous-Lower Paleocene transition or other wise it could simply be about reworked or considering the effect Signor-Lipps the extinction may be catastrophist.

In this paper, was recognized the biozone of Abathomphalus mayaroensis for the Upper Maestrichtian in which was reported for the first time the species Plumerita hantkeninoides. The biozones Parasubbotina pseudobulloides and Praemurica trinidadensis were identified for lower Paleocene.

We were carried out also, a comparasion with the obtained results of the final report of the Cuban-Japanese investigations in surface (Iturralde, M., T. Matsui et to the one., 2002).

We reported in subsurface: 1-Presence os spherulites; 2-The age of the rock (65 million years); 3-Presence of "coctail paleontological"; 4-The lithologyis very similar to that of the surface wiht evidence of tsunamis and 5-Possible iridium presence for logging.

INTRODUCCIÓN

En 1979 fue propuesta en un congreso la teoría del impacto meteorítico por un equipo americano dirigido por Louis Álvarez, quien posteriormente en 1980 publicara dicha teoría. Para llegar a esta conclusión, Álvarez se basó en el hallazgo de una capa de arcilla negra, con un alto contenido de Iridio , marcando el límite entre las rocas de edad Cretácico y las de edad Terciario , en la localidad de Gubbio , Italia. Esta hipótesis impactista fue favorecida con el hallazgo de un cráter de impacto en la península de Yucatán (México), producido por un gran meteorito de más de 10 km de diámetro y datado de hace 65 millones de años (Arz *et al*, 2000), denominado "Cráter de Chicxulub" , por el nombre de esa localidad en lengua Maya.

Como toda teoría científica, esta, contó con muchos seguidores, pero también con algunos detractores que proponían un patrón de extinción gradual. Esta controversia la desencadenó en 1990 la científica Gerta Keller basada fundamentalmente en que las pruebas aportadas por investigadores que apoyaban el patrón catastrofista podían presentar problemas en la continuidad del registro estratigráfico , en la intensidad del muestreo, la cantidad de muestra y el efecto Signor – Lipps (Molina ,2002). En medio de esta disyuntiva se realizó un test ciego a cuatro reconocidos especialistas (Canudo, Master, Olsson y Orue Etxebarría), los cuales estudiaron las mismas muestras del estratotipo del límite KT del Kef (Tunicia). Los resultados se publicaron en 1997, el patrón resultó ser el catastrófico (Arz *et al*, 2000). A pesar de esto la controversia ha trascendido hasta la actualidad, y hoy en día se debate sobre este tema en congresos internacionales.

El presente trabajo tendrá como objetivo los siguientes:

- 1- Definir el límite K/T en pozos de perforación de petróleo, teniendo en cuenta la variación de Foraminíferos Planctónicos.
- 2- Reconocer las biozonas de Foraminíferos Planctónicos para el Maastrichtiano Superior y daniano.
- 3- Reconocer indicios del impacto en el subsuelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para obtener los resultados necesarios en esta tesis se hizo un levantamiento de los datos micropalenteológicos registrado en las tarjetas de núcleos de los pozos de los yacimientos Yumurí y Boca de Jaruco que se encuentran en el archivo técnico del Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET). Estos yacimientos se escogieron por sus registros previos de Paleoceno Inferior (Danianiense) y Cretácico Superior (Maastrichtiense), y de ellos se seleccionaron aquellos núcleos que eran más representativos de estas edades. Se prepararon secciones delgadas y realizaron nuevos lavados de las muestras de núcleos elegidos previamente, siempre teniendo en cuenta el

pequeño tamaño de la microfauna del Paleoceno bajo, por lo que se efectuaron los lavados con un tamiz de malla fina (100-120 μ m).

Las muestras lavadas de los pozos estudiados se observaron a través del microscopio binocular estereoscópico WILD HEERBRUGG que logra un aumento de hasta 500x. Por su parte las muestras de secciones delgadas de los núcleos de Boca de Jaruco fueron vistas mediante el microscopio biológico LEYCA, que puede alcanzar un aumento de hasta 1000x.

Lamentablemente, no se halló un corte donde pueda observarse el límite K/T en un solo pozo debido a que es una sección muy tectonizada y sobre todo, que en pozos los núcleos están generalmente distanciados. A pesar de esta dificultad se pudo encontrar una microfauna representativa del Paleoceno Basal en los pozos de Yumurí y foraminíferos planctónicos del Maastrichtiense Superior en algunos pozos de Boca de Jaruco.

Los pozos seleccionados para este trabajo aparecen en la tabla I.

De estos núcleos se estudió detalladamente la asociación microfaunal, específicamente los foraminíferos planctónicos.

No fue posible un estudio cuantitativo de la distribución de los taxones debido que esto es un proceso muy trabajoso y por lo tanto requiere mucho tiempo. Esto hubiera sido lo ideal para resultados más precisos, por lo que consideramos este estudio como preliminar en cuanto al tránsito de las asociaciones de foraminíferos planctónicos en el límite en cuestión. Mediante los estudios de estas muestras, además de la composición de las asociaciones, se determinó el grado de preservación de las especies.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de especies de foraminíferos planctónicos reconocidas en las muestras estudiadas se eleva a 34. De ellas, 26 especies corresponden al Cretácico y solo 8 se reportaron en el Daniense. Los resultados de este análisis se presentan en las Tablas 1 y 2. Las especies del Maastrichtiense, corresponden a 18 géneros, pertenecientes a 6 Familias. Estos datos nos indican una alta diversidad tanto genérica como específica en esta edad. La preservación de los microfósiles es generalmente buena y es en general abundante, en dependencia de la litología, ya que a pesar de que ésta es uniforme, referida fundamentalmente a brecha – conglomerados, se observa que cuando la relación fragmentos / matriz es grande la fauna del Maastrichtiense disminuye. Se registran 8 taxones redepositados correspondientes a diferentes niveles del Cretácico y del Jurásico Superior. La preservación de los microfósiles redepositados es variable y se registra en fragmentos y en la matriz de la brecha.

En lo que respecta al Daniense, las especies reportadas corresponden a 7 géneros que pertenecen a 3 familias. Por lo que el comparativamente con el Maastrichtiense la diversidad es muy baja. La preservación de los microfósiles es generalmente regular, debido a la recristalización de los ejemplares. Se reporta 9 taxones del Cretácico, fundamentalmente del Maastrichtiense y solo en el Yumurí 40 N. 2 se reporta fauna del Cretácico Medio. La preservación de ésta es igualmente variable pero siempre la diversidad es menor que en los depósitos del Maastrichtiense.

Bioestratigrafía

Después del estudio micropaleontológico detallado de las muestras seleccionadas para este estudio se procedió al reconocimiento de las biozonas basándonos en las establecidas para superficie por G. Fernández, 1991. (Ver figura 5). La autora reporta para el Daniense 3 biozonas: ***Globigerina eugubina*** (= ***Parvularuglobigerina eugubina***), ***Morozovella pseudobulloides*** (= ***Parasubbotina pseudobulloides***) y en el tope del Daniense: ***Morozovella trinidadensis*** (***Praemurica trinidadensis***). En los pozos no se logró identificar la biozona inferior de ***P. eugubina***, probablemente debido al reducido número de núcleos con que contábamos de esa edad, por lo que no se puede argumentar la ausencia de ésta como una discontinuidad de la sedimentación.

Para el tope del Maastrichtiense se reconoce muy bien la biozona de ***Abathomphalus mayaroensis*** definida por la misma autora (***op. Cit***)

Patrón de extinción de las especies de foraminíferos planctónicos

De los 34 taxa correspondientes al Cretácico Superior, encontrados en las muestras de los pozos Boca de Jaruco 13, 20 y 35, solamente 9 fueron identificadas en las muestras del Paleoceno Basal (en los pozos Yumurí 40, 7 y 7^a), es decir, solamente el 29,4% de los **taxa** que habitan en el Maastrichtiense sobrevivieron al límite Cretácico-Terciario. Por supuesto, aquí debemos contemplar el efecto Signor Lipps, que puede introducir errores en los resultados obtenidos, debido al reducido número de muestras del Daniano observadas, a pesar de que dichas muestras fueron estudiadas detalladamente. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, y lo antes mencionado el patrón de extinción parece corresponder a un patrón de extinción catástrofica.

Importancia de los depósitos estudiados en la exploración petrolera.

En este estudio en particular, los microfósiles marcadores del límite K/T son de gran interés ya que este intervalo están asociados a eventos geológicos que abarcan aspectos tan importantes como es el conocimiento de rocas que constituyen reservorios, como es el caso de las rocas del Maastrichtiense. Estos depósitos se relacionan a la Formación Amaro. Otro aspecto muy importante en la exploración de petróleo es los depósitos que conforman el sello, ya que éste no permite la fuga del petróleo por ser rocas muy impermeables. Los depósitos del Paleógeno Inferior son el sello regional de los yacimientos de la Costa Norte Cubana y se relacionan a la Formación Vega Alta.

Comparación de los resultados del estudio del límite K/T en superficie y el subsuelo.

Tomando en consideración los resultados del informe final de las investigaciones cubano-japonesas (Iturralde, M., 2004) donde se estudiaron depósitos relacionados al límite K/T fundamentalmente de las provincias occidentales en las siguientes localidades: Moncada (Pinar del Río), Loma Cornelia (Pinar del Río), Cantera Peñalver (La Habana), Cantera de Minas (La Habana), y la Cantera Jesús María (Cidra, Matanzas), se realiza una breve comparación de los resultados en superficie con el subsuelo.

Los indicios del impacto, detectados en rocas cubanas en la superficie, son los siguientes: (1) presencia de cuarzo impactado, (2) presencia de esférulas o microtéctitas, (3) contenidos anómalamente altos de Iridio, (4) determinación de la edad de las rocas, como de 65 millones de años, (5) evidencias sedimentológicas de la ocurrencia de olas gigantes (tsunamis), (6) Presencia del cóctel paleontológico.

En el presente trabajo se ha determinado una asociación de foraminíferos planctónicos del Maastrichtiense Tardío correspondiente a la biozona de **A. mayaroensis**, por lo que la edad es específicamente de 65 millones de años, edad que se supone haya ocurrido el impacto del meteorito. En esta capa es conspicua la gran cantidad de fragmentos de edades más antiguas, desde el Jurásico Superior hasta de diferentes niveles del Cretácico. Aunque es de destacar que inclusive es característico en la matriz de la roca taxones mas antiguos juntos con los microfósiles del Maastrichtiense. Todo lo anterior nos permite asegurar la presencia del cóctel paleontológico en el subsuelo al igual al reportado en las formaciones de superficie. Otro aspecto de interés hallado en este estudio, es la presencia de un fino horizonte arcilloso con abundancia de radiolarios y espículas de esponjas el cual no se ha podido datar debido a la mala preservación de la microfauna (B.J. 13 N. 13 y B.J. 35 N. 50). No se observa foraminíferos planctónicos en las muestras estudiadas aunque pudiera ser debido a la recristalización de la microfauna. las rocas de superficie

Lo curioso de este horizonte es que corresponde con un pico del registro gamma, que mide la radioactividad de las rocas. Esto pudiera corresponder a la capa arcillosa rica en iridio detectada en superficie. Por supuesto, sería necesario estudios de isótopos especiales para una comprobación, aunque por su posición por encima de los depósitos del Maastrichtiense tardío y su litología no es descabellada esta hipótesis.

Otro dato que indica evidencia del impacto en estos depósitos del subsuelo, es el hallazgo de esferulitas en el Boca Jaruco 20 N. 28 y Yumurí 40 N. 3.

CONCLUSIONES

1. El análisis cualitativo de las muestras de los pozos estudiados arrojó que para el Maastrichtiano existe una asociación faunal con una alta diversidad donde predominan las familias Globotruncanidae y Heterohelidae, mientras que en el Daniano las asociaciones son muy pobres y están mal preservadas.
2. Se reconocen 2 biozonas de foraminíferos planctónicos para el Daniano (***Parasubbotina pseudobulloides*** y ***Praemurica trinidadensis***), no habiéndose hallado la biozona de ***Parvularugoglobigerina eugubina***. Para el Maastrichtiano se identifica la biozona de ***Abathomphalus mayaroensis*** la cual representa la parte más alta del Maastrichtiano.
3. Solamente el 29,4% de los **taxa** del Maastrichtiense se encontraron en las muestras del Paleoceno Basal, pudiendo tratarse de posibles sobrevivientes al límite K/T, o de ejemplares redepositados; en cualquier caso este resultado sugiere un patrón de extinción catastrofista.
4. Se encontraron indicios del impacto en subsuelo dados por la presencia de esferulitas, determinación de la edad de las rocas en 65 millones de años, presencia del "cóctel" paleontológico, semejanzas litológicas de las rocas del subsuelo con las de la superficie, presencia de un horizonte arcilloso con abundancia de radiolarios y espículas de esponjas que se corresponden con un pico del registro gamma el cual pudiera estar vinculado con la capa arcillosa rica en iridio detectada en superficie.
5. Se reportó por primera vez en el subsuelo la especie ***Plummerita hantkeninoides***, en la biozona de ***Abathomphalus mayaroensis***, que marcan los 200 000 últimos años en el área de estudios, del Maastrichtiano.
6. Además de apreciarse las evidencias del impacto de un meteorito, se puede deducir la ocurrencia de procesos tectónicos, a partir de la cantidad de fósiles redepositados en las muestras del Daniano.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arz, J. A., I. Arenillas, E. Molina, R. Sepúlveda, 2000. La estabilidad evolutiva de los foraminíferos planctónicos en el Maastrichtiense Superior y su extinción en el límite Cretácico/Terciario de Caravaca, España. *Revista Geológica de Chile* (Chile), 27(1): 27-47.
- Fernández, G., F. Quintas, J.R. Sánchez, J.L. Cobiella, 1991. El límite Cretácico-Terciario en Cuba. *Revista de Minería y Geología* (Cuba), 8(1): 69-85
- Iturralde, M. A., 2004. Origen y evolución del Caribe y sus biotas marinas y terrestres. CD, editado por el Centro Nacional de Información Geológica. ISBN 959-7117-14-2.
- Molina, E., 2002. Micropaleontología. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza: 634p.

Pozos	Núcleos	Profundidad/ m	Edad
Yumurí- 40	3	1687-1692	Danianiense
Yumurí-7	6	1145-1148	Danianiense
Yumurí-7 ^a	2	1472,5-1478	Danianiense
Boca de Jaruco-20	28	1789,5-1790,9	Maastrichtiense
Boca de Jaruco-13	13	1784,2-1785,2	Indeterminado
Boca de Jaruco-13	14	1804,8-1805,6	Maastrichtiense
Boca de Jaruco-13	15	1844,8-1845,6	Maastrichtiense
Boca de Jaruco-13	16	1872-1872,7	Maastrichtiense
Boca de Jaruco-13	17	1872,7-1873,3	Maastrichtiense
Boca de Jaruco-13	18	1873,3-1873,8	Maastrichtiense
Boca de Jaruco-13	19	1873,8-1874,2	Maastrichtiense
Boca de Jaruco-13	20	1874,4-1875	Campaniense- Maastrichtiense
Boca de Jaruco-13	21	1875,1-1876,7	Campaniense- Maastrichtiense
Boca de Jaruco-13	22	1876,7-1878,3	Maastrichtiense
Boca de Jaruco-13	23	1878,3-1879,7	Campaniense- Maastrichtiense
Boca de Jaruco-13	24	1879,7-1881,7	Maastrichtiense
Boca de Jaruco-35	50	1749-1750,5	Indeterminado
Boca de Jaruco-35	51	1755,5-1756,4	Campaniense- Maastrichtiense
Boca de Jaruco-35	52	1762-1763	Maastrichtiense
Boca de Jaruco-35	53	1773-1774	Campaniense- Maastrichtiense
Boca de Jaruco-35	54	1789-1790	Campaniense- Maastrichtiense
Boca de Jaruco-35	55	1803,1-1804,6	Maastrichtiense
Boca de Jaruco-35	56	1820-1821,7	Maastrichtiense
Boca de Jaruco-35	57	1848-1849	Maastrichtiense

Tabla I.

PERPECTIVAS DE UTILIZACION COMO REFRACTARIOS DE LAS ULTRABASITAS ASOCIADAS A LA MINERALIZACION CROMIFERA DE LA PROVINCIA CAMAGÜEY

Reynaldo La Rosa Vázquez⁽¹⁾, Carlos A. Leyva Rodríguez⁽²⁾, Rubén González Pontón⁽¹⁾, Beatriz Lao Ramos⁽¹⁾, Israel Alemán Trotman⁽¹⁾, Jorge Pérez Acosta⁽¹⁾, Francisco Rodríguez Elias⁽¹⁾ y José Pérez Pérez⁽³⁾

(1) Empresa Geominera Camagüey, Carretera Central Este Km 5 Provincia Camagüey C.P. 70100

(2) Instituto Superior Minero Metalúrgico, Las Coloradas s/n, Moa, Prov. de Holguín, C.P. 83329

(3) Empresa Metalúrgica Camagüey, Carretera Central Oeste Km 6 Provincia Camagüey

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar las litologías constituyentes del material estéril y de rechazo producto de la explotación de los yacimientos cromíticos asociados al complejo ofiolítico en la provincia de Camagüey, con vistas a conocer sus perspectivas reales de utilización, especialmente como materia prima refractaria, logrando un aprovechamiento racional de estos recursos.

Se profundiza en la evaluación geólogo tecnológico de las litologías asociadas al yacimiento de cromo Mina Lolita, por tener grandes volúmenes de escombros producto de su explotación antes del triunfo de la Revolución y que hoy continúan dañando el ecosistema del lugar.

La mayoría de los talleres de fundición del país emplean la arena sílice como materia prima principal en la elaboración de los moldes de arena y en el caso de nuestra provincia son traídas desde el occidente del país, sin embargo las litologías caracterizadas poseen perspectivas de aplicación inmediata con el consiguiente ahorro de recursos materiales y financieros, así como un menor grado de contaminación a la salud humana.

Las pruebas tecnológicas realizadas demuestran la posibilidad de emplear a las dunitas serpentizadas y las litologías ultrabásicas asociadas para la elaboración de las pinturas antiadherentes y las mezclas de moldes de arena.

El valor práctico de esta investigación está determinado por el aprovechamiento de los escombros del laboreo minero de los yacimientos de cromita para la obtención de productos refractarios de gran aplicación en la Industria Sideromecánica y la disminución de las afectaciones que provoca al ecosistema.

ABSTRACT

The present work has as objective to characterize the constituent lithologies of the waste or rejection product of the chromite deposits exploitation associated to the ophiolite complex in the Camagüey province, with a view to knowing its real perspectives of use, especially as refractory raw material, achieving a rational use of these resources.

It is deepened in the technological and geologic evaluation of the lithologies associated to the chromite deposit Mina Lolita, due to big volumes of brashes of their exploitation before the victory of the Revolution and that today they continue damaging the ecosystem of the place.

Most of the shops of foundry in the country use the sand silica like main raw material in the elaboration of the molds of sand and in the case of our province they are brought from the occident, however the characterized lithologies possess perspectives of immediately use with the consequent saving of material and financial resources, as well as a smaller degree of contamination to the human health.

The technological tests carried out demonstrated the possibility to use the serpentized dunites and the ultrabasic lithologies associated, for the elaboration of the refractory paintings and moulding sand.

The practical value of this investigation is determined by the use of the mining brashes of chromite deposits to obtain refractory products of wide use in the Siderurgic – mechanic Industry and the decrease of the affectations that it causes to the ecosystem.

INTRODUCCION

Antes del triunfo de la Revolución en la provincia de Camagüey se extrajeron volúmenes considerables de rocas duniticas y otras variedades de ultrabasitas, las cuales pasaron a formar parte de los escombros durante las labores de explotación de los yacimientos cromíticos "Mina Lolita" y "Mamina". Estas rocas aún se encuentran en grandes acumulaciones dañando el ecosistema del lugar y no posee actualmente ninguna utilidad, en el mejor de los casos se emplea como material de construcción simple.

En diferentes publicaciones de los trabajos de Pons, J.H. y Leyva, C.R. 1997 se han dado a conocer investigaciones que demuestran las posibilidades de empleo de estas materias primas como material refractario en diferentes empresas del país. En este trabajo se realiza la caracterización general de estas litologías de las zonas más importantes de las Ofiolitas de Camagüey (Ver figura 1) donde se localizan estos recursos y donde existen perspectivas inmediatas de comenzar a explotar los yacimientos de cromita; argumentándose las potencialidades existentes en cuanto a su utilización como pintura antiadherente, mezclas refractarias para revestimiento de hornos y como arena de moldeo y para machos; tomando en cuenta los resultados alcanzados en las investigaciones realizadas.

Perspectivas de utilización de las litologías asociadas a la mineralización cromífera de Camagüey.

Las rocas ultrabásicas que encajan la mineralización cromítica están comúnmente serpentinizadas, destacándose la presencia de Peridotitas, Dunitas y Serpentinitas



Figura 1 Asociación Ofiolítica de Camagüey.

Las Peridotitas están representadas por las variedades de la serie lherzolitas y Harzburgitas, las cuales no se distinguen macroscópicamente por ser rocas oscuras y compactas con matriz verdosa. Están compuestas por un 60-80 % de Olivino en forma de relictos rodeados por el crisotilo asbesto.

Las Dunitas se localizan en la parte inferior de la asociación ofiolítica y están muy propagadas dentro de los límites del yacimiento, recubriendo los cuerpos minerales. De forma general los cuerpos de Dunita se extienden a lo largo del contacto con los gabroides, separados de estos por una banda de rocas intensamente serpentinizadas. Las Dunitas serpentinizadas se caracterizan por poseer una estructura reticular, con la siguiente composición promedio: Olivino, 95-97 %; Piroxeno 3-5 % ; Espinelas cromíferas 0,5-1,0.

Al comparar los resultados de los análisis químicos de las rocas ultrabásicas de la Asociación Ofiolítica de los sectores de prospección de cromita de la región de Camagüey (Ver figura 1) se pudo comprobar que estas rocas aunque están muy serpentinizadas cumplen con las exigencias industriales como material refractario (ver Tabla I) y su composición química es similar a las rocas ultrabásicas de la región de Moa – Baracoa y de otros países del Mundo. (Ver tabla II)

Tabla I. Comparación de los parámetros de exigencias industriales de las ultrabásicas.

Exigencias	Dunitas Serpentizadas	Harzburgitas Serpentizadas	Lherzolitas Serpentizadas	Peridotitas Serpentizadas
Contenido de Al_2O_3 menor de 2.3%	0.26	0.85	0.77	0.53
Contenido de Fe_2O_3 menor de 6 %	8.82	7.17	9.25	7.89
Contenido de CaO menor de 1.5 %	0.22	0.53	0.81	0.24
Relación MgO / SiO_2 entre 0.94 y 1.33 %	1.23	1.01	0.92	0.96

Tabla II. Análisis químicos de las Dunitas de diferentes países.

Comptos	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO_2	40,55	40,88	41,32	40,96	38,66	40,4	37,4	33.98
Al_2O_3	0,05	0,11	0,01	0,21	1,96	1,14	1,21	0.11
Fe_2O_3	0,10	0,20	0,30	0,18	0,87	0,95	2,65	8.82
FeO	7,99	8,28	7,49	7,86	5,96	9,0	4,68	6.11
TiO_2	0,14	0,015	0,010	0,010	----	0,013	0,025	0.03
Cr_2O_3	0,06	0,02	0,04	0,02	0,32	0,23	0,31	0.20
CaO	0,06	0,03	0,29	0,15	1,09	0,25	0,47	0.23
MgO	50,37	50,10	49,56	50,45	38,72	47,5	41,7	42.12
Na_2O	0,06	0,02	0,01	0,01	0,04	0,01	0,05	0.10
K_2O	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,05	0.10
MnO	0,12	0,15	0,15	0,13	0,10	0,15	0,09	0.15
CoO	----	0,013	0,011	0,010	----	0,012	0,010	----
NiO	0,28	0,32	0,31	0,25	0,25	0,34	0,27	----
H_2O	0,13	0,23	0,60	0,29	0,26	0,8	0,35	----
P.P.I	10,20	9,86	9,75	10,45	11,12	10,25	12,50	12.6

- 1.- Dunitas de Twin Sisters, Washington. E.E.U.U.
- 2.- Webster, North Carolina. E.E.UU.
- 3.- Noumea, Nueva Caledonia.
- 4.- Dun Mountain, Nueva Zelandia.
- 5.- Galicia, España.
- 6.- Ste. Anne des Monts. Canadá
- 7.-Merceditas. Moa. Cuba.
- 8.- Lolita. Camagüey. Cuba

MATERIALES Y METODOS

Para la ejecución de este trabajo fue necesaria la compilación, revisión y análisis de las informaciones existentes en nuestros archivos y de los resultados de estudios mineralógico-petrográficos realizados anteriormente, composición química de la materia prima.

Las muestras de Dunitas serpentinizadas para realizar los ensayos tecnológicos fueron seleccionadas de las escombreras de una mina de cromo que fue explotada antes del triunfo de la revolución: Mina Lolita. Estas operaciones fueron realizadas de forma manual y luego se trasladaron a la muestrearía de la Empresa Geominera Camagüey para su trituración y posterior análisis granulométricos.

Las mezclas refractarias se realizaron para el revestimiento y junta de unión de ladrillos refractarios en la caja de fuego de la estufa de secado de moldes y machos. Está caja soporta una temperatura de 2200⁰ c. Los materiales utilizados en la confección de las mezclas refractarias fueron: (Ver tabla III).

Tabla III Receta utilizada para la preparación de las mezclas refractarias.

Componentes	Proporciones (%)
Dunita	33
Cromita	12
Magnesita	5
Silicato de Sodio	43
Agua	7

Primeramente se mezclaron el agua y la magnesita unos cinco minutos, luego se le agrego las arenas de dunitas y cromitas mezclándose unos tres minutos; por último se le añadió el silicato de Sodio.

Para la confección de las pinturas refractarias se utilizo la granulometria menos de 0.2 mm y para las mezclas de arenas refractarias para moldes se utilizaron la granulometria de mayor de 0.2 mm hasta 0.6 mm de la dunita Serpentinizada, además las materias primas utilizadas en la preparación de las mezclas fueron:

- Aglutinantes: Bentonita, Melaza, Aceite de Linaza, Silicato de Sodio
- Aditivos: Carbón Coque triturado, grafito, aserrín.
- Agua

Los ensayos tecnológicos se realizaron en la fundición Alejandro Areas Medina (Bomba de Agua), de la Empresa Metalúrgica de Camagüey, que forma parte del grupo industrial ACINOX del Ministerio de la Industria Sideromecánica.

RESULTADOS

Investigación de secciones delgadas

Fueron descritas más de 30 secciones del material que compone los escombros provenientes del proceso de beneficio manual, predominando de manera general las litologías siguientes: Dunita

serpentinizada, Serpentinita antigorítica, Harzburgita serpentinizada, Lherzolita serpentinizada, Peridotita serpentinizada

Los minerales que se pudieron determinar son: olivino, piroxenos monoclinicos (augita) y ortorrómbico (enstatita), minerales del grupo de la serpentina como antigorita, crisotilo, lizardita, minerales de alteración como clorita y bastita y minerales metálicos como cromita y magnetita.

Análisis Químico

Se analizaron más de 50 muestras representativas de los diferentes yacimientos, especialmente "Mina Lolita" en el Laboratorio "Elio Trincado" de la EGMO, en Santiago de Cuba.

Resultado promedio de los análisis químicos (%) realizados a las muestras de Dunitas de la escombrera del yacimiento de cromo "Mina Lolita".

Elementos SiO₂ Al₂O₃ TiO₂ CaO MgO Fe₂O₃ FeO MnO Na₂O K₂O Cr₂O₃ P.P.I.

M - Lolita 33,98 0,11 0,03 0,23 42,12 8,82 6,11 0,11 0,1 0,1 0,2 12,06

Análisis Granulométrico

Los resultados del análisis granulométrico realizado luego de la preparación mecánica muestran que alrededor del 60 % del material, se obtiene en la fracción + 0,2 - 0,63 mm, empleada en la preparación de las mezclas; mientras que de la fracción menor de 0,2 mm (usada en la confección de las pinturas) se obtiene el 30 %. El producto mayor de 0,63 mm representa el 5 % aproximadamente y es reciclado al proceso de preparación mecánica.

Tabla I Resultados del análisis granulométrico.

No.de Tamices	(mm)	Por ciento retenido (%)
1	2,5	0,20
2	1,6	0,50
3	1,0	4,00
4	0,63	21,2
5	0,40	16,2
6	0,315	6,1
7	0,20	14,5
8	0,16	4,9
9	0,10	12,5
10	0,05	6,5
Plato	----	12,4
Total	----	99,00
Pérdidas		1,00

A pesar del desarrollo que ha alcanzado en los últimos años el empleo de los métodos especiales de fundición para la obtención de productos de calidad, el proceso de producción de piezas que más se aplica en nuestro país sigue siendo el de moldes de arena.

Ensayos realizados como Mezclas Refractarias para Revestimiento.

Durante las pruebas realizadas con esta mezcla refractaria se pudo comprobar que fragua rápido, se adhiere con facilidad a los ladrillos, no se agrieta y es fácil de trabajar.

Investigaciones realizadas como pinturas antiadherentes

Las pinturas antiadherentes protegen las superficies de las piezas contra las costras de fundición, aumentan la resistencia superficial, disminuyen el desmoronamiento de los moldes y machos y aseguran la obtención de piezas con buen acabado superficial. Para disminuir las costras de fundición se utilizan pinturas compuestas por sustancias aglutinantes y materiales refractarios. Las pinturas aplicadas a las superficies del molde o macho crean una capa resistente de material refractario que impide la penetración del metal entre los granos de la mezcla.

Teniendo en cuenta las diferentes recetas se elaboraron las pinturas autosecantes a base de dunitas serpentinizadas como componente principal. Las pinturas obtenidas presentaron 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.

Investigaciones realizadas como mezclas de moldeo

La arena es el material básico para la conformación de las mezclas de moldeo utilizadas en la confección de los moldes y machos para los diversos tipos de aleaciones que usualmente se producen en los talleres de fundición.

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 siguiente: Dunita serpentizada 90%, Bentonita 6% y Melaza 4% con la cual se han obtenido los mejores resultados. Los ensayos mecánicos realizados a la mezcla de cara obtenida, mostraron buenas propiedades, todas dentro de los rangos permisibles. Con estas mezclas se moldearon diferentes tipos de piezas, fundidas posteriormente con aleaciones de hierro, aceros y aluminio. Las piezas obtenidas presentaban buen acabado superficial con contornos correctos y bajos por cientos de incrustaciones. Durante el proceso de moldeo se pudieron comprobar otras propiedades de la mezcla empleada como fueron: buena homogeneidad, plasticidad, compactibilidad y moldeabilidad.

Las mezclas para machos se prepararon a base de Dunita serpentizada como material principal, mezclándose con melaza o con silicato de sodio, teniendo en cuenta las recetas recogidas en la literatura, así como las experiencias acumuladas en los talleres de fundición de la Empresa Metalúrgica de Camagüey.

Las propiedades mecánicas de las mezclas obtenidas a base de Dunita y melaza se comportan acorde con los requisitos exigidos para este tipo de material. Además durante las pruebas realizadas con los machos preparados, se pudo comprobar su gran desmoldeabilidad, propiedad muy importante para este tipo de producto.

Análisis Económico

Datos Generales del Proyecto.

El presente estudio conceptual para el procesamiento de dunitas que constituyen el escombros de la explotación de los yacimientos de cromitas, evalúa la variante más sencilla para el beneficio de este mineral.

Costo de Inversión.

El costo de inversión presentado en este estudio tiene una magnitud de precisión del $\pm 30\%$. Todos los costos son estimados en divisa y en moneda nacional según correspondan.

Los objetos de obras presentados en las diferentes variantes, se desglosaron en: Equipos, construcción y montaje y otros.

Equipos: Se calcularon sobre la base de diferentes ofertas que han sido utilizadas anteriormente, datos propios, estimaciones sobre la base de la complejidad del equipamiento y por índices.

Se consideró un 15 % de imprevistos del valor total de los costos de inversión.

Capital de explotación: Se calculó sobre la base de 45 días de los costos de materiales, energía eléctrica, piezas de repuestos y otros gastos.

Costos de operación y precios.

El costo de operación presentado tiene una magnitud de precisión del $\pm 30\%$. El presente estudio ha tomado como precio base el de la arena sílice empleada por los talleres de fundición de 10.30/TM.

Financiamiento.

Se utilizó para el cálculo del financiamiento del costo total de inversión, una tasa de interés del 10 % y del 6 % para las divisas y la moneda nacional respectivamente, con un plazo de pago de 4 años. Ver tabla VI

CONCLUSIONES.

1. La composición sustancial de las dunitas serpentizadas de la región de Camagüey es similar a la zona de Moa Baracoa y de otros yacimientos importantes del Mundo.
2. Las rocas ultrabásicas (Dunitas, Iherzolitas, peridotitas, hazburgitas) asociadas a la mineralización de cromita de la región de Camagüey cumplen con su contenido químico con las exigencias industriales para refractarios.
3. Las pinturas antiadherentes preparadas a partir de las Dunitas serpentizadas de fracción menor de 0,2 mm, presentan excelentes propiedades y pueden ser aplicadas a diferentes moldes y machos, obteniéndose piezas con buen acabado superficial. La granulometría entre -0,63 + 0,2 mm puede ser empleada en la confección de las mezclas de moldeo (de cara y de relleno) y para machos, al poseer buenas propiedades mecánicas y poder moldear piezas que luego se obtienen con un buen acabado superficial.
4. La variada aplicación que poseen las dunitas en los talleres de fundición, unido a otras perspectivas de utilización aun en investigación, así como los recursos existentes en la región de Camagüey hacen de la misma una materia prima de grandes perspectivas para la economía de nuestro país.
5. El estudio conceptual para el procesamiento de dunitas serpentizadas, demuestra que la inversión es posible recuperarla en un período de 3.5 años.

6. El valor práctico de esta investigación está determinado por el aprovechamiento de los escombros del laboreo minero de los yacimientos de cromita de la región de Camagüey para la obtención de productos refractarios de gran aplicación en la Industria Sideromecánica y la disminución de las afectaciones que provoca al ecosistema el vertimiento de estos materiales durante su extracción y procesamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Capello, E. Tecnología de fundición. Ed. Gustavo Gili, S.A. Barcelona. España. 1974.
- Enríquez, F.G. Manual de fundidor. Ed. Científico-técnica. Ciudad Habana. Cuba. 1986.
- Enríquez, F.G. Mezclas de moldeo y pinturas antiadherentes. Ed. Científico-técnica. Ciudad Habana. Cuba. 1990.
- Leyva, C.R y Pons, J.H. Posibilidades de utilización de materias primas de la región de Moa como materiales refractarios y aislantes térmicos en las industrias del níquel. Revista minería y geología. Vol.13. No.1. 1996.
- Pons, J.H. y Leyva, C.R. Características generales de las dunitas de la región de Moa. Revista Minería y Geología (en edición), 1997.
- Pons, J.H. y Leyva, C.R. Aplicación de las dunitas en los talleres de fundición. Revista Minería y Geología No 1, 1997.

Tabla VI Flujo de caja total (mnac + mlc) después de los impuestos e intereses mn= 6% y mlc=10%

Concepto	Um	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	MP
Volumen de producción	Mtm		27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	276.5
Precio de venta	P/tm		10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	0.0
Valor de producción	Mp		285.3	285.3	285.3	285.3	285.3	285.3	285.3	285.3	285.3	285.3	2853.3
Costo de operación	Mp		136.9	136.9	136.9	136.9	136.9	136.9	136.9	136.9	136.9	136.9	1369.1
Costo financiero mnac.	Mp		1.4	1.4	1.0	0.4							4.1
Costo financiero mlc	Musd		29.3	29.3	20.5	8.8							88.0
Depreciación	Mp		52.7	52.7	52.7	52.7	52.7	52.7					316.2
Ganancia imponible	Mp		65.0	65.0	74.2	86.5	95.7	95.7	148.4	148.4	148.4	148.4	1075.9
Impuestos 35%	Mp		22.8	22.8	26.0	30.3	33.5	33.5	51.9	51.9	51.9	51.9	376.6
Ingreso neto	Mp		42.3	42.3	48.3	56.2	62.2	62.2	96.5	96.5	96.5	96.5	699.4
Depreciación	Mp		52.7	52.7	52.7	52.7	52.7	52.7					
Inversiones básicas	Mp	316.2											316.2
Inversiones de reposición	Mp					6.3				6.3			12.6
Capital de trabajo	Mp		12.4									-12.4	0.0
Flujo de caja acumulado	Mp	-316.2	82.6	95.0	101.0	102.6	114.9	114.9	96.5	90.2	96.5	108.9	686.7
Flujo de caja para el calculo del VAN y el TIR	Mp	-316.2	-233.6	-138.7	-37.7	64.9	179.8	294.7	391.2	481.3	577.8	686.7	
VAN 12.5 %	Mp												206.2
TIR.	%												28.2
Periodo de recuperación	Años												3.55

POTENCIAL PERSPECTIVO DE BENTONITAS EN LA PORCIÓN NORTE DE CUBA CENTRAL

Marcos Antonio Cabrera Toledo

Empresa Geominera Centro, Carretera de Malezas km 2.5, Santa Clara, Villa Clara, E-mail: marcos@egmc.vcl.cu

RESUMEN.

En la Región Norte de Cuba Central existe una franja de más de 900 km² con una potencia de 1.0.-1.9 m, antigua llanura marina, en la que durante un largo proceso evolutivo, se desarrollaron superficies o escalones morfoestructurales que propiciaron la acumulación de material arcilloso proveniente de cenizas volcánicas intemperizadas ubicadas en la parte sur central, dando origen a la Formación Camacho de edad cuaternaria (Q₃ cmc) en correspondencia con los suelos pesados montmorilloníticos gleysosos mapeados en la misma área, con amplia perspectiva para calcular recursos de bentonita superiores a los 100 millones de m³, existe argumentación suficiente para avalar esto por la existencia de fuentes de suministro de cenizas volcánicas fuente primaria de estas (En el Pleistoceno fueron depositados sobre calizas de la Fm Remedios y aluvios antiguos sedimentos meteorizados de rocas eruptivas, probablemente de los situados al Sur de la región (Fm Santa Clara, Fm, Palmarito, Fm Cotorro y Fm Hilario), que ocupa la parte superior del corte en una gran extensión y pequeña potencia. Este límite es erosivo

ABSTRACT.

In the North Region from Central Cuba exists a fringe of more than 900 km² with a thickness of 1.0.- 1.9 m. It was an old marine plain, in which during a long process, were developed surfaces or steps, that propitiated the accumulation of clay material originated from volcanic ashes. These geological sequences were located in the south central part of Cuba, giving origin to the Camacho Formation of quaternary age Q₃ cmc in correspondence with the heavy montmorillonitic soils, located in the same area. In this sector there is a wide perspective to find bentonites resources above 100 millions m³. Exists enough data to believe that because of the existence of these volcanic ashes, the primary source of these material. They were deposited in Pleistocen over the Remedios Formation and also aluvial old silts on limestones of the alteration of rocks volcanic, probably of them located to the South of the region (Santa Clara Formation, Palmarito Formation, Cotorro Formation, Monos Formation and Hilario Formation). All these sequences that occupy the upper part of the geological profile having a great extension and small thickness. This is an erosive geological boundary.

INTRODUCCIÓN .

En la porción norte de Cuba Central existe una llanura de origen marino que ha experimentado un largo proceso evolutivo, lo que ha condicionado la existencia de superficies o escalones morfoestructurales que propiciaron la acumulación de material arcilloso proveniente de cenizas volcánicas intemperizadas, formación de cortezas de intemperismo, relictos de litorales antiguos con zonas acumulativas, que dieron lugar a grandes terrazas marinas con potencia de las bentonitas de 1.0 m - 1.90 m.

Yace sobre arcillas arenosas y arenas arcillosas también cuaternarias que llegan a alcanzar hasta 10.m de profundidad.

Estos sedimentos cuaternarios están presentes en la formación Camacho(Q₃ cmc) y .yacen sobre calizas de la Formación Remedios (J_{3th}-K_{2m}).

Existen datos para argumentar esta franja de arcillas bentoníticas:

- ❖ Existencia de fuentes de suministro de cenizas volcánicas fuente primaria de estas (En el Pleistoceno fueron depositados sobre calizas de la Fm Remedios y aluvios antiguos sedimentos meteorizados de rocas eruptivas, probablemente de los situados al Sur de la región (Fm Santa Clara, Fm, Palmarito, Fm Cotorro y Fm Hilario), que ocupa la parte superior del corte en una gran extensión y pequeña potencia. Este límite es erosivo.
- ❖ Correspondencia de las arcillas bentonitas con la Formación Camacho así como con los suelos pesados gleysosos mapeados en la parte norte de la porción central.
- ❖ Presencia de dos cuencas en esta área Sagua y Sagua la Chica de influencia directa en esta morfo estructura.
- ❖ Condiciones de sedimentación apropiadas en esta morfoestructura ,sedimentación marina en condiciones de circulación restringida y en un medio alcalino que propiciaron la formación de capas de arcillas bentoníticas.
- ❖ Existencia de un yacimiento de bentonita en la Formación Camacho en esta franja.
- ❖ Presencia de puntos de bentonita documentados en esta franja, así como áreas con recursos hipotéticos , ya utilizados en industrias con este fin.
- ❖ Presencia de potentes espesores de sedimentos volcánicos al sur de esta franja cortados por pozo petrolero, en el límite del arco volcánico.

Las bentonitas son silicatos alúmicos hidratados con alta capacidad de absorción arcillas de composición terrosa- coloidal compuestas por una mezcla de minerales del grupo de la esmeltita tales como: montmorillonita (13 - 17.9 %) y nontronita (37.2 - 48.2 %)

MATERIALES Y MÉTODOS.

Para la realización de este trabajo fue necesario el procesamiento de toda la información existente:

- ❖ Consulta de los informes existentes del área..
- ❖ Correlación de la información relacionada con las arcillas bentoníticas ,tanto en Formaciones ,como mapeo de suelos.
- ❖ .Determinación de los Índices Directos e Indirectos para la presencia de las arcillas bentoníticas en la Región Central de Cuba.

RESULTADOS.

- Delimitación de un área potencial perspectiva de más de 900 km² para arcillas bentoníticas en la parte norte de Cuba Central.
- Posibilidades de realizar una prospección de bentonitas en esta área y potenciar una gran industria en Cuba Central.

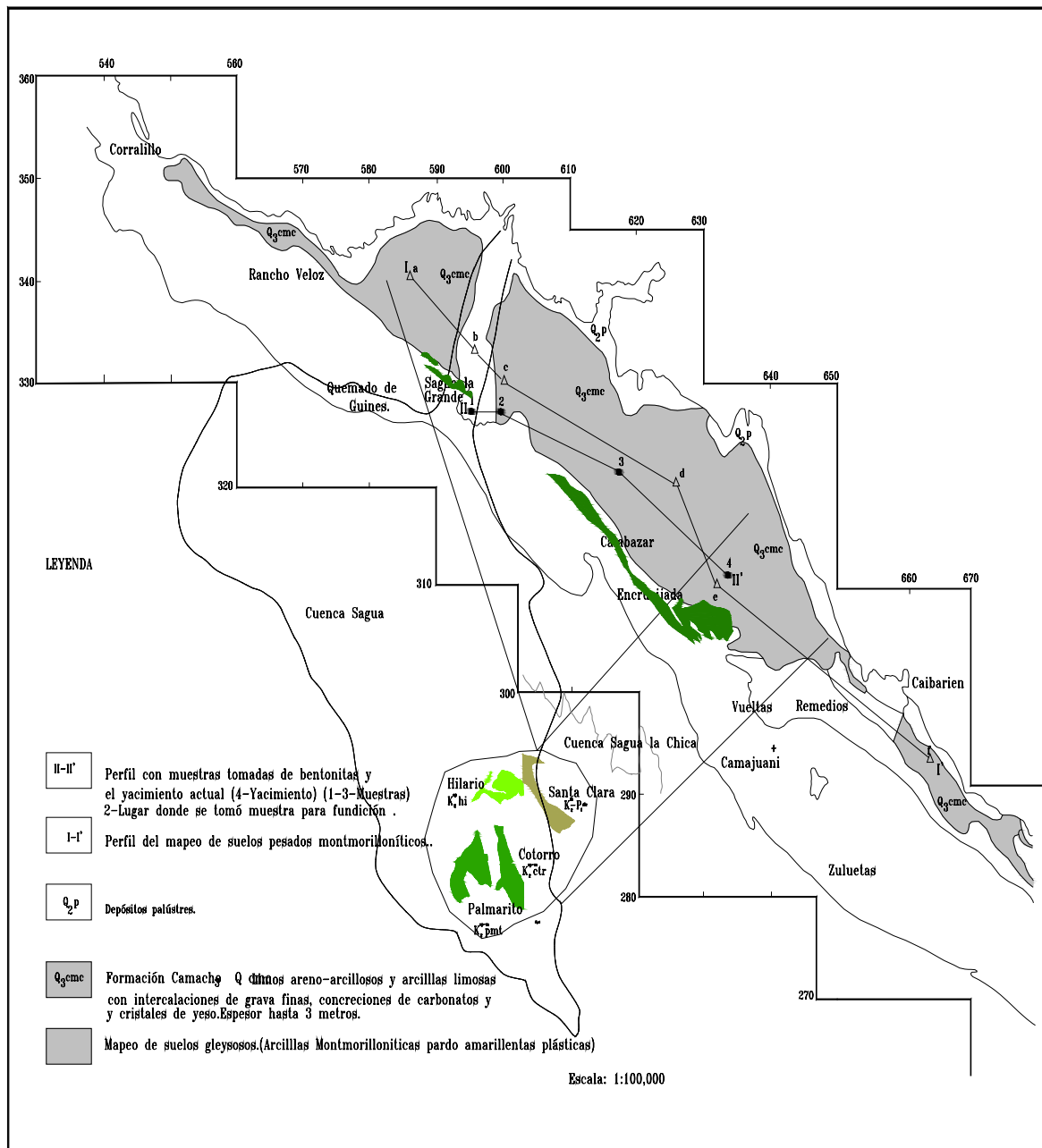
CONCLUSIONES:

- 1) Realizar una valoración económica de la factibilidad de realizar una prospección de este mineral en la Región Central.
- 2) Este trabajo es de suma importancia, pues abre las posibilidades de potenciar la industria de la bentonita en Cuba Central.

BIBLIOGRAFÍA.

González S 1985 et. al .Informe de Exploración Otva y Detallada Bentonita Chiqui Gómez
González S 1999 et .al .Informe de Exploración de Explotación Bentonita Chiqui Gómez
Cabrera M 2001 Investigación de agromenas sector 1 ,2 Cuba Central
Vázquez Claro, Cabrera M et al 1999 Esquema Geológico de la Zona norte de Cuba Central Escala 1:50000.
Kantchev et al., 1975 Levantamiento Geológico 1:250000.
Vázquez C. 1988 et al Levantamiento Geológico Las Villas III
Informes del CIPIMM sobre las bentonitas .

ESQUEMA DEL ÁREA.(Figura 1)



EVALUCION QUIMICO MINERALÓGICA ASOCIADA A UN SECTOR DEL YACIMIENTO DE CIENOS CARBONATADOS SUR DE CAYO MOA GRANDE, HOLGUIN

Víctor Estrada Sanabria⁽¹⁾, Jesús Véliz Basabe⁽¹⁾ y Gustavo Godínez Barrera⁽¹⁾

(1) GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina, Regla, CP 112000, Ciudad de La Habana, Cuba. E-mail: materia@emarinos.geocuba.cu

RESUMEN

Para la concesión minero marítima de la Moa Nickel S.A localizada en la Bahía de Cayo Moa, durante los recientes trabajos de exploración, se planteo como cuestión, la actualización de la composición químico – mineralógica de los depósitos de cienos. Se manejó un lote de muestras de pozos, colectadas entre los – 2,80 y 11,00 m de profundidad en función de las particularidades ingeniero – geológicas del yacimiento, y que luego de la separación granulométrica con las mallas tecnológicas 20; 100 y 325, fueron evaluados los retenidos según los análisis químico – mineralógicos. En los resultados químicos, cuatro fueron los elementos predominantes: CaCO_3 – 76,04 %; Fe_2O_3 – 2,86 %; SiO_2 – 4,72%; MgO - 3,34%. Aquí la correlación del CaCO_3 tiene valores negativos con los restantes compuestos, hecho vinculado a su fuente, los restos de organismos marinos blandos. Sin embargo, los óxidos se correlacionan entre sí con fuertes tendencias de sus valores hacia la unidad. En la subfracción pesada se declaran como predominantes, el óxido de hierro y las espinelas cromíferas. En cambio, en la fracción ligera, son los carbonatos -77,42% y la serpentina -7,14% y como secundarios, los minerales arcillosos y los granos de cuarzos. Entonces la disminución en las concentraciones de minerales metálicos estables, es inferida a dos tipos litológicos de menas: cieno carbonatado limoso y cieno carbonatado limo - arenoso; situación que se vincula a los procesos geodinámicos locales extremos que favorecieron los niveles de carbonatación para los depósitos in situ, sobre las pequeñas variaciones asociadas a la acumulación durante el Cuaternario Tardío.

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

Ampliar el conocimiento geológico de un yacimiento bajo actividad minero - extractiva en la plataforma marina insular, es un proceso práctico metodológico necesario que se ha cumplido en el ultimo lustro para este singular objeto, localizado en la costa nororiental dentro de una provincia mineralógica clasificada de tipo limonítica – epidótica – cromoepinélica, sin embargo, un reporte público (CESIGMA, 2001) citaba un conjunto de ocho minerales. Por tanto, en la etapa de exploración de explotación, se aplicaron los métodos documentados según (Godínez 2005) y se introdujo como hipótesis de trabajo, el revalidar la composición químico - mineralógica asociada a los depósitos evaluados para el sector II en referencia al dato precedente.

El resultado sólo verificó productos residuales de las cortezas lateríticas entre las subfracciones pesadas, con un único mineral relíctico estable, las espinelas cromíferas; entonces se podrían derivar dos hipótesis argumentadas en la ausencia de variedad y concentración de las especies minerales descritas en la provincia mineralógica.

MATERIALES Y METODOS

Para el sector que ocupa 2,25 km², la ubicación hidrográfica de los pozos de exploración seleccionados, se certificó con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

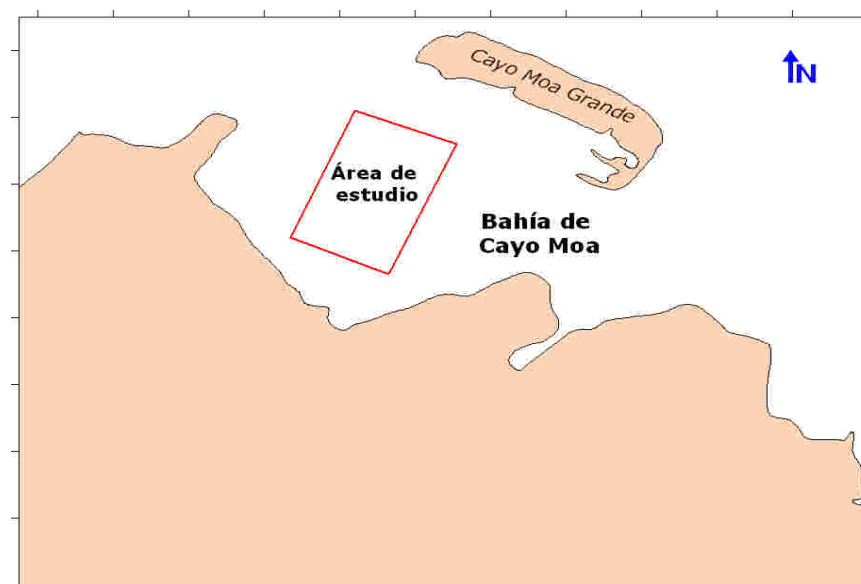


Fig.1. Ubicación del área de estudio.

Fue utilizado un lote de 13 muestras con peso de 1kg, que fueron documentadas y colectadas entre – 2,85 y – 11,00 m de profundidad en las columnas de los pozos seleccionados y, luego empaquetadas en las bolsas de nylon de doble capa, como precaución necesaria en su transportación hacia el laboratorio de Geominera Oriente.

Para la separación granulométrica de las muestras, se utilizaron tres mallas: 20, 100 y 325, en concordancia con el proceso tecnológico de la planta de beneficio de los cienos carbonatados. Entonces sobre los retenidos, se aplicó la descripción por el método óptico. Además, mediante los resultados químicos para los compuestos (Fe_2O_3 ; Al_2O_3 ; SiO_2 ; MgO ; Cr_2O_3 ; MnO ; CaCO_3 ; NaO_3 ; K_2O ; TiO_2 y Si) se complementó el recalcu del contenido mineralógico individual.

El montaje del resultado obtenido sobre el programa Excel, posibilitó el cálculo geoestadístico de los parámetros (máximo, mínimo, moda, mediana, promedio, varianza, desviación estándar, intervalo de confianza y factor de correlación) en los minerales y componentes químicos para la conformación de las diversas tablas.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Este yacimiento evidencia un paisaje geológico sobre un segmento del cinturón periférico de las rocas sedimentarias que integran la formación Jaimanitas, aunque simula estar adosado entre el flanco septentrional de los yacimientos de cortezas ferro niquelíferas que cubren el complejo de las rocas ultrabásicas del macizo Moa – Baracoa, y los arrecifes de barreras, el substrato base de los cayos Moa Grande y Chico.

Por tanto en el trabajo de (Veliz y otros 2006) se examinó que el cieno terrígeno de color ladrillo ocre, forman la capa más inconstante del yacimiento, y las restantes en la vertical descendente, fueron:

cieno carbonatado limoso, cieno carbonatado limo – areno, cieno carbonatado areno – limoso, cieno carbonatado limoso con arena de grano fino – medio y arena carbonatada cienosa limosa.

Sin embargo, los acumulados en los tamices tecnológicos, están relacionados con los horizontes del cieno carbonatado limoso y/o cieno carbonatado limo arenoso, donde la composición química según la Tabla I, acentúa las mayores concentraciones para cuatro compuestos: Fe_2O_3 , SiO_2 , MgO y CO_3Ca , a juzgar por sus valores promedios. Además, se aprecia en el parámetro varianza, el relativo comportamiento de los datos alrededor de sus medianas, aunque se excluye el componente CO_3Ca .

Tabla I. Estadística de los elementos químicos.

Parámetros	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	MgO	Cr_2O_3	MnO	CO_3Ca	Na_2O	K_2O	TiO_2	Si
Máximo	5,43	2,87	10,0	4,94	0,29	0,09	83,33	1,80	0,18	0,13	0,66
Mínimo	1,14	0,60	1,91	2,67	0,05	0,00	58,77	0,79	0,03	0,03	0,00
Moda	1,14	1,53	-	-	0,15	0,00	78,30	-	0,11	0,03	0,00
Mediana	2,86	1,36	4,27	3,11	0,15	0,01	78,30	1,28	0,08	0,08	0,24
Promedio	2,86	1,42	4,72	3,34	0,15	0,02	76,04	1,25	0,09	0,08	0,23
Varianza	1,56	0,39	5,19	0,39	0,01	0,00	46,99	0,10	0,00	0,00	0,06
D Stan	1,30	0,65	2,37	0,65	0,06	0,04	1,97	0,20	0,01	0,02	0,00
Interv. conf	0,02	0,01	0,04	0,01	0,01	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	-

La construcción de la Tabla II, permite mostrar la correlación lineal entre los compuestos asociados, en la estructura geoquímica de los depósitos de cienos. En particular se acentúa un significativo grado de interrelación del Fe_2O_3 con otros compuestos (Al_2O_3 y SiO_2) donde el factor correlación posee valores entre 0,93 y 0,98. Del mismo modo entre el Al_2O_3 y los compuestos (SiO_2 y MgO), aquí los valores fluctúan entre 0,99 y 0,90. Asimismo entre el elemento TiO_2 y Cr_2O_3 en atención al valor de similitud de 0,96.

Tabla II. Correlación lineal de los elementos químicos.

Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	MgO	Cr_2O_3	MnO	CaCO_3	Na_2O	K_2O	TiO_2	Si
1	0,98	0,93	0,88	0,88	0,67	- 0,82	0,78	0,88	-0,67	0,86
	1	0,99	0,90	0,82	0,72	- 0,87	0,75	0,87	-0,92	0,82
		1	0,93	0,85	0,65	- 0,84	0,73	0,86	-0,94	0,85
			1	0,73	0,54	- 0,79	0,57	0,76	-0,84	0,78
				1	0,44	-0,53	0,59	0,63	0,96	0,87
					1	-0,65	0,66	0,64	0,55	0,39
						1	0,55	-0,76	-0,72	-0,57
							1	0,92	0,66	0,66
								1	0,75	0,73
									1	0,87
										0,89
										1

Aquí se permite comentar la fuerte correlación lineal negativa del compuesto principal del yacimiento (CaCO_3) aportado por los procesos bioquímico - geoquímicos – sedimentarios en la dinámica regional y los compuestos vinculados con los iones metálicos resultantes de la lixiviación de los macizos ultrabásicos y básicos.

En el examen de la Tabla III, se manifiestan las singulares diferencias en los promedios para los compuestos Fe_2O_3 ; Al_2O_3 ; SiO_2 ; MgO ; Cr_2O_3 y TiO_2 , en referencia a tres yacimientos localizados en los macizos de rocas ultrabásicas (Leyva y otros, 1998) con mejor con relación al objeto geológico investigado. Sin embargo, el máximo detalle para el yacimiento Miraflores, sólo distante 20 km al sur.

Tabla. III. Contenidos químicos en yacimientos asociados a rocas ultrabásicas en relación al yacimiento sur de Cayo Moa Grande.

Compuestos	Valores promedios en (%)						
	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	MgO	Cr_2O_3	MnO	TiO
Yacimientos							
Mercedita	4,68	-	37,40	41,70	-	-	-
Amores	3,74	-	37,82	40,02	-	-	-
Miraflores	8,86	0,020	41,29	48,86	0,010	0,130	0,020
Sur de Cayo Moa	2,86	1,41	4,71	3,34	0,15	0,02	0,07

En la Tabla IV fueron agrupados los componentes mineralógicos reportados, agrupándose en ligeros y pesados.

Para el lote de muestras, en los retenidos por mallas, son evidentes los restos esqueléticos, coralinos y vegetales y, de un modo irregular las inclusiones muy pequeñas de los granos con mineralización metálica de color negro.

Tabla IV. Composición mineralógica en las muestras testigos.

Subfracción	Denominación	F. Química
Pesada	Gibbisita	$\text{Al}(\text{OH}_3)$
	Espinelas cromíferas	MgAl_2O_3
	Oxido de hierro	Fe_2O_3
	Mineral manganeso	MnO_2
Ligera	Granos de difícil determinación	--
	Minerales de serpentina	$\text{Mg}_6(\text{OH})\text{Si}_4\text{O}_{10}$
	Minerales arcillosos	$\text{Al}(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$
	Minerales de carbonatos	CaCO_3
	Cuarzo	SiO_2

En la Tabla V, se establecieron los contenidos vinculados con los minerales de los carbonatos (77,42%) y el mineral serpentina (7,14%). En cambio como secundario, se permite el agrupar a las restantes especies minerales indicadas.

Tabla V. Estadística de la composición mineralógica

Parámetro	Serpentina (%)	M. Arcilloso (%)	Manganeso (%)	Gibbisita (%)	Cuarzo (%)	Carbonato (%)	Óx. de hierro (%)	Espinelas cromíferas (%)
Máximo	11,08	7,99	0,01	1,1	21,2	85,51	5,43	0,96
Mínimo	4,43	0,00	0,00	0,00	0,00	59,61	1,14	0,01
Moda	-	0,00	0,01	0,00	0,00	-	1,14	0,15
Mediana	7,03	3,84	0,01	0,00	0,01	79,91	2,06	0,21
Promedio	7,14	3,49	0,0	0,27	0,37	77,42	2,86	0,32

Varianza	3,25	5,65	2,22	0,18	0,38	50,83	1,56	0,29
D. Stand	1,87	2,47	0,00	0,44	0,64	77,82	1,30	0,082
Interv Conf	0,03	0,04	-	0,007	0,011	0,129	0,02	0,005

A continuación en la Tabla VI, se manifiesta la correlación lineal básica entre las especies minerales halladas en los horizontes mapeados. En particular un primer nivel, donde los minerales de serpentina se benefician en fuerte tendencia al ajuste con los minerales arcillosos, además, con la gibbisita y el óxido de hierro, expresión de las particularidades geoquímicas asociada las cortezas lateríticas. Un segundo nivel es representado por la correlación entre los minerales arcillosos con el mineral cuarzo y el óxido de hierro.

El mineral manganeso para la plataforma marina insular revela contenidos del 0,2 ó 0,3% según los autores Ionin y otros (1977); en el área, su correlación más significativa posee un valor de 0,87 y acontece con las espinelas cromíferas.

Tabla VI. Correlación lineal de los compuestos minerales.

Serpentina	Minerales arcillosos	Manganeso	Gibbisita	Cuarzo	Carbonato	Ox. de hierro	Espinelas cromíferas
1	0,97	- 0,74	0,84	0,77	- 0,83	0,97	- 0,57
	1	- 0,85	0,76	0,86	- 0,82	0,95	-0, 69
		1	- 0,39	- 0,81	0,56	- 0,71	0,87
			1	0,45	- 0,71	0,83	- 0,19
				1	0,64	0,81	- 0,68
					1	- 0,81	0,46
						1	-0,59
							1

De acuerdo a estudios mineralógicos consultados, donde fueron utilizadas las muestras de jaguas marinas superficiales colectadas en la bahía de Cayo Moa, Yaguasey y Yagrumaje (Estrada y otros, 1987; Rodríguez y otros, 1992) el yacimiento se encuadra en la provincia mineralógica del tipo limonítica – epidótica – cromoepinética, caracterizada en la subfracción pesada por muy valiosos minerales estables, que bien pudieran formar placeres fluvio - marinos como el registrado en la Playa Mejías, flanco oriental de la desembocadura del río Sagua.

En el sector para los horizontes de los cienos carbonatados y arenas cienosas, se obtuvieron en la subfracción pesada, algunos productos residuales de las cortezas de intemperismo lateríticas, sin embargo, como único mineral relíctico estable, las espinelas cromíferas.

En cambio, en la subfracción ligera, se mostraron los minerales arcillosos, serpentina, los granos de difícil determinación y, los carbonatados, conformados por restos muy pequeños de moluscos y foraminíferos.

Entonces, se infiere que la ausencia en este reporte mineralógico de la variedad de especies aportadas por los macizos ultrabásicos se debe a cualquiera de las dos hipótesis siguientes:

Primero: A los factores geodinámicos locales extremos que conjugaron los niveles de carbonatación para los depósitos in situ, y una particular disminución de los minerales metálicos estables en el sector II del yacimiento.

Segundo: Las muestras testigos documentadas para los análisis químicos - mineralógicos según los pozos evaluados, se relacionaron solo a horizontes de cienos carbonatados limosos o cienos carbonatados limo arenosos, donde las concentraciones de minerales metálicos pueden contener valores secundarios.

Por lo tanto, la composición mineralógica de los depósitos examinados, permite apoyar la primera hipótesis junto al criterio de (Ionin y otros, 1977) sobre las pequeñas variaciones asociadas a la acumulación en el Cuaternario Tardío.

Ahora, se subraya que las labores precedentes de CESIGMA (2001) con muestras distribuidas en tres pozos de perforación, concluyeron que los sedimentos arenosos poseían composición relacionada con la fuente de suministro, representada por las rocas ofiolíticas y sus cortezas de intemperismo lateríticas y, los depósitos biogénicos de la barrera arrecifal. Entre los minerales predominantes, señalaron los óxidos e hidróxidos de hierro, magnetita, cromita, ilmenita y olivino, glauconita, calcita y aragonito, además, de los accesorios: clorita, granate y cuarzo.

Es conocido que las mayores potencialidades de minerales pesados entre los depósitos fluvio-marinos de esta región nororiental, se localizan en el potente delta sumergido del río Cayo Guam, a una distancia superior a 15 km del área investigada, donde las perforaciones sólo cortaron pequeños espesores de turba y/o arcilla redepositada infrayaciendo la base útil del yacimiento para el sector oeste II.

Además, se recuerda, que en el paleorelieve de la bahía de Yagrumaje - Yaguasey, se habían detectado por el método de la sísmica somera, estructuras cársicas a modo de canales, con forma asimétrica parcialmente rellena (Estrada y otros, 1987), entonces muchos de los granos minerales arrastrados por la citada cuenca hidrográfica en el pasado geológico no alcanzaron amplia distribución en la zona de acumulación.

CONCLUSIONES

Se enuncian como especies minerales predominantes en la subfracción pesada el óxido de hierro y las espinelas cromíferas. En cambio, en la ligera, los carbonatos (77,42%) y la serpentina (7,14%), además, como secundarios, los minerales arcillosos y los granos de cuarzo.

Demostrado en la evaluación mineralógica, una particular disminución en las concentraciones de los minerales metálicos estables para el sector oeste II del yacimiento, además, son afines con el horizonte de cieno carbonatado limoso, y el limo - arenosos; donde la composición química indicó la mayor concentración sólo en cuatro compuestos: Fe_2O_3 , SiO_2 , MgO y CaCO_3 , situación que se puede vincular a los procesos geodinámicos durante la formación del yacimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- CECIGMA 2001. Informe de proyecto de exploración geológica y de explotación del yacimiento de cienos carbonatados al sur de Cayo Moa Grande. Archivo ONRM, Ciudad de La Habana.
- Godines, G., y otros., 2005. Proyecto Exploración y proyecto de explotación del sector Oeste II del yacimiento de cienos carbonatados al sur de Cayo Moa Grande, C de La Habana Geocuba Estudios Marinos, 2005.

- Estrada V, y otros. 1987. Reconocimiento evaluativo de la franja costera nororiental desde la Bahía de Nuevitas – Río Yumurí. Archivo ONRM, Ciudad de La Habana.
- Ionin. P., Y. Pavlidis y O. Avello. 1977. Geología de la plataforma insular de Cuba. (Notas de curso de postgrado).
- Leyva, C.; J. Muñoz y otros. 1998. Composición sustancial y perspectivas de utilización de las ultrabasitas asociadas a la mineralización cromífera de la región Moa – Baracoa. Congreso de Minería y Geología , GEOMIN 98 Tomo I, 350 – 353.
- Rodríguez, R.; C. Hernández., V. Estrada. 1992, Nuevos datos acerca de los placeres de minerales pesados útiles en la plataforma insular cubana. Revista Tecnológica Vol. XXI, No1, 14 –20
- Veliz, J.; G. Barreras y V. Estrada. 2005. Caracterización ingeniero geológica de un sector del yacimiento de cienos carbonatados sur de cayo Moa Grande, Holguín. Programa / Resúmenes. Congreso de las Ciencias del Mar, MARCUBA 2006, Ciudad de La Habana.

CARACTERISTICAS GEOQUIMICAS, LITOLOGICAS Y TECNOLOGICAS DE LOS SEDIMENTOS CARBONATADOS DE UN SECTOR DE LA BAHIA DE CAYO MOA GRANDE

Gustavo Godínez Barrera ⁽¹⁾, **Idoris Alfonso** ⁽¹⁾, **Víctor Estrada Sanabria** ⁽¹⁾, **Jesús Veliz Basabe** ⁽¹⁾

(1) GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina, Regla, CP 112000, Ciudad de La Habana, Cuba. Telef: 977575, Ext.114 y 107, Fax: 97 0019. e-mail: idoris@emarinis.geocuba.cu, gem@emarinis.geocuba.cu

RESUMEN

A partir de los trabajos geológicos ejecutados en un sector del yacimiento de cienos carbonatados de la Bahía de Cayo Moa Grande, situado en la Provincia de Holguín, se incorpora una nueva información sobre las características de los sedimentos carbonatados del mismo. La caracterización geo-tecnológica de estos sedimentos, como objetivo fundamental de la exploración de explotación, particulariza en la carga geoquímica los mismos; materia orgánica, metales y contenido natural del CaCO₃. Además amplía la información ingeniero-geológica y litológica. El complejo de métodos geológicos utilizado incluyó la perforación, documentación y muestreo de los pozos y el empleo de técnicas de laboratorio para la determinación de las propiedades mecánicas, físicas y químicas, unas en función de la evaluación tecnológica de los Recursos, y otras, en función del proceso de dragado.

Del procesamiento de la información se obtienen las distribuciones y características tanto en profundidad como en la horizontal de cada una de las variables analizadas así como el estudio mineralógico del sector del yacimiento. Los resultados del presente estudio constituyen la base del proyecto de explotación del sector de interés del yacimiento que incorpora todos los requerimientos mineros unidos a las especificidades de una obra de dragado. La investigación realizada es además una contribución al conocimiento geológico sobre la génesis de este tipo de depósitos y al manejo tecnológico de los mismos.

ABSTRACT

Starting from the geologic works executed in a sector of the location of carbonated silts of the Bay of Key Big Moa, located in the County of Holguín, he/she incorporates a new information on the characteristics of the carbonated silts of the same one. The geo-technological characterization of these silts, as fundamental objective of the exploration of exploitation, particularizes in the load geoquímica the same ones; organic matter, metals and natural content of the CaCO₃. It also enlarges the engineer-geologic information and litológica. The used complex of geologic methods included the perforation, documentation and sampling of the wells and the employment of technical of laboratory for the determination of the mechanical, physical and chemical properties, some in function of the technological evaluation of the Resources, and other, in function of the process of having dredged.

Of the prosecution of the information the distributions and characteristics are obtained as much in depth as in the horizontal one of each one of the analyzed variables as well as the study mineralógico of the sector of the location. The results of the present study constitute the base of the project of exploitation of the sector of interest of the location that incorporates all the mining requirements together to the specificities of a work of having dredged. The carried out investigation is also a contribution to the geologic knowledge on the genesis of this type of deposits and to the technological handling of the same ones.

INTRODUCCIÓN.

La zona objeto de estudio está ubicada en la Bahía de Cayo Moa Grande en el municipio de Moa, provincia de Holguín.

En la bahía de Cayo Moa se localiza el depósito de cienos carbonatados, que se explota para ser utilizado en el proceso industrial de la planta “Pedro Sotto Alba” en la neutralización de las soluciones ácidas después de lixiviar el níquel.

El yacimiento de cienos carbonatados de la bahía de Cayo Moa es un depósito compuesto por sedimentos clásticos friables cuaternarios, de carácter biodetrítico y terrígeno que se caracterizan en su conjunto por un elevado contenido de carbonato de calcio, que es el mineral principal del recurso evaluado en este proyecto.

Es apreciable el carácter discordante del depósito de sedimentos clásticos carbonatados con relación a su basamento; de esta forma los sedimentos carbonatados son parte de una secuencia sedimentaria sin relación con el basamento de la cuenca en que se depositaron; al transportarse fueron sedimentándose en una zona de aguas tranquilas y de poca circulación en un ambiente de laguna retroarrecifal.

Los sedimentos que conforman el yacimiento presentan una estratigrafía matizada por la carencia de una verdadera estratificación y predominan los cambios granulométricos graduales en la vertical y los cambios faciales laterales.

En estos sedimentos marinos cuaternarios de edad Holoceno – Reciente, la deposición estuvo controlada, no sólo por el régimen de transporte hidrodinámico específico de la zona costera, sino también por el relieve e inclusive las características litológicas de las fuentes de suministro.

Los trabajos tuvieron el alcance siguiente:

1. Trabajos de exploración geológica de campo.
 2. Trabajos de laboratorio y procesamiento.
- El complejo de métodos geológicos utilizado incluyó la perforación, la documentación, muestreo de los pozos y el empleo de técnicas de laboratorio, para la determinación de las propiedades mecánicas, físicas y químicas.
 - Se realizó un levantamiento batimétrico a escala 1: 1000, con el empleo del equipamiento requerido para estos trabajos, de tal forma que los monitoreos futuros del control de la extracción sean comparablemente precisos.
 - Se hicieron 153 pozos, para un total de 837.25 metros perforados, tomándose 1002 muestras para ensayos básicos, secundarios y complementarios.

MATERIALES Y METODOS.

Perforación.



Foto No.1 Perforadora MARK VII.



Foto No.2 Perforadora UGB 50 M.

Para la obtención de las muestras de los sedimentos, que permitieran la completa caracterización de la materia prima, se realizaron los trabajos de perforación, documentación y muestreo. En la perforación se ejecutaron en total 153 pozos (837.25 m perforados), distribuidos en una red de 75x75.

Se utilizaron dos máquinas de perforación universales (Fotos No.1 y No.2), para perforar a rotación o percusión (MARK VII y UGB 50M) empleándose muestreadores especiales con retenedor para recuperar los materiales más someros y fluidos. La tecnología de perforación consistió de forma general en un sondeo libre inicial, con muestreador dotado de retenedor para la recuperación de la muestra superior; posteriormente se encamisaba y se procedía a la perforación a percusión con porta testigo o cuchara (con retenedor en ambos casos) hasta el piso del yacimiento.

La documentación primaria de campo se realizó inmediatamente después de perforado el pozo utilizando la metodología de identificación y descripción tacto visual para suelos marinos que fue apoyada por la alta recuperación obtenida en los cienos carbonatados limo-arenosos, algo menor en las arenas y el cieno terrígeno.

Los porcentajes de recuperación obtenidos fueron:

- Cieno terrígeno 86 %.
- Cieno Carbonatado 95 %.
- Arenas 79 %.
- Promedio en todo el depósito 91 %.

Para el posicionamiento de pozos se utilizó el GPS en modo diferencial, con las mismas características ya descritas para los trabajos batimétricos. La metodología de comprobaciones estática y dinámica del funcionamiento del GPS fue similar a la de realización del sondeo batimétrico..

El Muestreo garantizó la selección de las muestras para su envío al Laboratorio, siguiendo el criterio de muestrear por intervalos litológicos, predeterminados en la documentación macroscópica y considerando un intervalo de 1.0 m como máximo, garantizando la representatividad de todos los litotipos presentes.



Se recogió el volumen necesario por cada muestra, de forma tal, que garantizara el peso exigido por las normas para cada ensayo, siendo aceptadas en todos los casos por el laboratorio. Se tuvo particular cuidado en el embalaje a utilizar, para garantizar no perder las subfracciones finas previstas, utilizándose para esto pomos plásticos herméticos en el cieno terrígeno y bolsas de nylon en el resto.

Foto No.3 Recuperación de muestras.

Ensayos de Laboratorio.

Se tomaron 1002 muestras para ensayos básicos y secundarios. Se seleccionaron 40 muestras para el control interno, 30 para control externo y 45 para ensayos geotécnicos complementarios.

Los ensayos se clasifican en tres tipos; los básicos que son los que se practicaron al 100% de las muestras tomadas, pues representan los parámetros tecnológicos que caracterizan la materia prima mineral, los secundarios, realizados a un 50 % de las muestras totales para caracterizar la geoquímica de la materia prima y los complementarios que son aquellos que se realizaron a un grupo de muestras representativas para ampliar la caracterización de la materia prima para dragado así como su contenido mineralógico.

Ensayos básicos.

Los ensayos básicos se realizaron al 100 % de las muestras e incluyeron:

- Granulometría tecnológica.
- Calcimetría.
- Peso volumétrico.

Ensayos secundarios.

Los ensayos secundarios se realizaron al 50 % de las muestras:

- Materia orgánica.
- Metales por ICP (Fe, AL, Mg, Mn, Si, Ni, Co, Cr, Cu y Zn).

Ensayos complementarios.

Estos ensayos se determinaron en función de los objetivos específicos y los litotipos existentes.

- Granulometría e Hidrómetro ASTM.
- Límites de Atterberg.
- Humedad.
- Peso específico.
- Adherencia.
- Análisis mineralógicos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Relieve del fondo y profundidades.

En el Sector predomina un relieve plano y homogéneamente ondulado, donde las isobatas están orientadas predominantemente de sureste a noroeste, lo que determina un suave gradiente de profundidad de suroeste a noreste. La morfología del fondo conserva en su mayor parte su estado natural, excepto en su extremo noreste, donde coincide con un canal localizado al centro de la bahía de Cayo Moa y donde causas naturales y antrópicas han provocado un relieve irregular con profundidades máximas para el área en el orden de los -10 m. Existe un área de 2.7 Ha, que forma un discreto bajo o banco con valores mínimos promedios de -1.8 m, en el extremo suroeste.

Características litológicas y estratigráficas.

Las condiciones de yacencia de los sedimentos son simples, se trata de un cuerpo de sedimentos friables no estratificado, pero con cierta diferenciación granulométrica vertical que permite separarlo en horizontes (**Cieno terrígeno, Cieno carbonatado limoso a arenoso y Arena Carbonatada**) para los cuales es característica la yacencia horizontal o subhorizontal.

Existen mayoritariamente secuencias de deposición homogéneas, con sedimentación normal pero también aparecen secuencias invertidas y por zonas transicionales.

Los espesores totales son variables desde menos de 2 m hasta zonas cercanas a los 8 m, localizándose las mayores potencias en una franja hacia el norte y este del área, coincidente con una depresión del subfondo. Las áreas de menor potencia coinciden con la distribución de los sedimentos arenosos donde el piso del depósito aparece elevado.

Cieno terrígeno.

Constituye la capa superior del depósito y se caracteriza por ser un material muy fino de color carmelita oscuro, de rojizo a negro; aparece en el fondo y para los primeros centímetros aparece en forma de suspensión coloidal que transiciona a un estado arcilloso más consistente en profundidad que se mezcla gradacionalmente con el material de la capa subyacente.

En general es un material de fluido a muy blando en forma de gel, con un contenido de carbonato natural muy bajo, su origen es producto de la erosión de la corteza de intemperismo laterítico. Apareció en la mayoría de las perforaciones realizadas y sus espesores son muy variables, con aisladas zonas donde no aparece, hasta mas de 2.0 m en otras. .

Cieno carbonatado limoso a arenoso.

Constituye el horizonte de mayor distribución en el sector estudiado y se encuentra generalmente cubierto por el material terrígeno. Se caracteriza por presentar una granulometría muy fina, limo-arcillosa con material arenoso de forma transicional, tanto en sentido horizontal como vertical.

Este material fue encontrado en la mayoría de las perforaciones realizadas con espesores que van desde mas de 7.0 m en las depresiones hasta no aparecer en los sectores arenosos.

Este horizonte fue dividido convencionalmente como:

- Cieno Carbonatado limoso. (menos de 20% de arena)
- Cieno Carbonatado limo-arenoso. (de 20 a 35 % de arena)
- Cieno Carbonatado areno-limoso. (de 35 a 45 % de arena)

Esta subdivisión se fundamenta en el calculo aproximado del contenido de arena para todas las muestras básicas; utilizando los resultados de los ensayos tecnológicos (tamices 20,100 y 325), donde para cada uno existe un % de arena no determinado; pero que lo calculamos apoyados en la correlación realizada para las 44 muestras de ingeniería que tienen granulometría ASTM y a su vez granulometría tecnológica. (Ver Tabla No.1).

Una composición promedio por fracciones para los cienos carbonatados limo-arcillosos a arenosos sería:

Tabla No.1 Composición promedio por fracción para los cienos carbonatados.

Fracción	Composición		
	media	máxima	mínima
Gravas	2 %	7 %	0 %
Arena Gruesa	2 %	4 %	0 %
Arena Media	5 %	19 %	1 %
Arena Fina	11 %	23 %	5 %
Limos	56 %	67 %	37 %
Arcillas	24 %	33 %	15 %

En su descripción, no obstante el contenido arcilloso, observamos el criterio de mantener su denominación como cieno carbonatado limoso a arenoso, por cuanto al ser clasificado en el SUCS, siempre clasifica como limo ML o MH con sus diferentes gradaciones de contenido de arena.

Arena Carbonatada.

Limitada su extensión, fundamentalmente en la zona central hacia el sur y en el extremo nor-oeste del área. Se caracteriza por ser mayormente de granulometría fina a media, de coloración gris a gris claro con abundantes restos de corales triturados, en ocasiones bien conservados.

Coincide con las zonas de elevación del subfondo en el centro-sur y nor-oeste del área, lo que indica un control de la morfología del subfondo en su distribución y generalmente esta cubierta por muy poco o ningún cieno terrígeno. Desde menos de 1.0 m de espesor puede alcanzar potencias superiores a los 3.0 m en algunos lugares. En los ensayos de granulometría ASTM realizados para las arenas (7 muestras) donde más del 50 % del material es retenido en el tamiz 200; la composición media por fracciones es la siguiente:

Tabla No.2 Composición promedio por fracción para la arena.

Fracción	Composición		
	media	máxima	mínima
Gravas:	8 %	13 %	5 %
Arena Gruesa	8 %	11 %	6 %
Arena Media	26 %	30 %	17 %
Arena Fina:	22 %	25 %	18 %
Limos:	23 %	30 %	17 %
Arcillas:	15 %	18 %	13 %

Aquí se manifiesta el predominio que del 56 % de las fracciones en las arenas el 48 % es de fina a media. Lo cual no implica que en algunos sectores localizados la arena sea predominantemente media-gruesa. Considerando de conjunto todos los sedimentos carbonatados del sector, a partir de la media de las distribuciones estadísticas de retenidos en las mallas 20, 100 y 325 y aplicando similar concepto de calculo aproximado para el contenido de la arena a partir de las granulometrías ASTM; se puede caracterizar la masa de sedimentos del sector como predominantemente fina, con un rango promedio de 71 % de limos y arcillas, un 27 % de arenas y un 2 % de gravas.

Características químicas.

En el quimismo del sector podemos destacar; como es típico y fundamental para este yacimiento, un predominio del contenido de Carbonato de Calcio.

Carbonatos.

Aparecen áreas donde los contenidos de Ca CO_3 promedio son menores, apreciándose fundamentalmente hacia el sur y oeste zonas por debajo del 80 %. En el resto del sector predominan contenidos por encima de 80 % y es apreciable como coincide con la distribución de las arenas, el aumento en los contenidos hasta valores superiores al 90 %.

Materia Orgánica.

El análisis del contenido de materia orgánica se dirigió fundamentalmente al espesor de cienos y arenas carbonatadas, donde se apreciaron contenidos desde menos de un 1 % hasta valores algo superiores al 5 %. Como factor tecnológico positivo existe una tendencia de disminución en los contenidos de materia orgánica coincidente con las áreas donde se distribuyen los mayores % de Carbonato de Calcio.

De forma general se aprecia una tendencia a la disminución del contenido de materia orgánica en profundidad

Metales.

En los contenidos de metales es apreciable el enriquecimiento que existe en la capa de cieno terrígeno, cuyo aporte principal proviene de los sedimentos terrestres arrastrados desde las cubiertas lateríticas. Nuestro análisis está centrado en los metales cuya concentración y distribución aún resulta de algún interés, (Fe, Al, Mg, Mn, y Si) y no consideramos aquellos que estuviesen en proporciones comparables al fondo que de ellos existe en forma natural (Co, Cr, Zn, Cu y Ni).

De forma específica para cada uno podemos señalar:

Hierro (Fe): Aparece extraordinariamente enriquecido en el cieno terrígeno, donde llega a tener concentraciones superiores al 14 %. En los sedimentos carbonatados su contenido es apreciablemente menor con concentraciones desde menos de un 1 % hasta algo más de un 5 %, e inclusive en las arenas se aprecia algo mas bajo. En ambas distribuciones se aprecia un control de la concentración de distribución por la cercanía de la fuente de aporte hacia el oeste donde el sector esta prácticamente limitado por la línea costera.

Aluminio (Al): Al igual que el Fe se encuentra enriquecido en el cieno terrígeno, aunque las concentraciones son menores que las de este, y van desde algo por debajo del 3 % hasta por encima de un 10 %. Las concentraciones en los sedimentos carbonatados están generalmente por debajo de un 1 %. Es también apreciable un control de la concentración de distribución por la cercanía de la fuente de aporte hacia el oeste.

Manganeso (Mn) : De forma similar los contenidos en el cieno terrígeno están entre 1 y algo mas de 5 % y se mantiene el control de la fuente de aporte, son estos muy superiores a los sedimentos carbonatados donde nunca aparece en mas de 1 % y con distribuciones muy aisladas.

Magnesio (Mg) : En este metal es donde mas cercanas se encuentran las concentraciones y características de las distribuciones, tanto para el cieno terrígeno como para los sedimentos carbonatados; en los primeros aparece entre un 2 y un 5 % y para los segundos entre un 1 y 5 %,

Sílice (Si): Este metal aparece distribuido en concentraciones mayores de forma muy local y coincidentemente en los mismos lugares para el cieno terrígeno y los sedimentos carbonatados, tal vez controlado por un aporte local. Sus concentraciones llegan a estar en el orden máximo del 2 %.

Características mineralógicas.

Los estudios mineralógicos en el Sector Oeste II del yacimiento se realizaron a partir de 13 muestras testigos de perforación en similar cantidad de pozos y colectadas entre los -2,85 m y -11,00 m. (Ver figura No.1 y Tabla No.3).

Figura No.1 Localización de los pozos muestreados para ensayos mineralógicos.

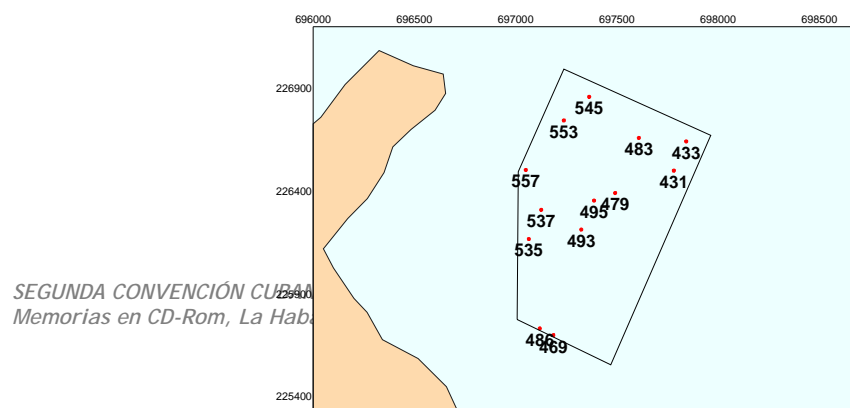


Tabla No.3 Datos básicos de las muestras mineralógicas.

Muestra	Intervalo	Retenido en %			Pasado. %
		M 20	M 100	M 325	
431-7	-10,0 a -11,0	3	4	15	78
433-2	-10,4 a -11,0	5	15	19	61
469-3	-3,75 a -4,35	10	7	17	66
479-3	-4,05 a -4,65	19	17	3	61
483-8	-8,40 a -9,00	4	4	20	72
486-4	-4,40 a -5,00	3	3	2	92
493-1	-2,85 a -3,45	20	22	15	43
495-2	-3,95 a -4,55	11	11	8	70
535-3	-4,75 a -5,35	1	1	19	67
537-3	-4,30 a -4,90	1	2	18	79
545-3	-4,70 a -5,30	2	4	26	68
553-8	-7,40 a -8,00	4	5	25	66
557-3	-3,20 a -6,10	15	10	8	67
Valores Promedios		7,69	8,00	15	
		30,6			69,4

Luego de realizada la separación granulométrica para las series de tamices de 20 mallas (0,8mm), 100 mallas (0,15 mm) y 325 mallas (0,044mm), se procedió al estudio mineralógico por vía óptica de cada fracción.

Adicionalmente, mediante los resultados aportados por análisis químicos realizados, se obtuvieron los datos para un recalcu global.

Los resultados procesados integralmente se reflejan en las tablas que se incluyen posteriormente.

Del estudio mineralógico por vía óptica de cada fracción tenemos:

- Para la fracción 325 mallas (mayor de 0,044mm):
Predomina el material calcáreo blanco, el color predominante es blanco, aunque un % del material presente es negro conformado por espinelas cromíferas, minerales de manganeso, y fragmentos de conchas negras, existen óxidos de hierro, minerales de serpentina (entre ellos piroxenos y anfíboles que conservan su habito pero están muy alterados, aparecen de color verde oscuro con aspecto micáceo o de de color casi negro y en forma de fragmentos), minerales arcillosos y en

ínfima cantidad se observan granos de cuarzo. Se observan granos de gibbsita. Puede existir hasta un 5 % de materia orgánica de color pardo oscuro.

- Para la fracción 100 mallas (mayor de 0.15 mm):

Predomina material carbonatado (arrecifal) en forma de fragmentos de color blanco y gris muy porosos, algunos presentan inclusiones minerales. De los restos de conchas y caracoles son muy pocos granos los que presentan una coloración gris oscuro. Hay presencia de óxidos de hierro, espinelas cromíferas, minerales de manganeso y minerales de serpentina. (El material arrecifal, presenta en forma de puntos las inclusiones de los minerales mencionados)

- Para la fracción 20 mallas (mayor de 0.8 mm):

El 90 % de esta clase lo conforman fragmentos de conchas y caracoles de color gris y de color blancuzco mas claro pero existen algunas conchas negruzcas. El 10 % lo forma material calcáreo arrecifal. Se observan óxidos de hierro, espinelas cromíferas minerales de manganeso (todos en menos de 1 %) Los fragmentos calcáreos presentan inclusiones en forma de puntos de minerales de serpentina, óxidos de hierro y minerales arcillosos. Existen algunos granos de minerales de serpentina y arcillosos de color negruzco. Se observan algunos bivalvos íntegros de aproximadamente 2 cm de largo y 1 cm de ancho y algunos granos de óxidos de hierro como inclusión de los diferentes fragmentos.

Los resultados de análisis químicos se presentan en la tabla No.4 donde fueron analizados los elementos **Fe₂O₃**; **Al₂O₃**; **SiO₂**; **MgO**; Cr₂O₃; MnO; **CaCO₃**; Na₂O; K₂O; TiO₂ y Si. Los remarcados en negrita, (sombreados en tabla) revelaron las mayores concentraciones, según sus valores promedios.

Tabla No.4 Estadística de los análisis químicos.

Parámetros Estadísticos	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	MgO %	Cr ₂ O ₃ %	MnO %	CaCO ₃ %	Na ₂ O %	K ₂ O %	TiO ₂ %	Si %
Máximo	5,43	2,87	10,0	4,94	0,29	0,09	83,33	1,80	0,18	0,13	0,66
Mimito	1,14	0,60	1,91	2,67	0,05	0,00	58,77	0,79	0,03	0,03	0,00
Moda	1,14	1,53	-	-	0,15	0,00	78,30	-	0,11	0,03	0,00
Mediana	2,86	1,36	4,27	3,11	0,15	0,01	78,30	1,28	0,08	0,08	0,24
Promedio	2,86	1,42	4,72	3,34	0,15	0,02	76,04	1,25	0,09	0,08	0,23
Varianza	1,56	0,39	5,19	0,39	0,01	0,00	46,99	0,10	0,00	0,00	0,06
Desviación Estándar	1,30	0,65	2,37	0,65	0,06	0,04	1,97	0,20	0,01	0,02	0,00
Intervalo de Confianza	0,02	0,01	0,04	0,01	0,01	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	-

La tabla No.5 agrupa los componentes mineralógicos reportados en el sector, donde existe el predominio de la subfracción ligera en comparación con la subfracción pesada. Según los retenidos por las series de tamices es apreciable el predominio de los restos esquelétales coralinos (plantas y animales muertos con esqueleto calcáreo), donde de un modo irregular aparecen inclusiones pequeñas de mineralización metálica negras.

Tabla No.5 Composición mineralógica en el sector.

Subfracción Mineral	Denominación	Formula Química	
Pesada	Gibbsita	$\text{Al}(\text{OH}_3)$	--
	Espínelas cromíferas	MgAl_2O_3	
	Óxidos de hierro	Fe_2O_3	--
	Mineral manganoso. (trazas)	MnO_2	
Ligera	Minerales de serpentina	$\text{Mg}_6(\text{OH})\text{Si}_4\text{O}_{10}$	Anfíboles Piroxenos
	Minerales arcillosos	$\text{Al}(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$	
	Minerales de carbonatos. (Predominantes)	CaCO_3	Dolomita y/o Magnesita
	Cuarzo. (muy poco)	SiO_2	--

Clasificación para dragado.

Elemento Ingeniero Geológico No. 1 (Cieno terrígeno).

Cieno terrígeno limo- arcilloso de color carmelita oscuro - rojizo a negro, aparece constituyendo el material del fondo en la mayor parte del deposito, con espesores variables que van desde escasos centímetros hasta más de 2.0 m. La consistencia es fluida y por zonas aparece de limo-arcilloso a arenoso por la mezcla con los materiales subyacentes.

Plasticidad de media a alta, resistencia seca media, dilatancia alta, tenacidad media a baja y está saturado. Su origen esta condicionado al aporte de los materiales de la erosión de la corteza de intemperismo laterítico de la zona emergida.

Una parte de este material en el fondo aparece en un estado de gel que por cualquier perturbación se torna en suspensión, lo cual provocó que la recuperación en la perforación (aun utilizando muestreadores de tubo cerrado, con trampa y nylon para su retención), haya sido solo de un 86 %.

Elemento Ingeniero Geológico No. 2 (Cieno carbonatado limo-arenoso).

Cieno Carbonatado limoso con contenidos variables de arcilla y arena, esta ultima de fracción fina a media fundamentalmente y con presencia de fragmentos de conchas y restos esquelétales, el color es gris a gris verdoso.

Plasticidad variable de baja a alta, resistencia seca baja, dilatancia nula a lenta y tenacidad media a baja. La consistencia varía en profundidad desde fluida a blanda, generalmente con humedades superiores al límite líquido. Según el SUCS clasifica entre **ML - MH**.

Constituye el EIG de mayor distribución en el área y es el de mayor interés para el dragado. Aparece de forma general subyacente al EIG No 1, con potencias variables desde 0.5 m hasta más de 7.0 m.

No obstante el contenido arcilloso, se denomina: Cieno carbonatado limo- arenoso, por cuanto en el SUCS, clasifica como limo **ML** o **MH** con sus diferentes gradaciones de contenido de arena.

Elemento Ingeniero Geológico No. 3 (Arena carbonatada).

Arena carbonatada limosa, donde predomina la fracción arenosa en un 56 % promedio, con alrededor de 23 % de limos, 15 % de arcilla y un 8 % de grava fina, todos como promedio. Compacidad de muy suelta, a media ocasionalmente. Aparece con espesores desde menos de 1.0 m hasta algo mas de 3.0 m.

Clasifica como **SM** según el SUCS. (Ver tabla No.6).

Tabla No.6 Clasificación de los EIG para dragado.

EIG No. 1 Cieno terrígeno limo- arcilloso. CLASIFICACION: Cieno no estructural fluido.
<ul style="list-style-type: none"> • Grupo III por dificultad de extracción. • Grupo 1 por dificultad de descarga. • Clasificación de clase granulométrica en los grupos V a VI.
EIG No. 2 Cieno Carbonatado limo-arenoso. CLASIFICACION: Cieno estructural fluido.
<ul style="list-style-type: none"> • Grupo I por dificultad de extracción. • Grupo 1 por dificultad de descarga • Clasificación de clase granulométrica en los grupos IV y V. • Coeficiente de esponjamiento promedio de 1.13 • Cieno limo -arenoso, con partes de conchas y algo plástico: Angulo de reposo de 10° y talud de 1: 4.
EIG No. 3 Arena Carbonatada Limosa. CLASIFICACION: Arena – limosa poco densa.
<ul style="list-style-type: none"> • Grupo III por dificultad de extracción. • Grupo 2 por dificultad de descarga • Clasificación de la clase granulométrica III polv. ; IV • Coeficiente de esponjamiento de 1.13

CONCLUSIONES.

- ✓ Se estudió detalladamente la morfología del fondo marino del sector.
- ✓ Se estudió y caracterizó la composición litológica del sector; compuesta por una cobertura de cieno terrígeno, que sobreyace a cienos carbonatados limo-arcillo-arenosos y arenas carbonatadas limosas. Los cuales están sobre un basamento fundamentalmente de arcilla, con presencia de turba y por zonas de calizas organógenas.
- ✓ Se estudió la carga geoquímica del sector, obteniéndose los primeros datos del comportamiento de la materia orgánica en el yacimiento, se reafirmó el eminente carácter carbonatado (Ca CO_3) del mismo y se validó la existencia predominante de los compuestos químicos Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , y el MgO , ya descritos en el yacimiento.
- ✓ Se estudió la concentración y distribución de metales que demostró la asociación entre estos y los compuestos químicos predominantes, relacionados a su vez con la composición mineralógica.
- ✓ Todo el conocimiento anterior permitió el establecimiento de Dominios Geológicos para una adecuada caracterización de los Recursos y Reservas de este sector del yacimiento, y así sustentar un racional proyecto de explotación. Los resultados obtenidos en estas categorías de la materia prima; no son mostrados con el objetivo de preservar la confidencialidad de la información.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Artimez, Ma., 2006. Reporte de Análisis mineralógico Empresa GEOMINERA ORIENTE, 6 Pág.
- ASTM D – 2488 – 90, 2002. Standard Practice for Description and Identification of Soils and Rocks (Visual manual procedure). Annual Book of ASTM Standards Volume 04.08
- 2487 – 90, 2002. Standard test method for Classification of soils for engineering purposes. (SUCS). Annual Book of ASTM Standards Volume 04.08
- CESIGMA, S. A., 2001. Informe de proyecto de exploración geológica y de explotación del yacimiento de cienos carbonatados al sur de Cayo Moa Grande. Archivo ONRM, Ciudad de La Habana.
- Proyecto de explotación y procesamiento del yacimiento de cienos carbonatados al Sur de Cayo Moa Grande, Ciudad de La Habana. 2001.
- Trabajos de comprobación sobre cienos fluidos. 2004.
- Informe sobre la caracterización del horizonte superior del yacimiento de cienos carbonatados y la reevaluación de sus Recursos y Reservas según nuevos parámetros tecnológicos, Ciudad de La Habana. 2005.
- Estrada V.; R. Corrada, V. Ramos y otros, 1987. Trabajos de reconocimiento geológico - evaluativo preliminar en el Shelf nororiental de Cuba y la franja costera adyacente para la prospección de minerales sólidos. Arch. Fondo Geológico. Ciudad de La Habana.
- PTE. "Prospección geológica en la plataforma marina comprendida entre los ríos Sagua y Nibujón y prospección preliminar y detallada para carbonatos al sur de Cayo Moa Grande y sectores aledaños, GEOMAR, ONRM, 188. 1991
- Nápoles, E.; Corrada, R.; Ramos, V. y otros, 1992. Informe exploración orientativa de cienos carbonatados al sur de Cayo Moa Grande. GEOMAR, Ciudad de La Habana, ONRM, 176.
- Salazar C. Reconocimiento geológico para la localización de sedimentos carbonatados en un sector de la plataforma al norte de la provincia de Holguín. Proyecto Pinares de Mayarí GEOCUBA Estudios Marino. Archivo técnico, Ciudad de La Habana.

CONSUMO ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LAS BALL CLAYS EN CUBA

Rolando González Arango

Empresa Geominera Isla. Km1 1/2 carretera a Geona Beach. Nueva Gerona. Isla de la Juventud

RESUMEN

Las ball clays son el término inglés de las arcillas caolínicas grasas sedimentarias de color claro al quemado, utilizadas como aditivos para aumentar la firmeza de las pastas cerámicas.

Como ocurre en otras ramas de la ciencia y de la técnica, el término, que inicialmente era referido sólo a las arcillas caolínicas grasas sedimentarias, con alto predominio de caolinita estructuralmente desordenada, ha devenido adecuado también para todas aquellas arcillas de color de quema claro, no sólo caolínicas, que confieran también firmeza. Antecedentes de esto último, existen en la industria cerámica cubana, en San José de las Lajas, en la Isla de la Juventud y probablemente en otros lugares, donde se han utilizado o utilizan aun caolines y arcillas con alto contenido de esmectitas.

Sin embargo, históricamente, la industria sanitaria cubana, que es la que mayor peso e importancia tiene, utiliza ball clays importadas.

Las ball clays estrictamente geológicas en cuanto al término (compuestas principalmente de caolinita desordenada) apenas se han investigado en territorio cubano y es probable que su potencial no sea alto. No obstante, en la Isla de la Juventud existen, y también otros tipos de depósitos de arcillas primarias caolínico-haloisíticas, caolínico-montmorilloníticas y montmorillonítico-caolínicas, que luego de levigadas alcanzan propiedades físico-mecánicas que las asemejan a las ball clays geológicas, como es el caso del yacimiento de caolín McKinley Norte, actualmente el más perspectivo.

En la Isla de la Juventud es donde prácticamente único existen perspectivas para el hallazgo de una importante base de materia prima de uno u otro tipo de ball clay, y también para obtenerlo artificialmente mediante diferentes tipos de mezclas y de procedimientos.

ABSTRACT

Ball clay is an English term to define sedimentary plastic kaolinitic clear after firing clays, which are use to make ceramic doughs so more plastic.

Today this term is not only refered to these types of clay absolutely, because in the practice in this form are called all after firing clear clays which are used like genuine ball clays. In Cuba there are some examples of that, at the San Jose de las Lajas and Isla de la Juventud ceramic industries, and probably in others places.

However, the Cuban sanitary ware industry- the most Cuban important ceramics- use imported ball clays historically.

The accurate geological ball clays have been not sufficient investigated in the Cuban territory until present-day and it is lakely that its potential will be not raised. However, in the Isla de la Juventud this types of clay have been founded, and also another kaolinitic-halloysitic, kaolinitic-montmorillonitic and monmorillonitic-kaolinitic primary clay deposits like ball clays, being an example of that the McKinley Norte deposit, the most promissory today.

Isla de la Juventud is practically the unique place in Cuba where both accurate geological ball clays and after firing clear plastic clay primary deposits like ball clays maybe founded in much quantity. Also in this territory ball clays can also artificial obtained by different mixtures and procedures.

INTRODUCCIÓN

Las ball clays, estrictamente traducidas al castellano como “arcillas de bolas”, para significar que debido a su adecuada moldeabilidad pueden conformarse como bolas, sin sufrir quebraduras, es uno

de los principales productos del mercado internacional de los minerales industriales, por su amplia utilización en la industria cerámica en general.

En diciembre de 2000, su precio en dicho mercado, según la revista Industrial Minerals, fluctuaba entre las 25 y 130 Libras Esterlinas (la libra se cotizaba a 1,42 USD), para la manufacturada en el Reino Unido. La otra más importante materia prima de este tipo es la manufacturada en Alemania. La forma de envase es en terrones y pulverizada, con diferentes granulometrías, y sometida a diferentes tratamientos.

La industria cubana, principalmente la sanitaria, la adquiere en el Reino Unido y en México, lugar este último donde actualmente le está costando al país alrededor de 150 USD/t puesta en puertos cubanos, y se trata de la arcilla KT (Kentucky).

El consumo actual de ball clay de la industria cubana debe estar en un orden cercano a las 700 toneladas anuales, con la posibilidad de incrementarse a aproximadamente 3000t, debido a una proyección inmediata de aumento de la capacidad de las fábricas principales de cerámica sanitaria, en San José de las Lajas y Holguín, como consecuencia del ambicioso plan de construcciones que desarrolla el país.

En ocasiones en Cuba se han utilizado arcillas de producción nacional como ball clays, pero no cumplen la expectativa del color claro al quemado, lo cual repercute en que el color de las pastas cerámicas sea menos blanco, obligando a aplicarle a los productos una capa de esmalte de mayor densidad para que el color sea más nítido. De esta manera, se eleva el costo de producción del esmalte y de los artículos en general. Por eso, el propósito es el empleo de ball clays de color de quema entre blanco y blanco-amarillento, pudiendo también ser gris. El color más típico de las ball clays utilizadas en Cuba es el blanco-amarillento.

Las ball clays del mercado internacional constituyen una variada gama en la que es común una composición casi totalmente caolinítica, pero los rangos en la composición química de algunos elementos, así como de algunas propiedades, a veces son amplios. Una caracterización bastante completa de las mismas en crudo, en base a propiedades de ball clays inglesas y alemanas es la que se muestra en la Tabla I.

Tabla I. Rangos de variación de las propiedades de algunos tipos de ball clays

Propiedades en crudo	Valores
SiO ₂ (%)	46,04-84,97
Al ₂ O ₃ (%)	11,93-36,4
Fe ₂ O ₃ (%)	1,83-2,89
TiO ₂ (%)	0,35-2,65
CaO(%)	0,63-1,48
MgO(%)	0,07-0,83
Na ₂ O(%)	0,13-0,88
K ₂ O(%)	0,85-4,12
P.p.i(%)	3,08-13,25
Resistencia a la flexión en seco(Kg/cm ²)	10,5-42,1
Granulometría < 2µm(%)	27,80-88,40

Algunas propiedades al quemado se observan en la Tabla II.

Tabla II. Propiedades de algunos tipos de ball clays al quemado

Propiedades al quemado(1200-1250 ⁰ C)	Valores
Absorción de agua(%)	0,0-9,17
Contracción al quemado(%)	0,80-11,45
Color al quemado	Blanco, amarillo, gris, transiciones

Con la industria cerámica vajillera de la Isla de la Juventud se da un caso único, puesto que, a diferencia de los muebles sanitarios, el torneado de los productos(diferentes tipos de platos, tasas y pozuelos) se realiza mecánicamente, además de lo cual, como el resto del proceso tecnológico está poco automatizado, terminando en una monocochura de estas piezas, se requiere que la firmeza del plastificador sea muy alta, mayor de los 70Kg/cm, lo cual es muy difícil de cumplir por arcillas y caolines naturales de color de quema claro. Por esta razón, el plastificante empleado actualmente(caolín Revolución I), de más de 70 Kg/cm² de resistencia a la flexión en seco y color de quema no tan claro, no es un típico ball clay, aunque sí, y como rareza, al principio de esta industria, en los años 80, el mismo tenía un color blanco al quemado. Su color de quema actual es verde-grisáceo, lo que debe ser motivado por un cambio en la composición mineralógica del eluvio de granito que lo forma, al explotarse en un nivel más bajo en la cantera.

Este tipo de material de tan alta plasticidad y color de quema, a fin de cuentas, poco pigmentado, convenientemente mezclado con caolines primarios de alta pureza, permite obtener ball clays artificiales de muy buena calidad, siendo esta quizás la vía más prometedora en la utilización de los yacimientos de la Isla de la Juventud.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Clasificación de las ball clays cubanas

Se propone la siguiente clasificación:

Ball clays geológicas

Son las tradicionales ball clays, que en la Isla de la Juventud fueron documentadas por Bordenave(1960), quien las reporta como depósitos que se extienden entre la antigua localidad de San Francisco de las Piedras(hoy en los alrededores donde está enclavada la Escuela en el Campo No.2) y el pueblo de Santa Bárbara(hoy La Demajagua). También se reportan en el yacimiento Km13, desde donde la ball clay Partagás fue suministrada durante largo tiempo a la fábrica de aisladores del Rincón. La misma poseía una firmeza después de levigada, de 18 Kg/cm², aproximadamente.

El origen de estas ball clays tiene que ver con procesos erosivos y de transporte del caolín desde los yacimientos primarios. Se les puede observar también en la parte más superficial del yacimiento de caolín Río del Callejón, y así debe ser en otros yacimientos similares. Por lo observado, son depósitos de poca potencia y área(no mayor de 3,5m y 50x80m, respectivamente), algunas veces de color blanco en estado natural, pero no siempre con un color de quema claro. Han sido denominadas también por algunos autores, como Pokrishkin, et al.(1966), caolines secundarios.

En el sur de la provincia de Pinar del Río existen depósitos de arcillas caoliníticas provenientes de la erosión de las pizarras arcillosas de la Formación San Cayetano, al norte, que en su estado natural no son ball clays debido a su fuerte pigmentación, pero sí desde el punto de vista de la plasticidad, que en ocasiones es muy alta, como en el caso de la arcilla Club de Cazadores(~70Kg/cm²). Se les

emplea en estado natural en diferentes tipos de cerámica, pero sería conveniente evaluar su potencialidad en estado levigado y en mezcla con caolín en la cerámica fina, ya sea sanitaria u otra. Las arcillas caoliníticas de Pinar del Río evidentemente sufrieron un transporte más largo que las de la Isla de la Juventud, razón por la cual son más plásticas.

En sentido general, todas estas arcillas, incluyendo las ball clays, están constituidas, según Santrucek(1972), de caolinita "...con diferentes grados de arreglo de su red estructural, hasta la caolinita no ordenada...."

Tabla III. Algunas propiedades principales de la ball clay No. 1003, de la firma alemana Westerwald Ton

Propiedades	Valores
Análisis químico calcinado(%)	
SiO ₂	73,21
Al ₂ O ₃	22,56
TiO ₂	1,25
Fe ₂ O ₃	0,80
CaO	1,19
MgO	0,12
Na ₂ O	0,18
K ₂ O	1,67
P.p.i	6,27
Resist. Flex. Seco(Kg/cm ²)	22,8
Color en cocido 1230 ⁰ C	blanco

Tabla IV. Algunas propiedades principales de una ball clay inglesa

Propiedades	Valores
Análisis químico(%)	
SiO ₂	46,04
Al ₂ O ₃	36,4
Fe ₂ O ₃	1,83
TiO ₂	0,35
CaO	1,48
MgO	0,07
Na ₂ O	0,88
K ₂ O	0,85
P.p.i	13,25
Resist. Flex. Seco(Kg/cm ²)	42,1
Color en cocido 1250 ⁰ C	Blanco-gris

En la Tabla V se hace una comparación de la composición química y la resistencia a la flexión en seco entre una ball clay de la parte superior del yacimiento de caolín Río del Callejón, levigada, y la arcilla Club de Cazadores, en bruto, tal como se utilizarían actualmente, atendiendo a que en la Isla de la Juventud existen plantas procesadoras y en Pinar del Río no.

Tabla V. Diferentes propiedades de la arcilla ball clay Río del Callejón y la arcilla natural Club de Cazadores

Propiedades	Ball clay Río del Callejón	Arcilla Club de Cazadores
Análisis químico(%)		
SiO ₂	53,58	77,7
Al ₂ O ₃	31,05	11,88

Fe ₂ O ₃	1,15	3,62
TiO ₂	1,25	1,55
CaO	0,34	0,15
MgO	0,41	0,24
Na ₂ O	0,15	0,1
K ₂ O	1,26	0,06
P.p.i	10,67	4,7
Resist. Flex. Seco(Kg/cm ²)	15,0	70,0
Color en cocido 1250 ⁰ C	blanco	rojo

Nótese que la arcilla Club de Cazadores posee un contenido de óxido de hierro inconveniente, el cual, lo más probable, se incrementaría de levigarse el mineral. Sin embargo, su resistencia a la flexión en seco es mucho mayor, lo que implica que también la plasticidad lo sea, y ello debe ser consecuencia de su mayor transportación y un mayor grado de desorden de la caolinita, puesto que desde el punto de vista de la composición química, el contenido de óxidos alcalino-térreos-que también influyen en la plasticidad-es similar en ambas arcillas.

El potencial en cuanto a recursos de este tipo de ball clay en la Isla de la Juventud, por lo poco investigado, no es alto hasta el momento, ni lo parece probable en el futuro, por sus características de yacencia en forma de lentes, además de lo cual parece tratarse de un material frecuentemente contaminado, no siempre de quema clara. Las perspectivas de estos tipos de depósitos deben mirarse más bien para mezclas con otros tipos de depósitos caolíníficos, para la obtención de ball clays artificiales, con lo cual la duración de sus recursos se alargaría en el tiempo.

Yacimientos primarios I

Son aquellos depósitos residuales con valores de resistencia a la flexión en seco entre los 15 y 69 Kg/cm² en levigado, y color de quema claro, formados principalmente por caolinita estructuralmente ordenada y determinados porcentajes de esmectitas o interestratificados de esmectitas e illita.

Ocasionalmente, pudieran ser depósitos sólo caolíníficos, en los que la caolinita esté en parte redepositada.

Los principales yacimientos de este tipo, y quizás los únicos del país, están en la Isla de la Juventud, como es el caso de McKinley Norte, que es un residuo sobre granito leucocrático, y McKinley Sur, que es un residuo sobre el mismo tipo de granito y sobre gneis biotítico. En general, puede esperarse este tipo de yacimiento en la Isla en la corteza de intemperismo de los granitos leucocráticos, de los gneises biotíticos y de los esquistos bimicáceos.

Tabla VI. Características principales del caolín del yacimiento McKinley Norte

Parámetros	Valores
Análisis químico(%)	
SiO ₂	52,50
Al ₂ O ₃	31,30
Fe ₂ O ₃	1,30
TiO ₂	0,20
CaO	0,78
MgO	0,35
Na ₂ O	0,70
K ₂ O	3,50

P.p.i	8,90
Composición mineralógica Rayos X(%)	
Caolinita ⁽¹⁾	68,0
Cuarzo	2,0
Moscovita	23,0
Feldespatos	6,0
Propiedades físicas	
Resist. Flex. Seco(Kg/cm ²)	25,0
Contracción al secado(%)	10,4
Contracción total 1250 ⁰ C (%)	20,2
Agua plástica(%)	34,0
Color al quemado a 1250 ⁰ C	Blanco
Análisis granulométrico promedio(Andreasen)(%)	
>90µm	0,0
63-90µm	0,0
36-63µm	0,3
20-36µm	1,0
11,2-20µm	9,0
6,3-11,2µm	17,0
2-6,3µm	30,0
<2µm	43,0

(1): La haloisita también está presente, pero sólo se revela por microscopía electrónica. Este mineral probablemente sea en realidad la hidrohaloisita, que al igual que la haloisita, es un polimorfo de la caolinita, representando cierto arreglo estructural con relación a aquella, y por ello probablemente sea responsable en cierta medida también de las propiedades plásticas de la roca.

Yacimientos primarios II

Son aquellos depósitos residuales con valores de resistencia a la flexión en seco mayor de 70 Kg/cm² y color claro de quema, formados por caolinita ordenada y esmectitas, pudiendo incluir también illita. Los únicos depósitos del país se encuentran en la Isla de la Juventud, y son muy raros, puesto que es muy difícil combinar en yacimientos primarios una alta plasticidad con un color claro al quemado. El ejemplo típico es el yacimiento Revolución, donde al principio de su explotación, el color al quemado del caolín era blanco, y sus valores de resistencia a la flexión en seco superaban los 70 Kg/cm². En la Tabla VII se muestran las principales características de este tipo de caolín.

Tabla VII. Características principales del caolín blanco residual de granito del yacimiento Revolución(tipol)

Parámetros	Valores
Análisis químico(%)	
SiO ₂	51,82
Al ₂ O ₃	29,48
Fe ₂ O ₃	2,90
TiO ₂	0,41
CaO	2,02
MgO	0,76
Na ₂ O	0,61
K ₂ O	0,21
P.p.i	11,44
Composición mineralógica Rayos X(%)	
Caolinita ⁽¹⁾	48,2
Montmorillonita	29,2

Cuarzo	19,5
Feldespatos	2,6
Propiedades físicas	
Resist. Flex. Seco(Kg/cm ²)	87,45
Absorción a 1250 ^o C(%)	1,55
Color al quemado 1250 ^o C	Blanco
Contracción al secado(%)	6,6
Contracción total a 1250 ^o C(%)	13,6
Análisis granulométrico promedio(Andreasen)(%)	
>63µm	No determinado
63-20µm	1,8
20-11µm	1,5
11-6µm	2,7
6-2µm	11,4
<2µm	82,6

Eluvios de estas características pueden esperarse, aunque raramente, en la corteza de intemperismo de las vulcanitas de composición media de la zona de Sabana Grande, en la de los granitos, y en la de los gneises y esquistos micacéos.

El objetivo de emplear este tipo de ball clay ha estado condicionado por las exigencias de la tecnología de las fábricas de cerámica vajillera de la Isla de la Juventud, que realizan un proceso tecnológico de monocochura, caracterizado por la formación automatizada de una parte de los productos y una elevada manipulación manual de los mismos en crudo, que hace que se requiera de un elemento plastificador de alta firmeza para evitar al máximo las roturas.

Las ball clay del segundo grupo, definidas anteriormente como yacimientos primarios I, pudieran utilizarse en el marco de esta tecnología si se decidiera modificar las fórmulas de las masas cerámicas incluyendo un mayor porcentaje del ball clay. Otra modalidad de su empleo, pero en menor porcentaje, sería si la tecnología se automatizara más o se cambiara a un sistema de doble cochura, en que la mayor parte de la manipulación se realiza con un producto más resistente (bizcocho). En este último caso, sería más factible utilizarlas por sí solas.

Ball clay tecnológicas

Son las ball clays artificiales que se hacen mediante la mezcla de dos o más tipos de caolín, buscando obtener las propiedades necesarias. De este modo, se puede lograr una composición mineralógica y química variada. En la Tabla VIII se muestra un ejemplo de ello con relación al caolín alemán EKA-S, destinado a la cerámica vajillera.

Tabla VIII. Características principales de la ball clay artificial alemana EKA-S

Parámetros	Valores	Margen de error
Análisis químico(%)		
SiO ₂	59,7	± 2,0
Al ₂ O ₃	27,0	± 2,0
Fe ₂ O ₃	1,00	Máx. 1,20
TiO ₂	0,20	Máx. 0,30
CaO	0,30	Máx. 0,50
MgO	0,40	Máx. 0,60
K ₂ O	2,00	± 0,50
Na ₂ O	0,05	±0,03
P.p.i a 1000 (%)	9,3	±1,00

Composición mineralógica Rayos X(%)		
Caolinita	52,0	±5,00
Interestratificados illita-montmorillonita	27,0	±4,00
Cuarzo	20,0	±3,00
Feldespatos potásico	Máx. 2,0	-
Propiedades físicas		
Resist. Flex. Seco(Kg/cm ²)	54,0	Mín. 44,00
Contracción al secado(%)	10,0	±2,00
Contracción total a 1300 ⁰ C(%)	11,5	±2,00
Color al quemado a 1300 ⁰ C	Gris blanco	-
Análisis granulométrico promedio(Andreasen)(%)		
>63µm	Máx. 0,3	
63-36µm	2,7	±1,00
36-20µm	4,0	±1,00
20-11,2µm	8,0	±2,00
11,2-6,3µm	11,0	±2,00
6,3-2µm	24,0	±3,00
<2µm	50,0	±5,00

En Cuba también se han empleado estas mezclas; por ejemplo, en la industria cerámica de la Isla de la Juventud, donde durante un tiempo se mezclaban los caolines blancos Río del Callejón y Revolución (tipo I) en proporciones respectivas de 70/30%, con las propiedades que se muestran en la Tabla IX.

Tabla IX. Características principales de los caolines blancos Río del Callejón y Revolución y su mezcla 70/30%.

Parámetros	Caolín blanco Río del Callejón, levigado	Caolín blanco Revolución I, levigado	Mezcla R. Call. 70%+ Rev.I 30%
Análisis químico(%)			
SiO ₂	51,86	51,82	50,39
Al ₂ O ₃	32,12	29,48	32,31
Fe ₂ O ₃	1,08	2,90	1,18
TiO ₂	1,32	0,41	1,32
CaO	0,78	2,02	1,34
MgO	0,32	0,76	0,56
Na ₂ O	0,21	0,61	0,41
K ₂ O	1,61	0,21	1,90
P.p.i	10,54	11,44	10,50
Propiedades físicas			
Resist. Flex. Seco(Kg/cm ²)	5,00	87,45	30,00
Color al quemado 1250 ⁰ C	Blanco	Blanco	Blanco

Todo parece indicar que los mejores resultados en cuanto al empleo de las ball clays se obtienen con las artificiales, puesto que se puede regular el comportamiento tecnológico de las mismas, con el objetivo de obtener mejores productos cerámicos. También de esta manera, los recursos minerales caolinífticos se utilizan mejor, puesto que la base de las mezclas serían los caolines primarios de quema blanca, poco plásticos, pero de abundantes recursos (millones de toneladas), mientras que las ball clays naturales (geológicas y caolines primarios I y II), de pocos recursos(depósitos de unos pocos miles de toneladas) y más difícil de encontrar, aportarían menos y durarían más en tiempo.

CONCLUSIONES

En Cuba existen ball clays naturales en la Isla de la Juventud, en la parte superior del corte de algunos yacimientos de caolín y desplazadas, alcanzando una pequeña potencia y poca extensión areal. Su única perspectiva sería la mezcla con otros tipos de depósitos caoliníticos, para alargar sus recursos en el tiempo. Se componen más que todo de caolinita estructuralmente desordenada en mayor o menor grado. En la provincia de Pinar del Río pudieran aparecer aun también algunos de estos depósitos en áreas de alta pureza.

En la Isla de la Juventud existen también algunos yacimientos primarios de caolín, de plasticidad intermedia y alta y colores muy claros al quemado, que pueden realizar la misma función de las ball clays tradicionales, siendo un ejemplo el yacimiento McKinley Norte, donde el valor promedio de la resistencia a la flexión en seco es de 25 Kg/cm y un color de quema blanquecino. Suelen componerse de caolinita de politipo ordenado y variables contenidos de esmectitas e illita. Excepcionalmente, se componen sólo de caolinita, pudiendo presentar ésta ya bien indicios de redeposición o algún grado de desarreglo estructural, o ambos inclusive.

A partir de los yacimientos de la Isla de la Juventud, tanto los de baja plasticidad, como los de mediana y alta, se pueden conformar numerosas variantes de ball clays artificiales o tecnológicas, de diferentes calidades para la cerámica fina, que ayudarían a la mejor utilización de los recursos minerales, al alargar el tiempo de vida útil de las ball clays naturales, que son las de recursos menos cuantiosos, en detrimento de los grandes yacimientos de caolín primarios, de poca plasticidad.

El mercado de las ball clays en Cuba va en aumento debido al crecimiento del plan de construcción de viviendas, pero no debe perderse de vista la potencialidad del país para la exportación de este tipo de arcilla, teniendo en cuenta que en la Isla de la Juventud existen yacimientos con la calidad y reservas suficientes para ello.

BIBLIOGRAFÍA

- Bordenave, R. 1960. Informe de perforaciones de caolín en Isla de Pinos. La Habana. Oficina Nacional de Recursos Minerales.
- Pokrishkin, V., M. Lanar, et al. 1966. Informe sobre los trabajos de exploración geológica del yacimiento de caolín Río del Callejón(Isla de Pinos). La Habana. Oficina Nacional de Recursos Minerales.
- Santrucek, P. 1972. Geología de caolines y arcillas en Cuba Occidental. *Rev. Téc.* (La Habana), 10(3-4).

CALIZAS, MARGAS Y CALES EN SANTIAGO DE CUBA

Antonio C. Rabilero Bouza

Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción. Carretera a Casablanca y calle 70, Rpto. Bahía, Regla, Ciudad de La Habana.

RESUMEN

En el presente trabajo se abordan las características mineralógicas mediante el Análisis Térmico Diferencial y la Difracción de Rayos X, así como el análisis químico de los materiales de construcción empleados en los principales edificios patrimoniales construidos en la ciudad de Santiago de Cuba entre los siglos XVI y XIX y aún a comienzos del siglo XX, los que se caracterizan fundamentalmente por el empleo de rocas calcáreas de no alta pureza y de resistencias mecánicas más bien blandas, generalmente no superiores a los 30 MPa, predominando como material de construcción las margas, desde margas calcáreas con contenidos de CaCO_3 del orden de 85-75% utilizados en muros y paramentos mediante la técnica del mampuesto, generalmente en la misma forma en que eran extraídos de las canteras, como se puede apreciar hoy día en los muros de la Iglesia de san Francisco; hasta margas arcillosas con contenidos de CaCO_3 de 60% e incluso inferiores, utilizadas principalmente en el recubrimiento de la estructura de cujes mediante la técnica del embarrado. Tan solo en el caso del edificio del Museo de Ambiente Colonial (la llamada Casa de Velásquez) las margas calcáreas fueron trabajadas (posiblemente aserradas) para conformar bloques rectangulares a modo de piedra de cantería.

ABSTRACT

Presently work the characteristic ones are approached mineralogical by means of the Differential Thermal Analysis and the Diffraction of Rays X, as well as the chemical analysis of the building supplies used in the main patrimonial buildings built in the city of Santiago from Cuba among the XVI and XIX centuries and still at the beginning of the XX century, those that are characterized fundamentally by the employment of calcareous rocks of not high purity and of mechanical resistances rather soft, generally not superiors to the 30 MPa, prevailing as building supply the loams, from calcareous loams with contents of CaCO_3 of the order of 85-75% used in walls and adornments by means of the stonemason technique, generally in the same form in that you/they were extracted of the quarries, like you can appreciate nowadays in the walls of the san Church Francisco; until loamy loams with contents of CaCO_3 of 60% and even inferior, used mainly in the coats of the wood structure by means of the technique of the one smeared. So alone in the case of the building of the Museum of Colonial Atmosphere (the call House of Velásquez) the calcareous loams were worked (possibly sawed) to conform rectangular blocks by way of quarry stone.

LAS CALIZAS Y LAS MARGAS

Los principales edificios patrimoniales construidos en la ciudad de Santiago de Cuba entre los siglos XVI y XIX y aún a comienzos del siglo XX, se caracterizan fundamentalmente por el empleo de rocas calcáreas de no alta pureza y de resistencias mecánicas más bien blandas, generalmente no superiores a los 30 MPa, predominando como material de construcción las margas, desde margas calcáreas con contenidos de CaCO_3 el orden de 85-75% utilizados en muros y paramentos mediante la técnica del mampuesto, generalmente en la misma forma en que eran extraídos de las canteras, como se puede apreciar hoy día en los muros de la Iglesia de san Francisco; hasta margas arcillosas con contenidos de CaCO_3 de 60% e incluso inferiores, utilizadas principalmente en el recubrimiento de la estructura de cujes mediante la técnica del embarrado. Tan solo en el caso del edificio del

Museo de Ambiente Colonial (la llamada Casa de Velásquez) las margas calcáreas fueron trabajadas (posiblemente aserradas) para conformar bloques rectangulares a modo de piedra de cantería.

En términos generales, estas calizas y margas están constituidas esencialmente por calcita y arcillas ilíticas, no expansivas, además de arenas cuarzosas, aunque en alguna ocasión encontramos la presencia de beidelita en el embarrado de una casa de cujes. De acuerdo con los estudios petrográficos, en todos los casos estas rocas calcáreas pertenecen a la formación La Cruz.

A modo de ejemplo se presentan más abajo la composición química fundamental y mineralógica determinada por medio de la difracción de rayos X de algunas muestras de margas calcáreas y una arcillosa de construcciones patrimoniales de Santiago de Cuba.

No	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Fases	Edificio
1	9,12	2,70	1,35	46,45	0,82	Calcita, cuarzo, ilita.	Casa Velásquez
2	12,68	3,32	2,11	44,02	0,94	Calcita, ilita, anortita?	I. San Francisco
3	14,33	3,55	2,14	42,56	1,02	Calcita, ilita, cuarzo?	Casa 1 en Tivolí
4	20,43	4,39	1,57	38,26	1,23	Calcita, cuarzo, ilita.	Edificio Intendente
5	31,46	10,49	4,55	25,87	3,29	Calcita, cuarzo, ilita.	Casa 2 en Tivolí
6	40,53	8,77	3,41	23,24	1,56	Calcita, cuarzo, ilita, albita	I. San Francisco
7	44,72	10,56	5,13	16,84	2,58	Calcita, cuarzo, beidelita, ilita, albita?	Casa de cujes en Heredia.

Además del análisis químico y de fases por difracción de rayos X, las muestras fueron evaluadas por medio del Análisis Térmico Diferencial, que mostraron concordancia con los resultados alcanzados por medio de las técnicas anteriores, encontrándose que la estabilidad térmica de las margas dependía del contenido de CaCO₃, pues a mayor contenido de calcita aumentaba el pico del efecto endotérmico correspondiente a la descomposición de este mineral.

LAS CALES.

Antecedentes.

Antaño las cales fueron de empleo generalizado en la construcción tanto en la preparación de morteros con arena para la puesta en obra de paredes y muros de ladrillos y piedra de cantería como en la ejecución de revoques y otros trabajos, práctica que hubo de irse perdiendo con el tiempo hasta casi su total desaparición en nuestro país.

En este sentido, se debe señalar la existencia hacia mediados del siglo XVI de más de 1000 hornos en toda la isla de Cuba dedicados a la fabricación de cal para la construcción, producción que comenzó a declinar en el pasado siglo XX con el desarrollo de la industria del cemento Pórtland, abandonándose prácticamente su empleo en la construcción a partir de la década del sesenta, destinándose su producción a la industria azucarera y otras actividades no relacionadas con la construcción.

Es de señalar que, por lo menos en la construcción del antiguo Colegio de Dolores, perteneciente a la Compañía de Jesús hasta 1961 y hoy Instituto Pre-Universitario Rafael María Mendive, realizada a principios de la segunda década del siglo XX, fue utilizada la cal (posiblemente hidráulica) en mezcla con el cemento Pórtland de la época para la preparación del hormigón con que fue construido todo el

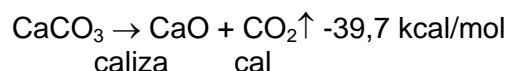
edificio, incluso las paredes tanto exteriores como interiores; tal como fue demostrado en análisis experimentales realizados a diversos testigos de hormigón tomados en dicha obra, los cuales arrojaron resistencias del orden de los 6-10 MPa, los cuales pueden ser apreciados en la siguiente figura, en la que se aprecia el hormigón original con muy buena adherencia al hormigón reciente utilizado con el fin de reforzar estructuralmente la edificación.

Este hormigón fue preparado mediante la mezcla de cemento y cal como ya hemos indicado y se empleó como árido grueso caliza triturada de granulometría muy amplia, prácticamente desde menos de 40 mm hasta tamaño mayor que 5 mm (posiblemente de la cantera de Marimón, cercana a la ciudad) utilizándose arena de río como árido fino, lo cual dio como resultado un hormigón muy homogéneo y calcáreo, con una gran interacción entre la pasta de cemento hidratada, la cal carbonatada y el árido calizo; lo cual explica su excelente estabilidad en el tiempo.



Producción y clasificación.

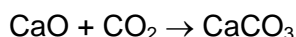
Las cales se obtienen por calcinación a temperaturas del orden de 1000°C y superiores de rocas calizas constituidas fundamentalmente por carbonato de calcio, proceso que se realiza normalmente desde hace siglos en hornos verticales discontinuos o más modernos continuos y en las últimas décadas incluso en hornos rotatorios de gran capacidad similares a los de la industria del cemento. Esta reacción de descomposición puede ser representada mediante la siguiente ecuación química:



Otra fuente de obtención de cal muy pura en forma de hidrato (Ca(OH)_2) es en el proceso de producción de acetileno a partir del carburo de calcio (CaC_2), el cual al ponerse en contacto con el agua libera acetileno (C_2H_2) dejando un lodo coloidal de hidróxido de calcio de muy alta pureza, ideal para trabajos de revoques con lo que se conoce como **masilla muerta**, ampliamente utilizada en prácticamente todas las edificaciones santiagueras antes de 1959, empleando esencialmente la cal de producción local.

Desde el punto de vista de su pureza, es decir, del contenido de óxido de calcio (CaO), las cales empleadas en la construcción pueden ser clasificadas del modo siguiente:

Cales grasas. Que son cales muy puras o con muy escaso contenido de arcillas y que son empleadas en la preparación de los morteros **aéreos**, llamados así debido a que la acción cementante se logra por carbonatación de la cal mediante el CO_2 (dióxido de carbono) atmosférico de acuerdo con la siguiente ecuación:



Reacción que no es más que el proceso inverso de la reacción de descomposición presentada más arriba; lo cual nos dice que las cales se endurecen por acción del dióxido de carbono atmosférico que dan lugar a la formación de carbonato de calcio, es decir, que restituye la roca caliza a partir de la cual se obtiene la cal.

En caso de la cal apagada (hidrato de cal) la reacción anterior sería entonces:



Cales hidráulicas. Son las que contienen entre un 10% y 20% de arcillas y en ellas el efecto cementante se logra tanto por medio de la carbonatación de la cal, como por el proceso de hidratación de los silicatos y aluminatos formados por reacción a bajas temperaturas entre la caliza y la arcilla presente, de modo similar a como ocurre con los componentes minerales del cemento Pórtland.

Cal límite. La que contiene un 25% de arcilla y de propiedades similares a las cales hidráulicas.

Cementos romanos. Los que contienen entre el 27% y el 61% de arcillas, y de acuerdo con el contenido de arcillas se denominan como inferiores, ordinarios y superiores. En estos cementos el endurecimiento es provocado tanto por la hidratación de los silicatos y aluminatos presentes como por reacción entre la cal presente y las arcillas activadas térmicamente y que no se han combinado con la cal.

Es importante hacer notar que en nuestro país se ha dado en denominar como cementos romanos a **los aglomerantes de cal-puzolana (ACP)** constituidos por mezclas íntimas y homogéneas de puzolana y cal (viva o apagada) con un contenido generalmente del orden del 20-25% de la cal, tanto como óxido o en forma de hidrato (cal apagada) De estos aglomerantes hablaremos más adelante.

Empleo de las cales en la construcción.

El empleo de las cales en la construcción implica necesariamente el conocimiento adecuado de sus características; así como las propiedades y comportamiento en el tiempo de los materiales de construcción preparados con ellas: esencialmente morteros y revoques. En nuestro país desde hace casi un siglo ha desaparecido la producción de cales hidráulicas, quedando hoy tan solo en activo la

producción de cales grasas cuyo fraguado se produce merced de la carbonatación; razón por la cual centraremos en dichas cales nuestra atención.

La cal que sale del horno después de su calcinación se conoce como cal viva y no es más que óxido de calcio (CaO) acompañado de impurezas. Esta cal al ponerse en contacto con el agua desprende una gran cantidad de calor (reacción exotérmica) transformándose en cal apagada, llamada también como hidrato de cal, que no es más que hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) acompañado de impurezas.

La hidratación de la cal viva además de desprender calor 227 kcal/kg (950 kJ/kg) provoca un aumento de hasta 2-3 veces del volumen en el material que se hidrata, razón por la cual **no es conveniente el empleo de la cal viva de modo directo en labores de albañilería** u otras relacionadas con la construcción porque la expansión en morteros y revoques o enlucidos daría lugar a un efecto destructivo. Es por ello que previo al empleo de la cal en morteros y/o preparación de masillas se procede a un largo proceso de hidratación para lo cual se pone en contacto con agua en recipientes adecuados.

Es importante hacer notar que esta hidratación de la cal previa a su empleo debe hacerse de modo adecuado que implica un largo tiempo de permanencia en dichos recipientes en los cuales el agua debe cubrir toda la cal, amparando a ésta de la acción del dióxido de carbono atmosférico. Bajo ningún concepto la hidratación debe hacerse mediante la preparación de una pasta más o menos húmeda porque la hidratación sería inadecuada y además parte de la cal se transformaría en carbonato de calcio perdiendo parte de sus propiedades, dando lugar a grumos y terrones que dificultarían e incluso impedirían su empleo.

Este proceso de hidratación debe de realizarse en recipientes tales que permitan por lo menos una cuarta de agua sobrenade la cal para evitar la carbonatación, aconsejándose la diaria agitación del contenido del recipiente donde se hidrata la cal. El tiempo mínimo de hidratación en estas condiciones (incluyendo la agitación) es de 15 días aunque es importante destacar que el incremento del tiempo de hidratación (**podrir la cal** le llamaban los albañiles en tiempos pasados) mejora la calidad del producto a causa de la mejor dispersión de las partículas de hidrato de cal además de evitar la ocurrencia posterior de fenómenos expansivos debidos a otros minerales distintos de la cal viva.

Debe tenerse presente que aunque la cal se vende en nuestro país como hidrato de cal, y por tanto, hace suponer que toda ella se encuentra hidratada, **siempre contendrá cantidades variables de cal viva** (no apagada) y por tanto expansiva sin contar las **ferritas cálcicas expansivas**.

Estas ferritas cálcicas, generalmente de composición $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, se presentan en forma de arenilla y se detecta fácilmente en el fondo de los recipientes donde se procede a hidratar la cal. Estas ferritas se hidratan con lentitud y generalmente lo hacen después que la cal ha sido utilizada en la preparación de la masilla y aplicada en los revoques pertinentes, dando lugar a que aparezcan numerosos puntos en donde el enlucido salta a causa de la presión ejercida por la expansión de la ferrita que se hidrata, tal como ocurrió en ocasión de la restauración del Hotel Casagrande y algunas viviendas destinadas a oficinas de la corporación CIMEX en Santiago de Cuba, las que se apreciaban como si padecieran de algún tipo de *erupción cutánea*. En todos los casos, si se procedía a retirar la parte del enlucido dañado se descubría debajo un punto de diversas tonalidades de ocre: la ferrita cálcica.

Contra tal amenaza existen dos alternativas: un largo período de hidratación con agitación periódica, o en caso de premuras (nunca menos de siete días con agitación diaria y agua en exceso) prescindir

del contenido del fondo del recipiente, aunque existe el recurso de tamizar la cal hidratada a través de un tamiz de aberturas no mayores de 1 mm, lo cual disminuye el riesgo de problemas pero no lo evita. Siempre ha de ser aconsejable que en caso de trabajos de enlucidos con cal se prescinda del fondo rico en arenillas y sea destinado a su empleo en morteros de albañilería.

Los morteros de cal.

Estos morteros se preparan con arena en proporción de una parte de cal hidratada por dos de arena, aunque a veces se llega hasta un mayor contenido de arena, pero nunca mayor de tres partes por una de cal, teniendo presente que se habla de proporciones en masa, no en volumen; puesto que el hidrato de cal es un polvo muy fino de masa volumétrica entre los 400 y 450 kg/m³, mientras que en las arenas tales masas volumétricas están en el orden de los 1100 kg/m³.

La preparación de los morteros de cal-arena presenta por tanto algunas dificultades de orden práctico, puesto que si se dispone de la cal en una artesa con agua para su completa hidratación será necesario determinar con antelación el contenido en masa de la pasta coloidal de cal con vistas a definir la proporción (volumétrica en este caso) adecuada para la preparación del mortero con arena.

Las arenas utilizables son las comunes, generalmente silíceas de ríos o de mar (previamente lavadas); pero también son utilizables arenas artificiales calcáreas, las que tienen la ventaja de que tienen la misma característica mineralógica y estructural que el producto que se va a formar como consecuencia de la carbonatación de la cal: carbonato de calcio o caliza; lo cual permite una mejor interacción química entre la pasta de cal y el árido utilizado, debido a que el carbonato que se forma por acción del dióxido de carbono atmosférico lo hace sobre la superficie de las partículas de arena caliza presentes en el mortero.

Los morteros de cal-arena en proporción 1:2 (el denominado tercio) preparados con hidrato de cal presentan un lento desarrollo de la resistencia mecánica, con valores a los 28 días del orden de los 2 MPa (20 kgf/cm²) puesto que el proceso de carbonatación es lento; proceso que tanto será más rápido en cuanto más disgregada y tratada haya sido la cal. Con el tiempo la carbonatación llega a ser completa y las resistencias incrementan hasta los 5-6 Mpa.

El empleo de un aglomerante de este tipo en la ejecución de muros y tabiques exige la rigurosa verticalidad del mismo, razón por la cual la plomada es imprescindible al albañil. Además, una vez terminada la obra de fábrica deberá de esperarse no menos de dos meses antes de proceder a su revestimiento, así sea con cal, para no entorpecer el natural proceso de carbonatación de la cal confinada entre los ladrillos u otros elementos utilizados en la construcción de que se trate.

Es importante hacer notar que cuando se habla de la resistencia de los morteros (generalmente a compresión) se refiere a los resultados de algún tipo de ensayo contemplado por una norma determinada, casi siempre sobre un espécimen, testigo, o muestra de dimensiones muy superiores a las del mortero confinado entre ladrillos u otros elementos para la construcción; y como sabemos, el incremento de las dimensiones de un elemento sometido a ensayos de resistencia a compresión se traduce en un descenso de la resistencia del elemento, no sólo por el efecto de pared, sino también porque se incrementan las probabilidades de existencia de defectos estructurales de grandes dimensiones que adelantan el fallo del elemento ante las cargas aplicadas. Ello explica perfectamente, a lo largo de la historia, la construcción de grandes obras –duraderas por demás– con morteros tan modestos.

En relación con estos morteros hechos de cal, debemos hacer notar su plena compatibilidad con adiciones de cemento -mejor aún los que contienen puzolanas- que permiten acortar los plazos de endurecimiento y alcanzar mayores resistencias, práctica común antes del 59 por constructores y

contratistas. Además, en sentido inverso, la adición de cal hidratada a los morteros hechos con cementos base al Pórtland (con puzolanas o sin ellas) permite la retención de agua evitando las fisuras por retracción y secado además de la mayor docilidad (correía en el argot de albañiles) de los morteros, fundamentalmente en la ejecución de revoques y resanes; es decir, al repellar paredes y tabiques.

Los enlucidos de cal.

En la preparación de los estucos destinados al enlucido de paredes y tabiques el proceso de hidratación y dispersión de la cal es el más riguroso de todos debido a la necesidad de lograr una pasta coloidal, lo cual significa que todas las partículas del hidrato de cal se encuentren separadas unas de otras por una película de moléculas de agua que actúa como elemento dieléctrico y evita la interacción iónica y de otros tipos de enlace entre dichas partículas de cal hidratada. Este alto nivel de dispersión le proporciona, al estuco que se prepare, óptimas cualidades en cuanto a plasticidad y docilidad, además de facilitar la ulterior carbonatación y una mayor adherencia a los elementos de pared: ladrillos, bloques, piedra de cantería, etc.

Es importante tener presente lo que se dijo con anterioridad en relación con la presencia de **ferritas cálcicas expansivas**, las que se presentan en formas de arena en la cal y detectadas –por su mayor densidad- en el fondo de los recipientes (muchas veces artesas) en donde se procede a la hidratación y dispersión de la cal.

El estuco hecho de cal destinado al enlucido de paredes se prepara con proporciones variables de caliza finamente triturada o más bien molida hasta textura de polvo y que permita una pasta homogénea, untuosa y suave al tacto, sin que se adviertan gránulos o partículas; lo que ha de permitir obtener una superficie lisa y continua, adecuada para permitir el mayor rendimiento de la pintura aplicada sobre ella, así como apreciar el verdadero tono del color elegido.

Por último, es importante advertir que una vez enlucida una pared cualquiera con estuco hecho de cal es necesario aguardar durante no menos de treinta días antes de proceder a pintarla, salvo claro está que se trate de una pintura a la cal, para lo cual basta esperar su secado.

En tal sentido debemos recordar que la masilla o estuco hecho de cal está constituido por hidróxido de calcio (Ca(OH)_2), que es una sustancia alcalina (pH superior a 7) y por lo tanto capaz de atacar mediante la hidrólisis correspondiente a la película de pintura aplicada sobre ella -prácticamente cualquier pintura. Para evitar tal daño es necesario esperar que toda la cal hidratada se haya transformado en carbonato de calcio por medio de la acción del dióxido de carbono atmosférico de acuerdo con las reacciones químicas presentadas en la página 3. El carbonato de calcio es casi insoluble en agua (además pH cercano a la neutralidad) y no ofrece peligro para las películas de pintura sobre materiales constituidos por este tipo de mineral.

Adelantándonos, podemos decir que este mismo fenómeno de hidrólisis alcalina ocurre en los repellos y resanes hechos con morteros de cemento, puesto que los diversos cementos producen hidróxido de calcio durante el proceso de hidratación y debe esperarse igual tiempo a que la cal así formada se haya carbonatado antes de pintar sobre estas superficies, algo que ni remotamente hacemos en nuestros predios. Por el contrario, no es infrecuente ver pintar sobre una superficie terminada de resanar apenas unas pocas horas antes, con el consiguiente daño a la pintura y al necesario proceso de curado del mortero utilizado en la obra.

LOS AGLOMERANTES DE CAL-PUZOLANA.

Estos aglomerantes, tal como su nombre lo indica, están constituidos por una mezcla íntima y homogénea de puzolana más cal (viva o hidratada) pulverizados hasta finura similar a la del cemento Portland y, el mejor modo de lograrlo es la molienda conjunta y adecuadamente dosificada (70-80% de puzolana y 30-20% de cal) aunque se puede lograr por molienda separada y ulterior mezclado, pero existen riesgos de no alcanzar una buena homogeneización.

Las puzolanas no son más que minerales, generalmente silicatos o aluminosilicatos que, careciendo de propiedades cementantes y actividad hidráulica por sí solos, son capaces de reaccionar a temperatura ambiente con la cal o hidróxido de calcio, en presencia de agua, para dar lugar a la formación por vía topoquímica de productos estables y prácticamente insolubles, con propiedades y características similares a los formados durante el fraguado o hidratación del cemento Portland, principalmente tobermorita.

Resulta evidente que las características del ACP han de estar en función de la puzolana y la cal disponible, así como la tecnología de producción de aquel, razón por la cual, los parámetros que a continuación se ofrecen deben de ser aceptadas como indicadores generales que sirven de orientación a quienes se propongan utilizar o hasta producir sus propios aglomerantes de cal-puzolana.

La tarea inmediata ha de consistir en determinar las propiedades de uso de cada ACP producido a partir de puzolana y cales adecuadamente caracterizadas, en cuanto a las resistencias mecánicas que logren en morteros de ACP, empleando para ello la arena disponible en la región, velando a su vez porque la misma cumpla en la mayor medida con los requerimientos establecidos por la norma.

En general el ACP posee las siguientes características:

<u>Parámetros</u>	<u>Valor</u>
1. Contenido de puzolana (%)	70-80
2. Contenido de cal (%)	30-20
3. Densidad (g/cm ³)	2,0-2,4
4. Finura (% retenido tamiz 0.090 mm)	10
5. Superficie específica Blaine (cm ² /gr)	5000-8000
6. Fraguado (Vicat)	
- Inicial (hora)	5-10
- Final (hora)	10-30
7. Consistencia normal (%)	38-42
8. Resistencia mecánica (MPa) (*)	
8.1 a los 28 das	
- Flexotracción	1,5-2,5
- Compresión	4,0-8,0
8.2 a los 60 das	
- Flexotracción	2,5-3,0
- Compresión	8.0-13,0

(*) Ensayadas en las probetas de 4x4x16 cm con proporción ACP/arena igual a 1/3 y relación agua/ACP entre 0,6 y 0,8. Los prismas mantenidos tres días en sus moldes y luego curados bajo agua y ensayados según NC-54-207/80. La masa de las probetas de 4x4x16 cm oscila entre los 510 y 537 g, inferior a los preparados con cemento P-350 o PP-250 (en el orden de los 550-560 g).

Resulta importante señalar que el ACP producido en la planta de Palmarito de Cauto, provincia de Santiago de Cuba; posee una calidad mayor respecto a los valores reportados con anterioridad gracias a la mejor tecnología del proceso productivo con un sistema de molienda por circuito cerrado de alta productividad respecto a las pequeñas plantas que se generalizaron a lo largo de todo el país. Esto permite alcanzar resistencias a compresión a 28 días del orden de 12 MPa, mediante el mismo método de ensayo ya descrito; resistencia que se incrementa hasta 20 MPa con relación agua/ACP de 0,5 aunque la fluidez del mortero disminuye, pero con tecnología apropiada pueden lograrse morteros y hormigones de mayor resistencia y en consecuencia ampliar el campo de utilización de este aglomerante.

Cuando al ACP se le adiciona cemento Pórtland o con adición de puzolana (PP) en el orden de 20-40% se logra reducir los tiempos de fraguado según el ensayo Vicat hasta los valores normales para estos cementos, a la vez que se incrementan las resistencias a todas las edades y se reduce la necesidad de agua de amasado, ampliándose el campo de aplicación del ACP, obteniéndose con estas mezclas cementos cuaternarios, los cuales aunque en otro contexto, son una realidad hoy día en Europa occidental.

Hemos de tener presente en todo momento que el empleo del ACP requiere de la máxima atención al curado de los elementos producidos pues la desecación, tanto del mortero como del hormigón (fundamentalmente en los primeros 7 días) provoca la paralización de la reacción de la puzolana con la cal, aunque la adición de cemento base al Pórtland disminuye este riesgo, pues al ocurrir el fraguado del mismo queda "atrapada" en la estructura formada cierta cantidad de agua de más difícil evaporación, aunque siempre se ha de requerir un mayor cuidado en el curado. En el caso del empleo del ACP en morteros para la construcción de tabiques o muros de ladrillos ha de tenerse la precaución de que estos se encuentren debidamente humedecidos para evitar que por absorción del agua des sequen el mortero.

A MODO DE CONCLUSIONES

Como ha sido posible apreciar en este trabajo, las rocas calcáreas, esencialmente pertenecientes a la formación La Cruz, han sido utilizadas a lo largo de la historia de la ciudad de Santiago de Cuba en la erección de importantes edificaciones patrimoniales como material esencial para muros, tabiques y otros paramentos, así como materia prima para la producción de cales destinadas a ser utilizadas como aglomerantes de los trabajos de albañilería de las obras y la propia consolidación de muros y contrafuertes, e incluso –por lo menos en una obra- en mezcla con el cemento Pórtland para la preparación de hormigones: a lo cual se agrega su empleo en los trabajos de enlucidos de las paredes y a partir de los años 90 del siglo XX para la producción de aglomerantes de cal-puzolana.

BIBLIOGRAFÍA.

- Autores varios: Trabajos presentados en ALTERNATIVOS 92. Coloquio celebrado en Santiago de Cuba en Mayo 15 de 1992.
- Ferrer, R.: Cales, cementos y hormigones. Editora Sintet, Barcelona. Sin fecha de publicación.
- Informe. Primer encuentro sobre la vivienda de bajo consumo material y energético. La Habana, 29-30 de Mayo de 1993.
- López, A.: Materiales aglomerantes. Editorial Dossat, Madrid, 1947.
- Martirena, F.: Una alternativa ambientalmente compatible para disminuir el consumo de aglomerantes de clínker de cemento Pórtland: el aglomerante de cal-puzolana como adición mineral activa. Tesis en opción al Doctorado en Ciencias. Universidad Central "Marta Abreu", 2004.
- Rabilero, A.: "Las Puzolanas". Editorial Oriente, 1988.

- Rabilero, A. et al: Empleo de los aglomerantes de cal-puzolana en la construcción. Trabajo Relevante en el VII Forum Nacional de Ciencia y Técnica. La Habana, 1992.
- Rabilero, A.: Contribución al empleo de puzolanas naturales en la producción de cementos y otros aglomerantes. Tesis de Doctorado. Universidad de Oriente, 1996.
- Tochtermann, W.: "Arquitectura sin arquitectos". El Correo de la UNESCO, Febrero de 1975, p 4-13.

PERSPECTIVAS DE LAS ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES COMO NUEVOS MATERIALES DE COSTRUCCION ALTERNATIVOS

Ricardo Gilberto Álvarez Díaz⁽¹⁾, Carlos A. Leyva Rodríguez⁽²⁾, Ricardo Antonio Álvarez Alonso⁽³⁾

(1) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Calle 18 s/n entre Primera y Maceo. Rpto. El Llano. Holguín. Cuba.

(2) Instituto Superior Minero Metalúrgico .Las Coloradas. Moa. Holguín. Cuba. CP: 83329.

(3) Unidad de Inversiones Costeras. Calle 18 s/n entre Primera y Maceo. Rpto. El Llano. Holguín. Cuba.

RESUMEN

Las Rocas y Minerales Industriales (RMI) o materias primas minerales no metálicas, hasta hace algún tiempo, eran consideradas erróneamente como material de bajo precio, alto volumen y cuyos centros de producción debían de estar cercanos a las fuentes de consumo. Sin embargo, en la actualidad, este concepto ha cambiado totalmente, convirtiendo de esta forma a las RMI en un área de oportunidad.

Desde hace algunos años, en el mundo, se ha venido mostrando la importancia y el potencial que poseen las mismas, debido a su incremento en el uso y aplicaciones y si se observa la tendencia actual se aprecia como los países desarrollados han ido evolucionado de grandes consumidores de metales a grandes consumidores de Rocas y Minerales Industriales (RMI), lo que se ha convertido en un indicador de la madurez económica de un país.

En Cuba, como estas materias primas minerales tienen características que las relacionan con múltiples ramas de la industria, se hace necesario un análisis profundo y detallado de cada una de ellas, que permita incorporarlas al desarrollo del país.

En este trabajo se ofrecen los primeros resultados del Estudio Geólogo-Geotécnico de los principales yacimientos de La Provincia de Holguín, Cuba, y se demuestra la importancia, necesidad, viabilidad y beneficios económicos y sociales de explotar estas materias primas minerales como materiales alternativos para la construcción de viviendas y obras sociales y como parte del necesario desarrollo sostenible de nuestras comunidades, que permita mejorar los estilos y condiciones de vida de nuestra población.

ABSTRACT

Rocks and industrial materials or non-metallic mineral resources, not long ago, were erroneously considered as low-cost materials with large volume, which production centers should be close to consumption sources. However, nowadays this concept has completely changed, transforming these resources in an opportunity area. Since several years ago, researchers all over the World have been confirming their importance and potential, increasing their use and applications. International trends show that developed countries have evolved from big consumers of metals to big consumers of rocks and industrial materials, what is considered an indicator of the economic maturity of a country.

The characteristics of these resources put them in contact with multiple branches of the Cuban industry, requiring a deep and detailed analysis of each one, allowing their incorporation to the country development.

This work presents the first results of geologo-geotonic study of the fundamental ore deposits in the Holguin Province, Cuba. It demonstrates the importance, necessity, viability and socio-economic benefices of exploding these mineral resources like alternative materials for construction of houses and social works. This is a constitutive part of the necessary sustainable development of our communities, which will allow improving the styles and living conditions of our population.

INTRODUCCION

Las Rocas y Minerales Industriales (RMI), hasta hace algún tiempo, eran consideradas erróneamente como material de bajo precio, alto volumen y cuyos centros de producción debían de estar cercanos a las fuentes de consumo. Sin embargo en la actualidad, este concepto ha cambiado totalmente, convirtiendo de esta forma a las RMI en un área de oportunidad.

Desde hace solo algunos años se ha venido mostrando la importancia y el potencial que poseen las mismas, ya que si se observa la tendencia actual, tanto en los países de la Comunidad Europea, como en los Estados Unidos de Norteamérica, se aprecia como han ido evolucionado de grandes consumidores de metales a grandes consumidores de Rocas y Minerales Industriales (RMI), e incluso, de acuerdo con un artículo publicado recientemente por The Mining Journal, la madurez económica de un país, se obtiene cuando el valor de las RMI excede a las de los Recursos Minerales Metálicos Básicos y Preciosos. Basados en este concepto, países como Inglaterra y Estados Unidos, han alcanzado este punto hace más de cien años, mientras que España y Australia, lo han obtenido recientemente.

De acuerdo con el artículo publicado por Dwane Jonson (1990), las RMI son los recursos del futuro, ya que si se grafican tiempo vs. materiales usados, en la producción de metales y de los minerales industriales, se observa como estos últimos han evolucionado con respecto al tiempo.

La mayoría de los metales presentan, en términos generales, en su curva de desarrollo, un incremento notable hacia principios de siglo pasado, con una tendencia gradual a disminuir su consumo hacia finales del mismo, mientras que las RMI, han emergido con respecto al tiempo, debido a su incremento en el uso y aplicaciones de materiales tales como: la cerámica, el vidrio, el plástico, los materiales de construcción y otros.

Por lo tanto y tal como lo demuestran los últimos análisis, las industrias relacionadas con la explotación y transformación de las RMI tienen mucho que ver con la estructura económica y los países en vías de desarrollo dependen mucho de su desarrollo para mejorar sus estilos y condiciones de vida.

En el caso de Cuba es interesante apuntar lo expuesto por Coutin y Brito, 2005: "No obstante el cuadro positivo de nuestro potencial y posibilidades de desarrollo y aprovechamiento de las Rocas y Minerales Industriales, desde el comienzo de la década de los 90, factores políticos adversos en el ámbito internacional afectaron duramente a la economía cubana y particularmente a la actividad geólogo-minera, tanto investigativa como productiva. Excepto en algunos renglones relacionados con actividades priorizadas, actualmente la explotación y consecuente comercialización de las Rocas y Minerales 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 muchas de estas materias primas al desarrollo del país.

Teniendo en cuenta estos aspectos se hace necesaria la valoración de las principales materias primas minerales no metálicas con que cuenta cada uno de los Municipios del País, en función de resolver los problemas más críticos de la población desde el punto de vista constructivo.

En el trabajo se presenta la propuesta de un sistema para lograr determinar en cada uno de los municipios del país sus potencialidades en cuanto a la presencia de materias primas minerales no metálicas, que permitan dar un impulso importante al desarrollo de los mismos, especialmente en el caso de los materiales de construcción alternativos y las fuentes para el mejoramiento de los suelos en la agricultura.

Para ello ya se realizaron itinerarios geológicos de prospección hacia las zonas más perspectivas, en las cuales se tomaron muestras y se documentaron para un posterior análisis, que ofrecieron como primer resultado la detección y caracterización de materias primas con grandes perspectivas para su posterior utilización como materiales de construcción alternativos y otros usos.

Hemos podido constatar que existen incluso informes geológicos oficiales sobre trabajos realizados en determinados municipios por solicitud de organismos nacionales o regionales y donde la

valoración económica de estos objetos no ha resultado positiva o no se han continuado las investigaciones y sin embargo no son conocidos por las autoridades de estos territorios, pudiendo, en muchos casos, bajo una valoración económica de su consumo local, resultar de un impacto importante para el desarrollo sostenible de estas comunidades.

Se muestran casos de resultados ya obtenidos en algunos municipios de la provincia de Holguín, donde se trabaja en la actualidad. Ejemplo: en los municipios de Banes, Sagua de Tánamo, Moa y Calixto García, donde se han encontrado especialmente las materias primas siguientes:

Calizas blandas: Se evalúan para la fabricación artesanal de bloques naturales aserrados y producción de cal.

Arcillas cerámicas: Se evalúan para la fabricación de ladrillos, determinándose las más idóneas para estos procesos y la preparación de las mezclas correspondientes.

Lajas: Se evalúan para su empleo como elemento de ornamentación, en la construcción de pisos para diferentes obras sociales, plazas, parques, enchape de paredes, etc.

Calizas organógenas (roca ornamental tipo Jaimanita): Se evaluarán para enchape de ornamentación, existiendo experiencias en otros yacimientos del país.

Tobas vítreas: Se evalúan como fuente de arena artificial, hormigones ligeros, extensor del cemento y aereador de suelos.

Calizas fosfatadas: Se evaluarán para el mejoramiento de suelos.

Como puede apreciarse el resultado de la generalización de este sistema de valoración de los recursos minerales territoriales puede traer resultados importantes a las comunidades en varias direcciones:

- Incremento de la producción de materiales de construcción para diferentes fines, especialmente viviendas y otras obras sociales.
- Ahorro energético, de combustibles e insumos al acercar las obras a las fuentes de suministros.
- Mejoramiento de suelos y la alimentación animal para impulsar la producción de alimentos y otras posibles producciones.
- Creación de nuevas fuentes de empleo en los municipios.

Como cuestión no menos importante de este trabajo se destaca su utilidad en el ordenamiento territorial de las comunidades, mediante el conocimiento de sus recursos, su distribución espacial y usos más probables.

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Problema:

La no existencia de una metodología para la valoración del potencial de los recursos minerales no metálicos de los municipios en función de sus necesidades locales, unido a que las direcciones de los gobiernos municipales no disponen de un nivel de conocimiento adecuado de los mismos y sus usos, que les permitan la toma de decisiones en función de resolver sus necesidades locales, trae como resultado que se dejen de aprovechar muchas materias primas para resolver problemas internos de los territorios; esto es más evidente en el caso de los materiales de construcción; los cuales en muchos casos pueden ser explotados mediante técnicas de minería artesanal o pequeña minería.

Fundamentación del Problema:

El problema de las Rocas y Minerales Industriales se inicia con su clasificación, en virtud que no existe una de ellas que incluya a todas las RMI por completo, esto se debe a que están constituidas

por un grupo muy heterogéneo de rocas y minerales, en cuanto a propiedades, características, usos y precios se refiere, lo que ha dado como resultado la elaboración de clasificaciones parciales, a partir de los factores antes mencionados.

Existen un buen número de clasificaciones, entre las cuales podemos hacer mención a las siguientes: la de Bates, 1960; Wright and Burnet, 1962; Fisher, 1969; Kliner, 1970 y Dunn, 1973; todas ellas hacen énfasis en diferentes puntos de vistas: geológico, económico, precio, volumen, aplicación final, mercados, valor agregado, etc, por lo que se hace difícil su aplicación en las condiciones de nuestro país.

El Banco Mundial (Noestaller, 1987), las ha definido como minerales no metálicos e inorgánicos, extraídos y procesados para la aplicación industrial final; algunos minerales metálicos, de aplicaciones metalúrgicas; rocas y materiales consolidados y no consolidados (por ejemplo, arena, grava, piedra ornamental, etc.), y productos manufacturados, como son el cemento y los refractarios. La clasificación de las RMI tiene varias implicaciones: una de ellas es que cuando se trate de agrupar o definir las RMI se deben considerar con cierta flexibilidad, en contraste con los yacimientos metálicos, cuyas clasificaciones son por lo general bien definidas.

En cuanto a las RMI se refiere, dada su heterogeneidad, es muy difícil que una persona sea capaz de conocer a profundidad las especificaciones (físicas y químicas), propiedades, precios y mercados de cada una de ellas, lo que ha dado como resultado la especialización en el conocimiento de la RMI, por ejemplo: en arcillas o bien en agregados, etc.

Todo esto ha traído como consecuencia que en nuestro país no exista un levantamiento geológico detallado, ni un estudio geotécnico, de las principales propiedades físico-mecánicas de las RMI presentes en cada uno de los municipios y mucho menos una sensibilidad y conocimiento profundo de la importancia, necesidad, factibilidad y beneficios económicos y sociales que reportaría la explotación de cada uno de ellas.

OBJETIVO

Proponer un Modelo de Gestión Estratégica para la valoración de los recursos minerales territoriales, de aplicación en todos los municipios del país, en función de resolver sus principales necesidades locales de materiales de construcción, brindando además recomendaciones sobre otras posibles producciones y sus usos, a partir de la caracterización de las RMI presentes en cada uno de ellos.

Hipótesis:

Al crear un Modelo de Gestión Estratégica que permita realizar el estudio y caracterización de las materias primas minerales no metálicas territoriales, para su empleo como materiales de construcción alternativos y otros usos, lograremos dar un aporte significativo en programas de gran impacto económico y social, como son: la construcción de viviendas, obras sociales, generación de empleos y ahorro energético.

Resultados Esperados:

1. Obtención del Modelo Digital del Terreno de los municipios estudiados.
2. Distribución espacial y caracterización de las materias primas minerales no metálicas del territorio, con perspectivas de uso como materiales de construcción alternativos u otras posibles aplicaciones.

3. Ensayos tecnológicos y físico- mecánicos de las materias primas minerales no metálicas de mayor relevancia, (Calizas, Tobas Vitroclásticas, Cretas, etc.), para su aplicación como materiales de construcción alternativos.
4. Obtener un Modelo de Gestión Estratégica u experiencia metodológica que pueda ser aplicada a otros municipios de la provincia y del país.
5. Abrir nuevos frentes de canteras en los municipios que generen empleos.
6. Acercar las fuentes de suministros de materiales de construcción a las obras con el consiguiente ahorro de combustibles e insumos de transportación.

DESARROLLO

FACTORES QUE DETERMINAN EL ÉXITO DE LOS MINERALES INDUSTRIALES

La creciente aplicación de las RMI está basada en lo siguiente:

1. Mercado;
2. Comercialización;
3. Especificaciones de los materiales;
4. Transportación;
5. Sustitución: nuevas tecnologías o materiales de más bajo costo;
6. Condiciones socio-económicas.

El negocio de las RMI depende más del mercado, que de la naturaleza de los recursos; este requiere, el desarrollo de mercados ya que el precio de los materiales varía de un lugar a otro, y el cual no es fácil de fijar, debido a que las RMI, están sujetas a mercados específicos, la mayoría de los cuales son altamente competidos.

Existen varios problemas cuando se trata de penetrar un mercado, entre ellos: conocer quien puede utilizar mi producto. Una vez contestada esta pregunta, surge la dificultad de romper la barrera con el sistema de compra de las compañías, debido a que los industriales ya cuentan con material confiable para la elaboración de sus productos a menos que el precio sea lo suficientemente atractivo como para que ellos realicen pruebas con diferentes formulaciones.

Con respecto a las especificaciones, el problema es más complejo, ya que siempre está latente la siguiente pregunta, ¿cuáles son las especificaciones de un material?.

En primer lugar, las especificaciones varían de acuerdo a las aplicaciones del producto. En segundo lugar, en la manufactura de un producto, se puede emplear materias primas con diferentes especificaciones, dependiendo del equipo y proceso de producción.

Todo esto tiene mucho que ver con la productividad de las empresas, ya que para que una compañía pueda sobrevivir con éxito en el mundo de las RMI, además de añadir valor agregado a sus productos, desarrollar nuevos productos, reducir o reemplazar importaciones, conocer a sus competidores así como también su posición en el mercado, debe entre otros factores, incrementar su eficiencia; reducir sus costos, a través de una disminución de rechazos, aunados a la optimización de los recursos; estar al día con nuevos desarrollos tecnológicos; y sobre todo controlar la calidad de sus procesos y por consecuencia, de sus productos, lo cual se refleja en la vigilancia y verificación en los estándares y especificaciones de sus materiales.

CARACTERÍSTICAS DE LAS ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES

Desde el punto de vista de su utilización como materia prima, las Rocas y Minerales Industriales tienen algunas peculiaridades que, como grupo, las definen y las diferencian de los minerales metálicos. Son, entre otras, las siguientes:

- ***Explotabilidad determinada por el uso***

La posibilidad o imposibilidad de explotar un yacimiento de Rocas y Minerales Industriales depende de tres factores interrelacionados e inseparables: Las características geológico-mineras del mismo, las posibilidades de tratamiento del material para conseguir un producto vendible y el precio de mercado para cada aplicación específica del material extraído.

- ***Campos de aplicación muy diversificados***

Según su pureza, granulometría, etc. una misma materia prima puede emplearse en distintas industrias, y alcanzar muy distintos valores. Por ejemplo, los feldespatos se usan en la fabricación de lozas y porcelanas, en vidriados y esmaltados cerámicos, en la industria del vidrio, en la fabricación de dientes artificiales, en pinturas, en lijas como abrasivo, como aglomerante cerámico en muelas y discos abrasivos, en aislantes de humedad, en la agricultura (recubrimientos de semillas, fungicidas, fertilizantes, etc.) y en otros muchos usos.

- ***Bajo valor a pie de cantera, alto valor añadido***

La mayor parte de las Rocas y Minerales Industriales se encuentran en yacimientos muy extensos, pero de bajo valor unitario (granitos, calizas, arcillas). La extracción, el tratamiento posterior y la aplicabilidad a diversos usos específicos es lo que les confiere valor. Antes de iniciar la explotación, es preciso conocer el proceso de tratamiento y su costo, el precio final de venta y los posibles mercados. Existe una íntima relación entre las tareas de exploración, investigación, explotación, tratamiento y comercialización.

- ***Alta incidencia del costo del transporte***

Al tratarse, por lo general, de sustancias de bajo valor, el hecho de que un yacimiento esté alejado de los centros de consumo o de las vías de comunicación, puede impedir su explotación. Esto es fundamental en áridos, arcillas cerámicas, calizas para cementos. Otros materiales, por el contrario, tienen altos valores unitarios y soportan transportes internacionales (muchos granitos, mármoles, pizarras, asbestos y circón).

- ***Estabilidad de precios de venta***

A diferencia de los minerales metálicos, cuyos precios suelen controlarse desde un mercado central, la gran producción y reservas de numerosos países hacen que su mercado se regule y evita, en general, grandes oscilaciones de precios. Los factores que más influyen en la variación de los precios de las Rocas y Minerales Industriales son: el aumento del producto interno bruto del país productor, el descubrimiento de nuevas aplicaciones, la aparición en el mercado de sustitutivos o similares, las políticas gubernamentales de construcción y obras públicas, el desarrollo de nuevas tecnologías y las variaciones del precio de la energía.

- ***Alta tasa de crecimiento anual del consumo***

Por sus especiales características de inversiones relativamente bajas, empleo de mano de obra local y vinculación estrecha con las políticas de inversión y obras de un país, las Rocas y Minerales Industriales constituyen un índice de las tasas de desarrollo y una posibilidad de empleo, poniendo en valor los recursos propios. El incremento medio del consumo mundial de estas se sitúa en un 4% anual acumulativo. En todos los países desarrollados, incluso en los de mayor tradición minera, como Canadá, Sudáfrica o Australia, se observa una progresiva sustitución de la minería metálica por la de rocas y minerales industriales.

YACIMIENTOS DE ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES EN CUBA

Dada la enorme variedad de rocas y minerales industriales, que se extiende prácticamente a todos los materiales que se encuentran en la corteza terrestre, podría decirse que casi todos los afloramientos rocosos constituyen yacimientos potenciales. Esta apreciación, sin embargo, no es cierta, pues las exigencias de la industria son cada vez más estrictas, y la calidad de los productos exige unas especificaciones que no todos los minerales y rocas cumplen. Es cierto que los áridos de construcción, por ejemplo, han tenido, hasta épocas recientes, exigencias poco estrictas, y por su escaso valor se utilizaban los más próximos a la obra civil en curso. Hoy ya no es así, y se estudian no sólo las características mecánicas y físicas de los materiales, sino su durabilidad a largo plazo, pues los costos de usar materiales inadecuados superan, a la larga, los costos de una investigación y una explotación de materiales más lejanos.

Por lo que se refiere a las materias primas más valiosas, es fundamental la prospección sistemática, la investigación de detalle de los posibles yacimientos y la caracterización del material, antes de iniciar la explotación.

La clasificación genética de las Rocas y Minerales Industriales que se emplea en nuestro país actualmente, según el Mapa de Yacimiento y Manifestaciones Minerales no Metálicos y Combustibles de la República de Cuba. Escala 1: 500 000 del año 1988 se presenta en la Tabla I. (Ver Tabla I).

USOS Y APLICACIONES DE LAS RMI EN CUBA

Para no hacer muy extenso este acápite y debido a que el grupo de las RMI es tan amplio y diverso como hemos visto en los epígrafes anteriores preferimos exponer el campo de utilización de las RMI partiendo de la clasificación existente para este objetivo en nuestro propio país, la cual la consideramos adecuada a los intereses de este trabajo (Tabla II).

LAS ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE

No puede considerarse desarrollo el simple crecimiento económico, como manifestación contable del incremento de determinadas magnitudes macroeconómicas.

Desarrollo es, según Morillas (1997) "un crecimiento en el que gradualmente se potencian los recursos humanos y materiales de un país, mediante transformaciones progresivas de su estructura económica, tendentes a atenuar o suprimir los desequilibrios (intersectoriales, sociales y territoriales) de partida". Este mismo autor considera desarrollo sostenido el que se da, permanentemente, durante un dilatado, pero definido, período de tiempo; distinto es el desarrollo sostenible o sustentable, que es el que puede mantenerse indefinidamente y es compatible con el resto de los países, dentro del necesario equilibrio medioambiental y demográfico.

El concepto de desarrollo sostenible, que es mucho más amplio y rico en matices de lo que parece a simple vista, se acuñó definitivamente en el llamado "Informe Brundtland", publicado por la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU bajo el nombre de "Nuestro futuro común".

Según este informe, desarrollo viable y sostenible sería el **"conjunto de vías de progreso económico, social y político que atiende a las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades"**.

El concepto de desarrollo sostenible y sus implicaciones ha sido largamente estudiado. Villas Boas (1995), por ejemplo, aludiendo concretamente al desarrollo sostenible en relación con la actividad minera y metalúrgica, señala una serie de desafíos tecnológicos a los que se enfrentan las actividades industriales. Tales son los tres mínimos exigibles (mínimo consumo de energía, mínimo consumo de materiales y mínimo impacto ambiental) y un máximo (máxima satisfacción social). La combinación de estos condicionantes no señala una estrategia concreta, sino una actitud global hacia el conjunto de estrategias que se incluyen bajo la denominación de tecnologías limpias.

El desarrollo sostenible, en todo caso, se concibe como un equilibrio entre las necesidades de abastecimiento y la conservación del medio, para nosotros y para nuestros sucesores. Además del equilibrio, implica una componente de solidaridad para repartir de forma equitativa los bienes entre países ricos y pobres, entre favorecidos y marginados. Precisa, en tercer lugar, el desarrollo de la eficiencia tecnológica, para conseguir el mayor número de recursos al menor costo social y económico.

Las actividades mineras en general y las explotaciones de las Rocas y Minerales Industriales en particular, tal vez más que otras operaciones industriales, mantienen una relación difícil con el medio: para extraer, transportar, transformar y comercializar los minerales, es preciso perjudicar el medio, a veces de forma irreversible, y producir una cantidad de residuos que casi siempre es muy cuantiosa.

Las tasas de recuperación de una cantera de piedra natural (granito, mármol o pizarra) puede encontrarse en torno al 10-20%, lo que significa que por cada tonelada comercializada se vierten a la escombrera entre 5 y 10 toneladas de desechos. El oro es explotable con una ley de pocos gramos por tonelada; por tanto, el 99,9995 % del material extraído en la mina se convierte en un material desechable, en su mayoría contaminado, al que hay que buscar acomodo.

Además de los daños que se pueden producir por el volumen de residuos, es preciso considerar otras características medioambientales negativas de las explotaciones mineras: la primera es que la ubicación de las canteras y minas ha de hacerse en el lugar en que existe un yacimiento.

A diferencia de otras industrias, no se puede elegir el emplazamiento, y este hecho puede causar daños ecológicos o paisajísticos. La segunda es que la minería es siempre agresiva hacia el medio en el que se sitúa. Dados los enormes volúmenes que es necesario tratar, se crean cicatrices en la superficie terrestre difíciles de ocultar, se afecta a la fauna y a la vegetación, a veces al clima, se producen explosiones, polvo y contaminación química por compuestos de tratamiento y se empeora la calidad de vida de los habitantes cercanos, entre los que se encuentran los propios mineros.

La tercera característica, ligada a la producción de residuos, tiene que ver con la posible contaminación de cauces fluviales y de acuíferos y la posibilidad, por lo tanto, de trasladar el daño hasta parajes alejados de la propia mina.

La dicotomía no puede expresarse, por tanto, en términos de: explotar / no explotar, o de contaminar / no contaminar. Como los recursos minerales son necesarios, y en proporción enormemente creciente, es preciso llegar a un compromiso de impacto medioambiental aceptable y recuperable. Este compromiso exige que los efectos del impacto sean controlados, controlables y reversibles, a escala humana de espacio y tiempo.

Es preciso aceptar que las explotaciones mineras, y dentro de ellas las de las Rocas y Minerales Industriales presentan características específicas en cuanto a su volumen, su tipo de beneficio, su transporte y su tratamiento, son actividades perjudiciales para el medio ambiente, pero compatibles con el desarrollo sostenible. Las explotaciones presentan un beneficio social y económico indudable, pero deben, también, procurar el mínimo consumo de energía y la producción mínima de residuos. Los usuarios de RMI, que somos todos, debemos igualmente procurar un consumo racional y no abusivo de las mismas.

La "sustentabilidad" de una explotación minera en un determinado entorno social y económico plantea problemas que no son siempre transparentes. Al calcular los costos de explotación, no siempre se tiene en cuenta el consumo de bienes naturales que se consideran libres (espacio, agua, aire). Es preciso calcular, también, el costo de reposición de los terrenos afectados. En muchos países estos valores suponen una exigencia legal muy severa, y determinan en no pocas ocasiones, el cierre de la explotación y su inviabilidad. Las exigencias son menos severas en países en desarrollo, y pueden llevar a daños irreversibles en el medio ambiente y en la sociedad circundante.

Al analizar someramente la importancia de las Rocas y Minerales Industriales en los países en desarrollo, se constatan hechos, algunos sorprendentes, que deben analizarse. Muchos países en desarrollo deben parte de su riqueza a la explotación de algún recurso mineral no metálico, del que son poseedores exclusivos o principales: así sucede con los fosfatos en Marruecos, los nitratos en Chile durante el siglo XIX, el Rutilo en Sierra Leona, la Ilmenita en Malasia, las Esmeraldas en Colombia, las Gemas en Brasil, la Barita, la Fluorita, el Grafito y los Granitos Ornamentales en China.

El descubrimiento y la explotación de las Rocas y Minerales Industriales de un país, a diferencia de los minerales metálicos o de los recursos energéticos, no supone el enriquecimiento inmediato de la nación. El proceso de industrialización de los recursos no metálicos es lento y requiere la creación de estructuras logísticas y comerciales complementarias. La explotación de materiales de construcción, por ejemplo, sólo es posible si existe una demanda por construcción de viviendas o de obras civiles. Si bien algunas rocas y minerales industriales soportan la exportación, su mayor aplicación ha de buscarse en el consumo interior, y éste depende del desarrollo social e industrial.

COSTOS DE EXPLOTACION DE LAS RMI

En los costos de explotación influyen factores de todo tipo, pero tienen singular importancia los políticos. Los costos naturales (dificultades propias del yacimiento, transporte, tratamientos, etc.) pueden calcularse. Los costos derivados de las cambiantes políticas de los países en desarrollo son, a menudo, imprevisibles, ocasionan el cierre inesperado de explotaciones y pueden hacer inviable el beneficio que estos materiales aportan. Por tanto, es absolutamente necesario que los países en desarrollo establezcan políticas claras respecto a la explotación de los recursos, y que creen un ambiente propicio a la inversión extranjera y a la aportación local.

Consecuentemente con lo anterior, es preciso que se establezcan investigaciones geológicas, mineras, industriales y de mercado. Es necesario repetir que lo que los países en desarrollo deben buscar es lo que demanda el mercado, y no los recursos más abundantes. Es erróneo pensar que un país en desarrollo con reservas importantes de un mineral industrial tiene asegurada la riqueza. Puede tenerla, sin embargo, un país que sepa entender la demanda externa o interna de cierto producto y lo abastezca con materias primas propias.

- La mayor producción, en volumen y en valor, de las Rocas y Minerales Industriales, suele corresponder a los materiales de construcción (30% en EE.UU., 75% en el Reino Unido en 1990, respecto

al total de las mismas). Al ser materiales baratos, no soportan un transporte largo. Es importante que los países en desarrollo cuiden estos materiales, porque son los primeros en la demanda, no requieren altas inversiones de explotación y pueden ahorrar enormes recursos en importaciones.

Algunos aspectos que requieren un cuidado especial en las investigaciones sobre Rocas y Minerales Industriales en países en desarrollo, son:

- La formación de técnicos (geólogos, mineros, procesadores, etc.).
- La seguridad en las instalaciones extractivas y en las aplicaciones.
- El medio ambiente, que puede verse afectado de forma irreparable por explotaciones mal planificadas o construidas.
- La calidad de los procesos y materiales.
- La normalización de productos, como garantía de dicha calidad.
- La legislación, que muchas veces es un obstáculo importante para el desarrollo.

LAS RMI Y EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL

La minería de las Rocas y Minerales Industriales es la actividad industrial básica dedicada a la obtención de recursos minerales para el abastecimiento a la población de materias primas. En la actualidad, la humanidad depende fuertemente de estos recursos en la búsqueda del progreso y del aumento de la calidad de vida. Es evidente, por lo tanto, que no se puede prescindir de la explotación de los recursos geológicos, y que esta actividad seguirá a buen ritmo en el futuro (Orche , 2003).

Hoy en día es una idea universalmente aceptada que la garantía para lograr el desarrollo sostenible de las actividades humanas, es decir, en equilibrio con la protección y conservación de los valores naturales del medio ambiente, se obtiene mediante una adecuada ordenación del territorio (Barettino, 2002).

Conceptualmente la ordenación territorial es la proyección en el espacio de las políticas social, cultural, ambiental y económica de una sociedad. Ordenar el territorio significa vincular las actividades humanas al propio territorio. De acuerdo con la Carta Europea de Ordenación del Territorio, ésta es a la vez, una disciplina científica, una técnica administrativa y una política, concebida como acción interdisciplinaria y global cuyo objetivo es un desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio según un concepto rector (Gómez, 1994).

La ordenación territorial se establece mediante los correspondientes planes de ordenación, que deben basarse en tres principios (Barettino, 2002):

- Adaptación a la capacidad de acogida del medio.
- Optimización de las interacciones entre las actividades a localizar.
- Uso múltiple del territorio.

A ellos hay que remitirse para la integración de las actividades en el uso sostenible del territorio.

En lo que respecta a la minería de las Rocas y Minerales Industriales, la ordenación se puede definir como el conjunto de actuaciones de las Administraciones Públicas, en el ámbito de sus respectivas competencias, que tienen como finalidad la gestión y promoción del aprovechamiento racional de las sustancias minerales y demás recursos geológico-mineros, en orden a conseguir un desarrollo económico y social, en el ámbito geográfico implicado, compatible con otros usos y valores del espacio sobre el cual se asienta la actividad minera (Lorenzo et al, 2002).

La ordenación de esta actividad deberá estar integrada en la política de ordenación general del territorio y en ella deben participar todas las instituciones competentes y el conjunto de la sociedad.

A diferencia de lo que ocurre en otros tipos de actividades humanas en las que se puede estudiar y analizar la localización óptima para su implantación dentro de un ámbito territorial, en la minería la puesta en marcha de la actividad extractiva está condicionada por la localización y existencia de los recursos mineros. Efectivamente, los yacimientos minerales están donde los procesos geológicos han generado acumulaciones anormalmente elevadas de ciertas sustancias útiles para la sociedad y no en otros lugares (Barettino, 2002).

Sin embargo, todas las sustancias minerales no son igual de abundantes o de escasas en la Naturaleza; hay algunas (rocas y minerales industriales) que son mucho más frecuentes que otras (minerales metálicos y energéticos).

En el caso de las más abundantes, se puede plantear el estudio y análisis de alternativas de localización de la actividad minera dentro del ámbito geográfico considerado en el marco de la ordenación territorial, es decir, en función de la capacidad de acogida del territorio ante la actividad extractiva, y del grado de compatibilidad de ésta con los otros usos de los recursos naturales (Gaudó y Rivera, 2002).

En conclusión, la actividad extractiva de los recursos mineros, por unas causas o por otras, debe contemplarse en el marco de la Ordenación Territorial, pero al mismo tiempo, la Planificación Territorial debe tener en cuenta los aspectos y peculiaridades propios de esta actividad (Barettino, 2002).

Consecuentemente, para llevar a cabo una adecuada planificación y ordenación del territorio, en lo que a la actividad minera se refiere, es necesario previamente:

- Conocer a fondo y delimitar geográficamente aquellas zonas del territorio que contienen los diferentes recursos mineros.
- Caracterizar la calidad y cantidad de los diferentes recursos.
- Analizar el consumo y la previsión de la demanda futura de estos recursos.
- Analizar las características propias y los condicionantes técnico-económicos que presenta la explotación minera de los diferentes tipos de recursos geológicos.
- Analizar los programas de cierre y clausura de las explotaciones y la situación en que va a quedar el territorio afectado.
- Analizar los usos posteriores que se han programado para los terrenos afectados.
- Analizar los planes de alternativas económicas a la actividad minera para la reconversión del sector tras el cierre de las explotaciones (planes de desarrollo alternativo de las comarcas mineras).

PROPUESTA DE NUEVAS CONCEPCIONES PARA LA VALORACION DE LAS RMI EN NUESTRO PAIS EN FUNCION DEL DESARROLLO LOCAL SOSTENIBLE

Es parte de la intención de este trabajo dar un aporte a lo que en un futuro debe ser un sistema para la valoración de los recursos minerales de los territorios en función del desarrollo local sostenible. Precisamente queremos demostrar los aspectos siguientes:

- Los municipios, en ocasiones, tienen producciones en algunos de estos campos (ladrillos cerámicos, áridos, etc) por ser las mismas tradicionales, pero no por realizarse un trabajo de valoración integral de sus recursos minerales, orientado según sus condiciones geológicas.

- Hemos podido constatar que existen informes geológicos oficiales sobre trabajos realizados en determinados municipios por solicitud de organismos nacionales o regionales y donde la valoración económica de estos objetos no ha resultado positiva o no se han continuado las investigaciones, y sin embargo no son conocidos por las autoridades de estos territorios, pudiendo en muchos casos bajo una valoración económica de su consumo local resultar de un impacto importante para estas comunidades.
- Por otra parte y como hemos expuesto en el epígrafe Rocas y Minerales Industriales y ordenamiento territorial, este es otro de los aspectos en que tributa directamente el sistema propuesto por nosotros, pues como resultado en esta dirección se contaría con la distribución geográfica de estos recursos, sus características y usos más probables, lo cual representa una herramienta de insustituible valor para la planificación del espacio físico en los territorios.
- En el caso específico de los municipios Moa, Sagua de Tánamo, Banes y Calixto García, de la provincia de Holguín, estudiados por nosotros y cuyos resultados reflejamos en este trabajo, se determinaron las propiedades Físico – mecánicas de las siguientes materias primas: Serpentinitas, Tobas vitroclásticas, Gravas y arenas, Calizas blandas, Calizas organógenas, etc.
- Como se ha explicado en la primera parte de este capítulo, los recursos no metálicos, específicamente los materiales de construcción tienen características que permiten una valoración más rápida, menos compleja y con menores costos de inversión de los mismos.

Todo lo anterior nos permite sustentar que en el futuro inmediato se debe trabajar en función de lograr ir completando los elementos que integrarían el Modelo de Gestión Estratégica de los recursos minerales de los territorios en función de su propio desarrollo.

Algunos elementos preliminares que consideramos que formarían parte de este Modelo de Gestión Estratégica serían:

- Creación del modelo digital del terreno del territorio a evaluar.
- Recopilación de toda la información geológica disponible.
- Investigación de los usos tradicionales que se dan a los recursos minerales en el territorio.
- Investigación de los usos que se le han dado a los recursos minerales en etapas históricas pasadas.
- Valoración pronóstico del territorio que permita identificar y discriminar los tipos de Rocas y Minerales Industriales a caracterizar y evaluar.
- Reconocimiento geológico de los diferentes tipos de Rocas y Minerales Industriales identificados.
- Ensayos y análisis de los recursos, según normativas y exigencias técnicas establecidas.
- Análisis técnico económico para identificar posibles producciones.
- Recomendaciones sobre las producciones a acometer según los tipos de recursos minerales evaluados.

CONCLUSIONES

Como aspectos imprescindibles que se requieren para fundamentar y lograr la implementación de este Modelo de Gestión Estratégica se propone:

- Lograr una labor de divulgación y capacitación entre las autoridades de los territorios sobre el objetivo y resultado de la aplicación de este modelo: (gobierno, empresas, organizaciones políticas y de masas, etc.), a través de Trabajos Comunitarios.
- Gestionar proyectos por todas las vías posibles que permitan lograr el aseguramiento material y financiero requerido (CITMA, PNCT, PTCT, PRCT).

- Lograr que un especialista en geociencias rectoree en cada territorio este modelo y que el mismo posea la capacitación requerida. (Este aspecto fue propuesto en la última asamblea de la Sociedad Cubana de Geología celebrada durante la Primera Convención de Ciencias de la Tierra en abril de 2005 y elevado a la dirección del país.
- Implicar a las Sedes Universitarias Municipales como nuevo ente integrador por excelencia en los territorios en cuanto al apoyo y gestión de este sistema.

Como puede apreciarse el resultado de la generalización de este Modelo de valoración de los recursos minerales puede traer resultados importantes a las comunidades en varias direcciones:

- Incremento de la producción de materiales de construcción para diferentes fines, especialmente viviendas y otras obras sociales.
- Mejoramiento de suelos en la agricultura y la alimentación animal para impulsar la producción de alimentos (materias primas agronómicas).
- Creación de nuevas fuentes de empleo en los municipios a partir de las nuevas producciones, la mayor parte artesanales.
- Ahorro considerable de Energía, Combustibles y Lubricantes al acercar las fuentes de suministros a las obras.

Resulta significativo destacar que nuestras concepciones en el sistema propuesto se corresponden con la propuestas realizada por Coutin y Brito, 2005, donde plantea entre otros aspectos los siguientes "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.

....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.

BIBLIOGRAFIA

- Barettino D. (2002) Ordenación minero-ambiental de recursos de rocas industriales. Aplicación a la Reserva Estatal de pizarras de La Cabrera (León). Tesis Doctoral. E.T.S.I. Minas. Universidad Politécnica de Madrid (España).
- Bristow C.M. (1987). Society's changing requirements for primary raw materials. Industrial Minerals. : Pg. 59-65.
- Bocien V. et al, 1963. Informe sobre los trabajos de la brigada sísmica marina de "Vladimir Obruchev" en el norte de la costa norte de la isla de Cuba efectuado en 1962. Fondo Geológico. 2185.
- Ortega R.1987. Informe Geólogo Tecnológico Preliminar de las Zonas 13 y 15 del Yacimiento "Río Sagua de Tánamo". Provincia Holguín.
- Porera M., Bayona P. y otros, 1987. Informe sobre los trabajos de Búsqueda Orientativa y Detallada de Tobas para Áridos Ligeros, Sectores el Lirial y Amansaguapo, Provincia Holguín.

- Benilda D, 1987. Informe sobre la búsqueda orientativa y detallada del yacimiento de calizas para áridos ligeros y arena artificial Yaguaneque – Provincia Holguín. ISMM, Moa. Trabajo de Diploma.
- C. Antonio C. Rabilero Bouza. Contribución a la comprensión de los Aglomerantes de Cal-Puzolana. Filial Santiago de Cuba. CTDMC.
- Calvo B. et al, 2000. Rocas y Minerales Industriales de Iberoamérica. Instituto Tecnológico Geominero de España, España, 436.
- Carrazana Á, 1990. Resultado de la Exploración Orientativa y Detallada Caliza blanda Matanzas. ISMM, Moa. Trabajo de Diploma, 29.
- Cruzata J. et al, 1983. Informe sobre los trabajo de exploración en el yacimiento de explotación de calizas Yaguajay para áridos de la construcción en el municipio de Banes, provincia de Holguín. Fondo Geológico. 3428
- Coutín D y Brito, 2005. Primera Convención Cubana de ciencias de la Tierra. SCG. La Habana, Cuba.
- Díaz A, 1986. Proyecto para la Exploración de los límites del coto minero del Yacimiento Jaimanitas provincia Habana. ISMM, Moa. Trabajo de Diploma.
- Dikerson R. et al 1931 geological reconnaissance of Oriente province. Fondo Geológico 2580.
- Gaudó J, Rivera, F. (2002) Desarrollo y repercusiones en la Comunidad Autónoma de Aragón del Plan 1998-2005 de la Minería del carbón y desarrollo alternativo de las comarcas. XI Congreso Internacional de Industria, Minería y Metalurgia. Zaragoza (España).
- Gómez D. (1994) Ordenación del Territorio. Una aproximación desde el medio físico. ITGE. Madrid (España).
- Informe geológico Exploración Orientativa y Detallada para roca ornamental para revestimiento en el yacimiento Cabo Lucrecia. Provincia Holguín. 1992.
- Lorenzo J.; Sirvent, J.; Bernabé, J. (2002) Ordenación minera. Alcance y ámbito competencial. Aprovechamiento racional y compatibilidad con otros usos y valores. XI Congreso Internacional de Industria, Minería y Metalurgia. Zaragoza (España).
- Mapa geológico de la República de Cuba a escala 1:100 000. IGP.
- Mapa de Yacimiento y Manifestaciones Minerales no Metálicos y Combustibles de la República de Cuba. Escala 1: 500 000, 1988.
- Martínez A, 1997. Informe geológico de Prospección Detallada de Cretas Fustete.
- Martínez, 2000. Rocas y Minerales Industriales de Cuba.
- Morrillas J. (1997). Introducción a la economía mundial: Estructura y desarrollo sostenible. Madrid, ADI. ONU. (1992).
- Noestaller, Richard, 1989, in U. S. Geological Survey Bulletin 1905. : Pg.5-13.
- Orche E. (2003) Desarrollo sostenible y ordenación del territorio.
- Villas Boas R.C (1995). Technological Challenges faced by the MM sector in achieving sustainable development. Centro de tecnología Mineral. CNPq. Río de Janeiro, Brasil.

Tabla I: Clasificación genética de las RMI en Cuba.

TIPO GENÉTICO				MATERIAS PRIMAS	
EXÓGENO	METEORIZACIÓN	Residual		Arcilla, Caolín, Magnesita, Calcedonia, Ópalo, ocre, Arena polimíctica, Roca fosfórica.	
		Clásticos		Arcilla,Bentonita,Magnesita, Paligorskita,Arena polimíctica,Arena cuarzosa, Arenisca,Ágata y calcedonia, Calcanerita.	
	SEDIMENTARIO	No Clástico	Biogénico, Bioquímico y Químico	Marga, Caliza, Dolomita, Dolomita calcárea, Caliza fosfatizada, Silicita	
			Evaporítico	Sal gema, Yeso	
			Caustobiolítico	Turba, Asfaltita, Petróleo y gas.	
	ENDÓGENO	Vulcanógeno sedimentario			Toba, Bentonitas, Tobas zeolíticas
		Extrusivo	Lavas y cuerpos subvolcánicos		Dacita, Andesita, Diabasa, Basalto, Vidrio volcánico, Rocas feldespáticas
Intrusivo			Granitoide, Granodiorita Granoseinita,Sienita, Gabro, Troctolita		
Pegmatítico			Roca feldespática Micas		
Metasomatismo de contacto			Granate		
Hidrotermal			Cuarzo, Amatista, Ágata Calcedonia, Cuarcita sedimentaria, Barita, Arcilla, Caolín, Talco, Asbesto crisotílico		
Metamorfogénico				Granate, Mármol, Cuarcita, Grafito, Cienita, Asbesto anfíbolítico, Jadeita, Serpentinita antigorítica, Anfíbolita	

Tabla II: Clasificación de las Rocas y Minerales Industriales según su principal uso industrial en Cuba.

GRUPO INDUSTRIAL	USO INDUSTRIAL	MATERIA PRIMA
Materiales para la construcción.	Aridos naturales	Arena y grava, arena polimíctica y arena cuarcífera,
	Áridos de trituración	Caliza, Caliza dolomítica, Dolomita calcárea, Andesita, Basalto, Gabro, Granosienita, Granito, Granodiorita, Dacita, Diabasa, Mármol, Anfibolita, Toba andesítica
	Piedra de cantería	Calcarenita, Caliza.
Piedra decorativa artesanía y joyería	Decorativa en bloques	Mármol, Caliza, Caliza dolomítica y Dolomita calcárea
	Decorativa en Fragmentos	Serpentinita, Granito Troctolita
	Joyería-Artesanía	Calcedonia, Opalo, Cuarzo y Jadeita
Cemento y otros aglomerantes	Portadores de $\text{CaO}, \text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$,	Caliza, Marga, arcilla, arena polimíctica
	Correctores aditivos	Arenisca, Yeso, Toba zeolítica
Cerámica	Cerámica roja	Arcilla, bentonita, marga
	Cerámica Fina	Caolín, roca feldespática
	Cerámica Especial	Cianita, Wollastonita
	Cerámica Refractaria	Cuarcita.
Vidrio, óptica y electrónica	Industrias del Vidrio	Arena cuarcífera, Dolomita, Cuarzo, Cuarcita
	Industria de la Electrónica	Cuarzo, Mica
Agricultura y agropecuaria	Mejoramiento de suelos	Caliza, Caliza fosfatizada, Turba
	Fertilizantes	Dolomita, Roca fosfórica, Magnesita
	Aditivos en alimentación animal	Toba zeolítica, Magnesita, Caliza
Industrias varias	Química	Caliza, Sal Gema, Arena Cuarcífera, Asfaltita, Barita
	Medicina	Bentonita, Yeso, Barita, Toba zeolítica
	Cal	Caliza
	Minería Metalúrgica	Grafito, Silicita, Caliza, Barita, Bentonita
	Refractarios	Magnesita, Cuarcita
	Rellenos	Talco, Asbestos, Tobas zeolíticas, Caliza dolomítica
	Abrasivos	Granate. Toba zeolítica
	Filtrantes	Vidrio volcánico, Paligorskita
	Decolorantes	Vidrio volcánico
	Pigmentos	Ocre, Asfaltita
	Combustibles	Asfaltita

EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS MINERALES TERRITORIALES Y SU CONTRIBUCIÓN AL DESARROLLO SOSTENIBLE.

Carlos A. Leyva Rodríguez ⁽¹⁾ **José Carmenaty Fernández** ⁽¹⁾, **Ricardo Álvarez Díaz** ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba, Email: cleyva@ismm.edu.cu

⁽²⁾ CENAI, Delegación Holguín.

RESUMEN

Se presenta la propuesta de un sistema para lograr determinar en cada uno de los municipios del país sus potencialidades en cuanto a la presencia de materias primas minerales que den un impulso importante al desarrollo de los mismos, haciendo énfasis fundamental en el caso de los materiales de construcción y las fuentes minerales para el mejoramiento de los suelos en la agricultura.

Los municipios, en ocasiones, tienen producciones en algunos de estos campos (ladrillos cerámicos, áridos, etc) por ser las mismas tradicionales, pero no por realizarse un trabajo de valoración integral de sus recursos minerales, orientado según sus condiciones geológicas y necesidades potenciales.

Como cuestión no menos importante de este trabajo se destaca su utilidad en el ordenamiento físico de estos territorios. Se muestran casos de resultados ya obtenidos en algunos municipios de la provincia Holguín donde se trabaja en la actualidad, ejemplo en los municipios de Moa, Banes y Holguín, donde se evalúan especialmente las materias primas siguientes:

Calizas blandas: Como bloques naturales aserrados y producción de cal.

Arcillas cerámicas: Fabricación de ladrillos y preparación de las mezclas correspondientes.

Lajas: Como elemento de ornamentación, pisos en obras sociales, plazas, parques, enchape de paredes, etc.

Tobas vítreas: Como fuente de arena artificial, hormigones ligeros, extensor del cemento y aereador de suelos.

Calizas fosfatadas: Mejoramiento de suelos a nivel local.

Desechos serpentínicos: Material de rechazo de la industria niquelífera y túneles populares, el cual se evalúa como fuente de áridos y otros usos.

Entre los resultados más importantes que se obtienen pueden destacarse:

- Incremento de la producción de materiales de construcción, especialmente viviendas y otras obras sociales.
- Mejoramiento de suelos y alimentación animal para impulsar la producción de alimentos.
- Creación de nuevas fuentes de empleo en los municipios.

ABSTRACT

A proposal of a system is presented in order to determine in each of the municipalities of the country its potentialities as for the presence of minerals raw material that give an important impulse to the development of the municipalities, making fundamental emphasis in the case of the construction materials and the mineral sources for the improvement of the soils in the agriculture.

The municipalities, some times, have productions in some of these fields (ceramic, arid bricks, etc), because they are traditional, but not as a result of an integral valuation of the mineral resources, of these places according to their geologic conditions and potential necessities.

As not less important aspect of this work it is pointed out its important utilization in the physical classification of these territories.

Examples are shown from the ones that had already been obtained in some municipalities of the Holguín province where works, are carried out at the present time, for example in the municipality of Moa, Banes and Holguín, where it has been evaluated the following raw material, especially:

Limestones: As sawed natural blocks and production of lime.

Ceramic clays: Production of bricks and preparation of the corresponding mixtures.

Flagstones: As element of ornamentation, floors in social works, squares, parks, coverings of walls, etc.

Vitreous tufas: As source of artificial sand, slight concretes, extending of the cement and aereator of floors.

Phosphatized limestones: Improvement of floors at local level.

Serpentinitic waste: Material of rejection of the niquel industry and popular tunnels, which is evaluated as source of arid and for other uses.

Among the most important results obtained with this work we can point out:

- Increasing of the production of construction materials, especially for housings and other social works.
- Improvement of the soils and animal feeding for the development of the production of foods.
- Creation of new employment sources in the municipalities.

INTRODUCCIÓN

La minería metálica que dominaba la producción industrial y el comercio de minerales, ha disminuido de forma relativamente rápida, en comparación con la minería del grupo de los recursos no metálicos, cuyo desarrollo y aplicaciones tecnológicas adquiere cada vez más importancia.

En la actualidad, diversos autores sugieren la conveniencia de usar la producción de Rocas y Minerales Industriales (RMI) como una medida aceptable de la madurez industrial de un país. Cuanto más tarde se produzca el momento en que la producción nacional de RMI supera en valor a la producción de minerales metálicos, más reciente es la industrialización de este país (Bristow, 1987).

Las explotaciones mineras, y dentro de ellas las de rocas y minerales industriales, que presentan características específicas en cuanto a su volumen, su tipo de beneficio, su transporte y su tratamiento, son actividades perjudiciales para el medio ambiente, pero compatibles con el desarrollo sostenible. Las explotaciones presentan un beneficio social y económico indudable, pero deben, también, procurar el mínimo consumo de energía y la producción mínima de residuos. Los usuarios de RMI, que somos todos, debemos igualmente procurar un consumo racional y no abusivo de las mismas (Calvo, et al, 2000).

Según estos mismos autores los materiales de construcción constituyen el grupo mineral que más volumen de extracción supone en la Tierra. En cuanto a su valor total, se sitúa solamente por detrás de los combustibles fósiles. Casi todos las rocas y minerales conocidos tienen un papel en la industria de la construcción, en la que se incluyen carreteras, edificios, puentes, presas, puertos y otras estructuras muy variadas. Por lo tanto, el sector de la construcción es el sector industrial que más RMI consume. Si bien los volúmenes son muy altos, los precios a pie de cantera suelen ser muy bajos, adquiriendo mayor o menor valor añadido según el tratamiento posterior que se requiera.

Como son muy abundantes, los factores que controlan la explotación y comercialización de los materiales de construcción son muy distintos de las otras RMI. Normalmente, las canteras se abren para satisfacer demandas locales, porque el bajo costo no soporta largos transportes. Las reservas y los recursos potenciales suelen ser muy grandes para materiales baratos (áridos, arcillas comunes, etc), aunque pueden ser mucho menores para materiales de alta calidad (piedra ornamental, materia prima para aislantes).

Nuestro país en general y algunas provincias en particular se encuentran actualmente en una situación muy compleja respecto al abastecimiento de materiales de construcción, es por esta razón que hemos aplicado hacia esta industria nuestra propuesta de sistema para la valoración de los recursos minerales de los territorios en función del desarrollo local sostenible, y como objeto de estudio a la provincia de Holguín en una primera etapa de trabajo.

A tenor con esta prioridad el Ministro del MICONS a expresado recientemente "Consideramos este año muy valioso para poder definir políticas viables. Estamos abogando por fortalecer en cada territorio una industria productora de materiales sostenible, que permita abaratar costos por distintos conceptos, entre ellos por transportación" (Martín G, 2006).

La provincia de Holguín presenta en estos momentos un déficit de áridos muy específicamente de

arena. Los centros productores se encuentran bastante distantes de las fuentes de consumo y entre sí, lo que hace más compleja la satisfacción de la demanda por la carencia también de transporte.

Este territorio es uno de los mayores y más poblados del país. Del total de viviendas un alto por ciento se encuentra en mal estado (cerca de un 40 %). El nivel de construcciones de vivienda de todo tipo es uno de los más altos del país. Los estimados de demanda inmediata de áridos según las solicitudes hechas a la Empresa de Materiales de Holguín (el productor mas importante del territorio) establecen que se necesitan mensualmente unos 2 500 m³ de arena beneficiada en toda la provincia solo para la vivienda. En estos momentos la obra del Trasvase al este de la Provincia tiene una demanda importante. Otra demanda no cubierta y muy necesaria para el país y los resultados económicos es la relativa a las obras del turismo.

METODOS EMPLEADOS.

La investigación se llevo a cabo aplicando la metodología propuesta al final del trabajo, la cual constituye el aporte principal del mismo, sin embargo se aplicaron específicamente en los territorios que se evaluaron los siguientes métodos y técnicas de investigación:

- Digitalización de cartas topográficas y obtención del Modelo Digital del Terreno (MDT) de los territorios.
- Recopilación, análisis y procesamiento de la información geológica preexistente.
- Trabajos de campo y de muestreo.
- Ensayos de laboratorio.

Digitalización de cartas topográficas y obtención del MDT.

Durante los trabajos se obtuvo el MDT del área de trabajo, el cual se realizó para una mejor ubicación de los puntos de muestreo así como la dirección de los trabajos de campo. Existen varios procedimientos para la obtención de los datos necesarios para crear un MDT, nosotros utilizamos la digitalización directa de cartas topográficas, ya que es la más factible para el propósito de nuestro trabajo. Se emplearon cartas topográficas a escala 1: 50 000, del año 1984 publicadas por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. Estas se georreferenciaron y se les realizó una corrección polinómica para rectificar las deformaciones existentes en el papel y la declinación magnética. Se emplearon coordenadas planas del sistema Cuba Sur.

El software utilizado fue AutoCad Map 2000 de Autodesk, Inc para digitalizar las isolíneas vectorizadas. Con el software Surfer® 8.0 de la Goleen Software se generó el GRID correspondiente al MDT. El método de interpolación fue el inverso al cuadrado de la distancia, empleado como interpolador exacto. Las unidades de medida empleadas fueron los metros.

Recopilación, análisis y procesamiento de la información geológica preexistente.

Esta etapa se desarrollo principalmente en el Centro de Información del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, consulta de Informes de la EGMO, empleo de la biblioteca del ISMM e información empleando sitios Web de Internet. Con la finalidad de obtener la mayor información posible se realizó además una intensa revisión bibliográfica de artículos científicos, trabajos de diplomas, revistas, y otros documentos relacionados con la temática abordada en la investigación.

Luego de desarrollada la búsqueda se procedió al procesamiento de los datos disponibles y a la interpretación de los resultados obtenidos, llevándose esta última a formato digital como parte de la memoria escrita de la investigación y como documentos gráficos (mapa de ubicación geográfica, mapa geológico del área de Banes y otros), también incluidos en el trabajo.

Trabajos de campo y de muestreo.

Los trabajos de campo encaminados a la obtención de la información geológica básica se desarrollaron durante varias campañas en las que se efectuaron recorridos de reconocimiento geológico en los territorios investigados y se documentaron y muestrearon los afloramientos de las litologías de interés. Durante estos recorridos se tomaron muestras de Tobas vitroclásticas, en la zona de Flores, Calizas porosas en la localidad de Los Ángeles, Calizas conchíferas (tipo Jaimanita) en Lucrecia, y la Cretas en el poblado de Fustete. Las muestras tomadas eran lo suficientemente frescas para los estudios de laboratorio posteriores que incluyen análisis mineralógicos y de propiedades físico mecánicas de las muestras, fundamentalmente para las Tobas vitroclásticas y la Calizas porosa que son de mayor interés, y no se contaba con anterioridad con ningún tipo de información.

Ensayos de laboratorio.

Los trabajos de laboratorio se orientaron en dos direcciones fundamentales: una primera en la obtención de la composición química y mineralógica de muestras recolectadas y una segunda en el análisis de propiedades físico mecánicas de las rocas estudiadas. Entre los análisis realizados se efectuaron, determinación de la resistencia a la compresión de las Calizas porosas, índice de resblandecimiento y porcentaje de absorción. Además se determinaron las fases minerales principales, porcentaje de absorción y propiedades físico mecánicas de mezclas para morteros preparados a partir de las tobas vitroclásticas, para ser probadas como áridos ligeros.

Análisis de difracción de rayos x

Para la realización de los análisis se fijaron las condiciones de registro siguientes en el difractómetro HZG-4 de fabricación alemana, instalado en el ISMM:

- Tipo de radiación, CoK_α ,
- Voltaje = 40kV, Amperaje = 30 mA
- Rango angular de medición (2θ) de 8 a 80
- Hendiduras :de divergencia = 0,79; del detector = 0,79 mm
- Velocidad de goniómetro = $2^\circ/\text{minuto}$
- Porta muestra de aluminio.

Se le realizaron análisis de difracción de Rayos X a las muestras de Calizas porosas y tobas vitroclásticas de Banes con el objetivo de obtener la composición mineralógica de las mismas.

Determinación de las propiedades Físico-Mecánicas.

Para determinar el porcentaje de absorción se cortaron las muestras de Calizas y Toba vitroclástica en cubos con dimensiones de 5x 5x 5 cm., se secaron en la estufa para obtener sus pesos secos y se colocaron en un recipiente con agua por un período de 24 horas, transcurrido este tiempo se pesaron en la balanza (Owa Labor de fabricación alemana) y se obtuvieron sus pesos saturados de agua.

Las muestras de tobas vitroclásticas fueron trituradas y tamizadas en el laboratorio de preparación de muestras de la planta de beneficio de la Facultad de Metalurgia Electromecánica del ISMM. Estas fueron utilizadas, según diferentes mezclas con las arenas de Sagua de Tánamo (S.T.) que son las utilizadas en el territorio de Moa en la construcción.

Estas mezclas se hicieron en cinco proporciones, las cuales fueron utilizadas en la confección de morteros, con dimensiones de 16 X4 X4 cm.

- Primera: 100 % toba vitroclástica
- Segunda: 75 % toba vitroclástica y 25 % arena S. T..
- Tercera: 50 % toba vitroclástica y 50 % arena S. T.
- Cuarta: 25 % toba vitroclástica y 75 % arena S. T.
- Quinta: 100 % arena S. T.

Luego de preparados los morteros fueron curados durante 7 días, como establecen las normas cubanas. Posteriormente sometidas a una prensa de ensayo de morteros de 10 t, en el laboratorio de la Empresa Constructora y Reparadora del Níquel de Moa.

LAS ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE.

El concepto de desarrollo sostenible, que es mucho más amplio y rico en matices de lo que parece a simple vista, se acuñó definitivamente en el llamado "Informe Brundtland", publicado por la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU bajo el nombre de "Nuestro futuro común".

Según este informe, desarrollo viable y sostenible sería el "conjunto de vías de progreso económico, social y político que atiende a las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades".

El concepto de desarrollo sostenible y sus implicaciones ha sido largamente estudiado. Villas Boas (1995), por ejemplo, aludiendo concretamente al desarrollo sostenible en relación con la actividad minera y metalúrgica, señala una serie de desafíos tecnológicos a los que se enfrentan las actividades industriales, tales son los tres mínimos exigibles (mínimo consumo de energía, mínimo consumo de materiales y mínimo impacto ambiental) y un máximo (máxima satisfacción social). La combinación de estos condicionantes no señala una estrategia concreta, sino una actitud global hacia el conjunto de estrategias que se incluyen bajo la denominación de tecnologías limpias.

El desarrollo sostenible, en todo caso, se concibe como un equilibrio entre las necesidades de abastecimiento y la conservación del medio, para nosotros y para nuestros sucesores. Además del equilibrio, implica una componente de solidaridad para repartir de forma equitativa los bienes entre países ricos y pobres, entre favorecidos y marginados. Precisa, en tercer lugar, el desarrollo de la eficiencia tecnológica, para conseguir el mayor número de recursos al menor costo social y económico.

Según Calvo, 2000 la Minería y las explotaciones de las Rocas y Minerales Industriales en particular, tal vez más que otras operaciones industriales, mantienen una relación difícil con el medio: para extraer, transportar, transformar y comercializar los minerales, es preciso perjudicar el medio, a veces de forma irreversible, y producir una cantidad de residuos que casi siempre es muy cuantiosa.

Además de los daños que se pueden producir por el volumen de residuos, es preciso considerar otras características medioambientales negativas de las explotaciones mineras: la primera es que la ubicación de las canteras y minas ha de hacerse obligatoriamente en el lugar en que existe un yacimiento. A diferencia de otras industrias, no se puede elegir el emplazamiento, y este hecho puede causar daños ecológicos o paisajísticos. La segunda es que la minería es siempre agresiva hacia el medio en el que se sitúa. Dados los enormes volúmenes que es necesario tratar, se crean cicatrices en la superficie terrestre difíciles de ocultar, se afecta a la fauna y a la vegetación, a veces al clima, se producen explosiones, polvo y contaminación química por compuestos de tratamiento y se empeora la calidad de vida de los habitantes cercanos, entre los que se encuentran los propios mineros. La tercera característica,

ligada a la producción de residuos, tiene que ver con la posible contaminación de cauces fluviales y de acuíferos y la posibilidad, por lo tanto, de trasladar el daño hasta parajes alejados de la propia mina.

Como los recursos minerales son necesarios, y en proporción enormemente creciente, es preciso llegar a un compromiso de impacto medioambiental aceptable y recuperable. Este compromiso exige que los efectos del impacto sean controlados, controlables y reversibles, a escala humana de espacio y tiempo.

Por otra parte la actividad extractiva de los recursos mineros, por unas causas o por otras, debe contemplarse en el marco de la ordenación territorial, pero al mismo tiempo, la planificación territorial debe tener en cuenta los aspectos y peculiaridades propios de esta actividad (Barettino, 2002). Consecuentemente, para llevar a cabo una adecuada planificación y ordenación del territorio en lo que a la actividad minera se refiere, es necesario previamente:

1. Conocer a fondo y delimitar geográficamente aquellas zonas del territorio que contienen los diferentes recursos minerales.
2. Caracterizar la calidad y cantidad de los diferentes recursos.
3. Analizar el consumo y la previsión de la demanda futura de estos recursos.
4. Analizar las características propias y los condicionantes técnico-económicos que presenta la explotación minera de los diferentes tipos de recursos geológicos.
5. Analizar los programas de cierre y clausura de las explotaciones y la situación en que va a quedar el territorio afectado.
6. Analizar los usos posteriores que se han programado para los terrenos afectados.
7. Análisis de los planes de alternativas económicas a la actividad minera para la reconversión del sector tras el cierre de las explotaciones (planes de desarrollo alternativo de las comarcas mineras).

El sistema que proponemos en el presente trabajo da un aporte importante especialmente en el punto 1 de los sugeridos anteriormente, pues no sería posible conocer la verdadera potencialidad de los territorios, sin realizar una valoración geológica integral de los mismos.

La valoración de los recursos minerales efectuada por nosotros se está aplicando en los municipios de la provincia de Holguín y en una primera etapa para los materiales de construcción, pues esta provincia es una de las de mayor déficit de materiales en nuestro país, especialmente de áridos.

A modo de ejemplo exponemos el estudio realizado en el municipio de Banes.

Particularidades geológicas del municipio de Banes.

Geográficamente el área de estudio se encuentra ubicada hacia la parte norte-oriental de la Isla de Cuba, ocupando el municipio de Banes en la provincia de Holguín (Figura 1). Los trabajos realizados se desarrollaron fundamentalmente hacia la parte norte de este municipio, donde se encuentran la mayor concentración de las materias primas de interés para la presente investigación. El área se encuentra dentro de las cartas topográficas a escala 1: 50 000, Cabo Lucrecia (5079) y Banes (5078).

La extensión territorial del municipio es de 781.1 kilómetros cuadrados. La población es de 86 838 habitantes. Limita al norte con el Océano Atlántico, al este con el Océano Atlántico y el municipio de Antilla, al sur con el de Mayarí y al oeste con los municipios de Cueto y Báguano.



Figura 1. Mapa de Ubicación Geográfica del municipio de Banes.

Desde el punto de vista geológico el área se encuentra en los límites del Bloque Oriental, algo al Oeste de la Falla Cauto-Nipe. En sentido general el área no presenta grandes complejidades geológicas, aunque afloran rocas representativas de los diferentes eventos por los que atravesó el archipiélago cubano, durante el Mesozoico y el Cenozoico.

En la parte Este y Sur afloran rocas del estadio platafórmico. Hacia la parte Oeste y Norte se encuentran rocas pertenecientes al Cinturón Ofiolítico, las que se encuentran contactando tectónicamente con rocas del Arco Volcánico del Cretácico y rocas de las cuencas superpuestas. Estas características se observan en el mapa geológico de la región (Figura 2).

Las rocas de la secuencia ofiolítica están ampliamente distribuidas hacia el norte-Noroeste de la región de estudio, formando parte del Macizo Maniabón. El mismo presenta un desarrollo considerable del complejo ultramáfico. Se han reportado además pequeños afloramientos de gabros. El complejo ultramáfico desde el punto de vista petrológico se caracteriza por un predominio de harzburgitas, y en menor grado dunitas. Los cumulos de gabros forman pequeños cuerpos. El contacto entre los gabros y el complejo ultramáfico generalmente es tectónico. Los principales tipos petrológicos descritos son: gabros olivínicos, gabronorita, gabros (Torres, 1987).

El Arco de islas volcánicas del Cretácico (Paleoarco) se encuentra fundamentalmente hacia el NW, representada por las rocas de la formación Iberia, así como por aislados intrusivos de composición diorítica.

Fm. Iberia; (Cretácico Inferior Albiano a Cretácico Superior Cenomaniano), está compuesta fundamentalmente por materiales vulcanógeno-sedimentarios, litológicamente representado por lavas y diques, que forman cuerpos lenticulares de diversos tamaños (Nagy et. al., 1976. Los cuerpos de lavas tienen espesores entre 3 y 40 m y son andesíticas, andesito-diabásicos y basálticos, mientras que los diques generalmente están formados por diabasas y basaltos. También dentro de la parte vulcanógena se encuentran rocas piroclásticas, representadas por tobas y aglomerados básicos y medios de color gris verdoso, así como lavas y brechas andesítico-basálticas. También se presentan conglomerados, areniscas, calizas y margas. La parte vulcanógena representa

aproximadamente un 95% de la secuencia, mientras que el restante 5% está formado por las calizas, conglomerados, areniscas y margas. El espesor de esta formación oscila entre los 1000 y 1200m.

Cuenca superpuesta:

Fm. Tinajita; (Cretácico Superior (Campaniano-Maestrichtiano Inferior), esta compuesta por calizas de diferentes variedades (Nagy et. al., 1976), entre las cuales se encuentran biodetríticas, olíticas, micríticas, biogénicas y silicificadas, mal estratificadas, con estratificación gruesa y más raramente con estratificación media. Las calizas silicificadas pueden llegar hasta silicitas y margas. Esta formación yace tectónicamente sobre la Fm. Iberia. La formación es relativamente poco potente, ya que su espesor máximo no sobrepasa los 50 m, oscilando en general entre 30 y 50 m.

Fm. La Jíquima; (Cretácico Superior (Campaniano-Maestrichtiano), esta representada por areniscas vulcanomícticas bien estratificadas. El espesor de las capas de areniscas es variable (desde 1-2 cm hasta 30-40 cm), observándose con frecuencia estratificación gradacional. Esta formación yace discordantemente sobre la Fm. Iberia, y a su vez está sobreyacida también discordantemente por la formaciones Camazán, Vigía y el olistostroma Haticos.

El Paleógeno en esta Zona se encuentra cubriendo las rocas del Arco Volcánico Cretácico y su cobertura Campaniano-Maestrichtiano, así como sobre el melange ofiolítico.

En esta Zona se ubican las formaciones Haticos., Vigía y pequeños representantes de la formación Charco Redondo.

Olistostroma Haticos; (Paleoceno), comprende una potente secuencia olistostrómica formadas por sedimentos caóticos tectono-sedimentarios. Litológicamente se compone por brechas y conglomerados polimícticos con una matriz de areniscas, aleurolitas y limolitas de color pardo y gris. La parte superior de la unidad está constituida por conglomerados y brechas tobáceas, con intercalaciones de tobas riolíticas o dacíticas.

Fm. Vigía; (Paleoceno al Eoceno Medio), litológicamente está constituida por areniscas de grano grueso, medio a fino, aleurolitas con intercalaciones de tobas riolíticas, tufitas y margas. Las areniscas están bien estratificadas, generalmente de colores variables y diferente granulometría. Generalmente son vitrocrystaloclasticas a veces pumíticas. Yace transgresivamente sobre la Fm. Haticos y está cubierta con una discordancia angular por las formaciones Pedernales y Camazán.

Fm. Charco Redondo; (Eoceno Medio) representada por calizas de aguas poco profundas. Conteniendo calizas compactas, biodetríticas, fosilíferas, de color variable, con brechas frecuentes en la base y estratificación gruesa, que hacia el tope es fina. Su espesor varía entre 50-200 m.

Neoactótono:

Fm. Camazán; (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior), litológicamente se compone de calizas coralino-algáceas (biolitas), calizas biodetríticas a veces arcillosas, calcarenitas, calciruditas, limolitas calcáreas con intercalaciones de margas y arcillas. El espesor de sus sedimentos oscila entre 440 y 800 m.

Fm. Río Jagüeyes; (Mioceno Inferior parte alta-Mioceno Superior parte baja). Se compone de limolitas, areniscas, gravelitas polimícticas de matriz arenácea a arcillosa con cemento carbonático escaso o ausente, y

margas arcillosas y arenáceas, fosilíferas, alternando con calizas biodetríticas, calizas biohémicas, calcarenitas y arcillas. Yace concordantemente sobre la Fm. Camazán y discordantemente sobre las formaciones Bitirí y Vigía. Está cubierta concordantemente por la Fm. Júcaro y discordantemente por formaciones Jaimanitas y Cauto. El espesor de los sedimentos es de 150 m.

Fm. Vázquez; (Mioceno Inferior parte alta-Mioceno Medio) esta formada por una alternación de margas, limolitas calcáreas o arcillosas, lutitas y arcillas esmectíticas, arcillas arenáceas que en la parte occidental del área de distribución contienen intercalaciones finas y concreciones de magnesita, la cual puede presentarse también en estratos de 5 m y más; subordinadamente aparecen calizas biodetríticas arcillosas, calizas micríticas, calcilitas poco consolidadas, calcarenitas, areniscas, pseudoconglomerados, conglomerados calcáreos y polimícticos, constituidos estos por serpentinitas, gabros, cuarzo, vulcanitas y granitoides. El espesor de sus sedimentos oscila entre 50 y 200 m.

Fm. Júcaro; (Mioceno Superior-Plioceno Inferior) representada litológicamente por calizas, por lo general arcillosas, que se desagregan en pseudoconglomerados, calcarenitas, margas, limolitas a veces por gravas polimícticas, arcillas yesíferas, localmente aparecen dolomitas. Contiene horizontes fosilíferos. Puede aparecer un conglomerado basal. Yace discordantemente o con local concordancia sobre la Fm. Río Jagüeyes y discordantemente sobre las formaciones Camazán, Gibara, Sabaneta, Vigía, el Gr. Remedios y el olistostroma Rancho Bravo, cubriéndose discordantemente por la Fm. Jaimanitas. Los depósitos no sobrepasan los 42 m de espesor.

Fm. Jaimanitas; (Pleistoceno Superior) está formada por calizas biodetríticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilífera conteniendo principalmente conchas bien preservadas, corales de especies actuales. Las bolsas cársicas se encuentran rellenas por una fina mezcla carbonato-arcillosa ferruginosa de color rojo ladrillo. Pasa a calcarenita masivas o finamente estratificadas y a veces contiene intercalaciones de margas. La cementación es variable, la coloración predominante es blancuzca amarillenta. El espesor de sus sedimentos probablemente excede de los 10 m.

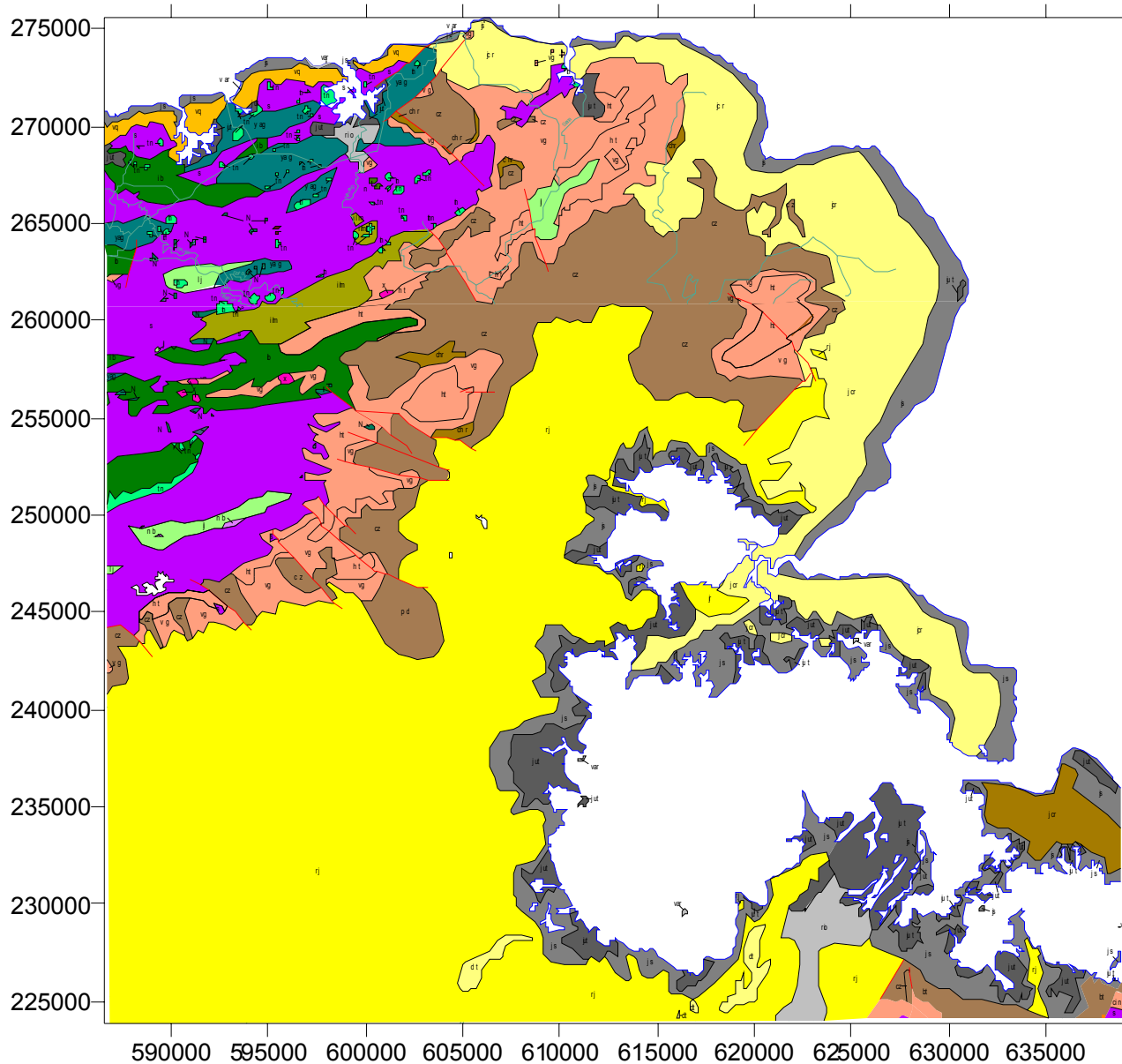


Figura 2 Mapa geológico del área de Banes (modificado del Mapa 1:100 000 del IGP, 2004).

LEYENDA

	Q4js	Formación Jaimanitas: Calizas biotriticas, calcificadas, fosilíferas con conchas bien preservadas.
	N ₁ ³ Jc ₂	Formación Júcaro: Calizas arcillosas, calcarenitas, margas, limolitas, arcillas yesíferas y dolomitas.
	N ₁ ¹ Nr ₁ ²	Formación Río Jagüeyes: Times New Roman [b][i][c][p]18; [i]H1 88; [i]F italic.shx; [i]H2 50; Limolitas, areniscas, graptolitas, margas, calizas, calcarenitas y arcillas.
	N ₁ ¹ Nv ₁ ²	Formación Vázquez: Times New Roman [b][i][c][p]18; [i]H1 88; [i]F italic.shx; [i]H2 50; Alternancia de margas, limolitas, argilitas y arcillas.
	P ₃ Ncz ₁ ¹	Formación Camazón: Calizas biotriticas, calcarenitas, calciruditas, limolitas con intercalaciones de margas y arcillas.
	P ₂ ² chr	[i]C256; Formación Charco Redondo: Calizas compactas organo-detríticas, fosilíferas, de color variable.
	P ₁ ² Pvg	[i]C256; Formación Vigía: Areniscas, limolitas con intercalaciones de tobos rodacitas, tufitas, margas y arcillas.
	P ₁ ² ht	[i]C256; Olistostroma Hatillo (unidad informal): Secuencia olistostromica constituida por brechas y conglomerados polimícticos.
	K ₂ tn	Formación Tinajtás: Calizas biotriticas, biógenas, oolíticas y silicificadas que pueden llegar hasta silicitas y margas.
	K ₂ lj	Formación La Jiquima: Areniscas vulcanocénicas, bien estratificadas con intercalaciones de limolitas y argilitas bien estratificadas, a veces carbonatadas.
	K ₁ ib ₂	Formación Iberia: Lavas, diques diabásicos, toba-aglomerados, lavobrecas, conglomerados, areniscas, calizas y margas.
	Da ct as	
	gabros	
	serpentin tas	

OTROS SIMBOLOS

	Contac to s con corda ntes
	Contac to s discor dant es
	Fa lta s, límtes tectón ico s y co ntac to s intrusivo s (ver Nota)

Figura 3 Leyenda del mapa geológico del territorio del municipio de Banes (tomada del Mapa 1:100 000 del IGP, 2004).

CARACTERIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES MATERIAS PRIMAS EVALUADAS EN EL MUNICIPIO DE BANES COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

Calizas porosas

Las calizas estudiadas son de color blanco, porosas, de mediana densidad, se tomaron muestras de afloramientos y tuneles populares, no se observaba estratificación, las potencias van de 10 a 15 metros en afloramientos y túneles. Las muestras fueron tomadas en la localidad de El Alto de Los Ángeles y pertenece a la FM. Jagüeyes.

Estas rocas en el área los pobladores la utilizan para la elaboración de ladrillos cortados artesanalmente para ser empleados en la fabricación de paredes, cisternas, etc. Estos pobladores utilizaban objetos rústicos de corte para darle la forma requerida.

Estas Calizas por analogía y según los datos que exponremos posteriormente son muy similares a las empleadas y denominadas como calizas blandas en la provincia de Matanzas y conocidas entre la población por tradición en esta zona como "cantos".

A las muestras de estas rocas se les efectuó análisis instrumental de rayos-x, para determinar las fases minerales presentes en ellas, estos resultados arrojaron la existencia de la calcita como fase principal, no pudiendo determinarse la existencia de fases minerales secundarias.

Se realizaron estudios de absorción y resistencia a la compresión para ser comparadas con las calizas blandas típicas de Matanzas.

Tabla I. Resultados de Absorción de las Calizas porosas de Banes.

Muestras	Pseco(g)	Psat(g)	Abs (%)
A	74	92	24.32
B	72	89	23.61
C	76	94	23.6

Variables de la Tabla 1:

P seco: peso de la muestra seca.

Psat: peso de la muestra saturada.

Abs. %: porciento de absorción.

Tabla II. Resultados de la resistencia a la compresión de las Calizas porosas de Banes.

Muestra.	Pmáx.Sec. (Kgf)	Fo(cm ²)	Rc.Sec. (Kgf/cm ²)	Pmáx.Sat. (Kgf/cm ²)	Rc.Sat. (Kgf/cm ²)
A	1460	25	58.4	800	32
B	1500	25	60	1060	42.4
C	1200	25	48	900	36
D	960	25	38.4	680	23.2

Variables de la Tabla 2.

Pmáx.Sec.(Kgf): Carga máxima de la muestra seca en el momento de su destrucción.

Fo(cm²): Área de la muestra en forma de cubo.

Rc.Sec.(Kgf/cm²): Resistencia a la compresión de la muestra seca.

Pmáx.Sat.(Kgf/cm²): Carga máxima de la muestra saturada en el momento de su destrucción.

Rc.Sat.(Kgf/cm²): Resistencia a la compresión de la muestra saturada.

Los bloques grandes con tamaños no menores de 0.1 m³ de piedra natural dependiendo del límite de la resistencia a la compresión se separan por marcas según se muestra en la tabla III.

Tabla III. Marcas de resistencia a la compresión para bloques de Calizas blandas de Matanzas, según Carrazana A. O, 1990.

Nombre de los bloques de piedra natural.	Marca de los bloques por resistencia a la compresión	Límite de resistencia a la compresión en Kg/cm ²	
		No menor de promedio	Mínimo de una muestra
Bloques de Calizas.	25	25	15
	35	35	25
	50	50	35
	75	75	50
	100	100	75
	125	125	100
	150	150	125

Tomando como referencia y a modo comparativo con los valores de resistencia a la compresión de las exigencias principales de evaluación de las Calizas blandas de Matanzas expuestas en las tablas 1 y 2 podemos decir que las Calizas sometidas a nuestro estudio presentan valores de resistencia a la compresión que se encuentran dentro de las marcas 35 a 75, con tendencia a la marca 50.

Según el análisis efectuado estas calizas pueden ser utilizadas como piedra de cantería en calidad de elementos de pared y teniendo en cuenta el análisis de las exigencias a evaluar la proponemos como elementos de pared cuando los valores de resistencia a la compresión se mantienen promediando entre 50 y 60 Kg/cm². Si estos valores se encuentran por debajo de esta marca, entonces sería más factible utilizarla como ladrillo de pared.

Para tomar como referencia las producciones de bloques de cantos que se pueden lograr luego de situar un área perspectiva ponemos como ejemplo los cantos extraídos de las canteras de Matanzas donde pueden ser preparados hasta 10 000 diarios, llegando a promediar 300 000/ mes; lo cual equivale a garantizar como mínimo 2 500 viviendas al año.

Como recomendación adicional se propone el bloque de canto estándar empleado en la mayor parte de las canteras de Matanzas, el cual tiene las siguientes dimensiones: Longitud: 50 cm, Alto: 30 cm, Ancho: 10 cm. Según los cálculos técnico económicos efectuados por la Empresa de Construcción y Mantenimiento a la Vivienda de Matanzas por cada 9 bloques de cantos que se coloquen se ahorra un saco de cemento, lo cual representa un ahorro promedio por vivienda de por lo menos 50 sacos de cemento.

Tobas vitroclásticas.

Las tobas vitroclásticas estudiadas son de color gris claro, porosas, de mediana densidad fueron tomadas de dos afloramientos con potencia promedio de 15 metros visibles y aflorando de forma discontinua a lo largo de más de 130 metros. Las muestras fueron tomadas en el poblado de Flores, perteneciente a la FM. Iberia.

En el área los pobladores la emplean como materias primas para tallar figuras ornamentales (pudiendo observar figuras artesanales en el parque de dicho poblado) y también por comunicación oral de los pobladores estos la han empleado como retenedores de la humedad y aereador de suelos en la agricultura (siendo este uno de los usos reportados en la literatura internacional).

A las muestras de estas rocas se les efectuó análisis instrumental de rayos-x para determinar si existían fases acompañantes al vidrio volcánico, estos resultados arrojaron la presencia de anortoclasa y existencia de minerales arcillosos.

Los estudios de absorción y resistencia a la compresión se realizaron para su posible empleo como arena artificial (áridos ligeros) para ser utilizadas en morteros, pues para el caso de áridos gruesos presentamos dificultades con los ensayos.

Tabla IV. Resultados de la Absorción de las tobas vitroclásticas de Banés

Muestras	Pseco(g)	Psat(g)	Abs (%)
A	105	130	23.8
B	108	130	20.3
C	104	125	20.1

Variables de la Tabla IV:

P seco: peso seco de la muestra.

Psat: peso saturado de la muestra.

Abs. %: porciento de absorción.

Los valores de resistencia a la compresión realizados a cinco muestras arrojaron los resultados siguientes:

Tabla V. Resultados de la resistencia a la compresión de las muestras de tobas vitroclásticas de Banés

Muestras	R.C.sec Kg/cm ²	R.C.sat Kg/cm ²
M-1	103,5	84,6
M-2	135,8	78,6
M-3	132,6	62,6
M-4	116,3	86,1
M-5	118,0	57,2

Para los ensayos realizados a los morteros los análisis de resistencia a la flexión y resistencia a la compresión son mostrados en la tabla 6 y 7. Estos morteros fueron preparados con muestras de arenas, tanto con arena de Tobas vitroclásticas, como con mezclas de arenas de Sagua de Tánamo utilizadas normalmente en la construcción en la región Sagua - Moa. Los morteros realizados con 100% de arena de Tobas vitroclásticas y con sus mezclas, presentaban características diferentes a los realizados con otras arenas. La diferencia en peso fue considerable por su grado de ligereza.

De las muestras de morteros obtenidas dejamos testigos de las de 100% de arena de Toba vitroclástica y de 100% de arena de Sagua de Tánamo para ser comparados sus pesos en el transcurso de los días. A los 15 días del desmoldeado, estas fueron pesadas y la diferencia en peso del mortero preparado con arena de Toba vitroclástica fue significativa. El mortero de Toba

vitroclástica disminuyó su peso un 26% respecto al original preparado con arena de Sagua de Tánamo.

Resultados de la resistencia a la flexión y compresión de los Morteros

Tabla VI. Resultados de la resistencia a la flexión de los morteros.

Muestra	R.c.1 (Kgf)	X1 (Mpa)	R.c.2 (Kgf)	X2 (Mpa)	R.c.3 (Kgf)	X3 (Mpa)	Xm (Mpa)
M1(100% T.V)	80	1.872	60	1.404	85	1.989	1.76
M2 (75%T.V+ 25%AST)	60	1.404	80	1.872	75	1.755	1.68
M3 (50%TV+ 50%AST)	80	1.872	80	1.872	75	1.755	1.83
M4 (100%AST)	110	2.574	100	2.34	104	2.433	2.45
M5 (75%AST+ 25%TV)	60	1.404	80	1.872	74	1.732	1.67

Nota para tablas VI y VII:

T. V: Arena de Toba vitroclástica

AST. Arena de Sagua de Tánamo

Variables de la tabla VI:

R.c.1, R.c.2, R.c.3: Resistencia a la flexión de las probetas 1, 2 y 3 pertenecientes a cada muestra respectivamente, expresadas en Kgf.

X1, X2, X3: Resistencia a la flexión de las probetas 1, 2 y 3 pertenecientes a cada muestra respectivamente, expresadas en Mpa.

Xm: Resistencia a la flexión media de las probetas, expresadas en Mpa.

En la tabla VI se observa como los valores medios de resistencia a la flexión oscilan entre 1.68 y 2.45 Mpa comportándose de una forma estable.

Tabla VII. Resultados de la resistencia a la compresión de los morteros.

Muestra	R.c.1 (Kgf)	X1 (Mpa)	R.c.2 (Kgf)	X2 (Mpa)	R.c.3 (Kgf)	X3 (Mpa)	Xm (Mpa)
M1 (100% TV)	900	5.63	680	4.25	750	4.7	4.85
M2 (75%TV+ 25%AST)	580	3.63	820	5.125	640	4.0	4.25
M3 (50%TV+ 50%AST)	700	4.38	600	3.75	680	4.3	4.13
M4 (100%AST)	1400	9.75	1110	6.94	1250	7.8	7.83
M5(75%AST+25% TV)	620	3.88	600	3.75	680	4.3	3.96

Variables de la tabla VII:

R.c.1, R.c.2, R.c.3: Resistencia a la compresión de las probetas 1,2,3 pertenecientes a cada muestra respectivamente, expresadas en Kgf.

X1, X2, X3: Resistencia a la compresión de las probetas 1,2,3 pertenecientes a cada muestra respectivamente, expresadas en Mpa.

Xm: Resistencia a la compresión media de las probetas, expresadas en Mpa.

En la tabla VII se observa como los valores de resistencia a la compresión oscilan entre 3.96 y 7.83 Mpa lo cual hace posible que puedan ser utilizados para determinar el tipo de mortero al que corresponde la muestra.

Según el análisis comparativo con la Norma Cubana 175:2002 podemos afirmar que nuestros morteros se encuentran según los valores de Xm entre los tipos II, III y IV. De acuerdo a estos tipos de morteros y según la norma antes mencionada, se recomienda que sean utilizados en muros portantes interiores y exteriores sobre el nivel del terreno, y antepecho exterior, de forma alternativa se recomienda que sean utilizados en muro de fundición, muro de contención, pavimentos, caminos y patios.

Además de estos morteros fue posible hacer al menos dos bloques del árido grueso de la Toba vitroclástica obtenido en la trituración de la misma, uno de estos bloques fue preparado con 100% de gravilla (6,35 a 12,7 mm) y arena de la Toba vitroclástica y el otro con un 50% de gravilla y arena de Sagua de Tánamo utilizada en la construcción normalmente y un 50% de gravilla y arena de Toba vitroclástica. Estos bloques se obtuvieron con calidad y podemos decir que la diferencia en peso a los dos días de desmoldados del bloque de 100 % de Tobas Vitroclásticas respecto al otro fue de 1,3 Kg y mucho mayor cuando se compara el peso con uno de 100 % de gravilla y arena de Sagua de Tánamo, que la diferencia fue de 1, 5 Kg. El bloque de 100% de gravilla y arena de Toba vitroclástica en total disminuyó el peso en 2, 8 Kg con respecto al original.

De estos estudios y por el resultado práctico podemos afirmar que se ofrecen buenas perspectivas para ser empleadas las Tobas vitroclásticas en la fabricación de hormigones ligeros; aún cuando reconocemos la necesidad de continuar profundizando en estas investigaciones, pues no se han podido efectuar los ensayos como hormigones.

Esta materia prima, en nuestra opinión, es una de las de mayores perspectivas para contribuir a las soluciones de áridos en la región oriental de Cuba, pues a nivel de país este territorio posee varios yacimientos y manifestaciones con estudios geológicos realizados, aun cuando ninguno fue orientado como materiales de construcción (la mayor parte se valoraron en las últimas dos décadas como material filtrante). Ejemplos:

- Informe de Prospección Detallada y Exploración Orientativa de vidrio volcánico en el yacimiento Jiguaní (municipio Jiguaní, provincia Granma). 1994.
- Informe Prospección Preliminar y Detallada vidrio volcánico Sagua de Tánamo. Prov. Holguín. 1997.
- Informe Prospección Detallada y Exploración de vidrio volcánico Guaramanao. Provincia Holguín. 2002.

Otro aspecto de gran importancia a considerar con esta materia prima es su actividad puzolánica, probada en Cuba para el caso de las tobas (especialmente aquellas zeolitizadas) en los trabajos realizados con los aglomerantes cal- puzolana, llamados en nuestro país por tradición cemento romano, y que por violaciones de normas técnicas han ganado gran cantidad de detractores,

pudiendo haber contribuido mucho mas a soluciones locales fundamentalmente como cementos de albañilería.

Cretas.

Los datos principales de esta materia prima se tomaron del Informe Prospección Detallada Creta Fustete, Banes, provincia Holguín, 1992, efectuado por la Empresa Geólogo Minera de Oriente. Hacemos referencia al mismo ya que aunque no fue estudiado por nosotros, se encuentra en el territorio que es objeto de estudio y constituye una materia prima de suma importancia y con recomendaciones concretas para su uso. Además estas referencias pueden ser de gran importancia para la dirección del Gobierno en el territorio y empresas de la construcción del municipio con vistas a contar con un elemento importante a la hora de trazar sus estrategias de trabajo referentes al tema.

El área de distribución de las cretas se ubica a 6 Km aproximadamente al noreste de la ciudad de Banes y ocupa una superficie aproximada de 1Km².

Para la evaluación de la calidad de la materia prima se tuvieron en cuenta las exigencias siguientes: CaO>45 % , Fe₂O₃< 1.5%, Al₂O₃< 2.00 %, MgO< 1.00 %, SO₃< 1.00 %,

Se determino el peso volumétrico natural: 1.46- 1.56 g/cm³ y el peso específico real: 2.20- 2.80 g/cm³.

Se concluyo que existen dos tipos litológicos químicamente bien diferenciados, un tipo I con contenidos de CaO> 50.5% y un RI<10% y un tipo II con contenidos de CaO<50% y un RI<20%.

En el informe referenciado se plantea que las materias primas cretáceas, tanto las de cretas puras como las diferentes litologías de rocas cretáceas (cretas arcillosas, margas cretáceas) tienen un campo amplio de utilización entre los cuales se proponen los siguientes: Producción de pintura, producción de gomas, producción de polietileno, producción de papel, producción de vidrio, perfumería y cosmético, producción de electrodos, producción de cal, producción de cemento, industria química.

Para todas estas producciones es necesaria la realización de pruebas tecnológicas de laboratorio específicas para cada fin, sin embargo solo se realizaron pruebas de pintura de agua y aceite.

Calizas conchíferas tipo Jaimanitas.

Los datos de las Calizas conchíferas tipo Jaimanitas con que contamos se tomaron del Informe geológico sobre la Búsqueda, Exploración Orientativa y Detallada para roca ornamental para revestimiento en el yacimiento Cabo Lucrecia. Provincia Holguín, 1992, el cual esta ubicado en el municipio de Banes.

El objetivo de estos trabajos fue realizar la Búsqueda hasta la Exploración Detallada de roca ornamental para revestimiento en el yacimiento Cabo Lucrecia.

Los resultados de los análisis químicos arrojan valores correspondientes a una roca altamente carbonatada con bajos contenidos de elementos nocivos. Según resultados emitidos, experiencia y grado de estudio se recomienda la caliza organógena como rocas de revestimiento para la construcción de hoteles y otras obras constructivas. En el caso de la biocalcarenita se recomienda para el caso de bloques y losas de revestimiento siempre y cuando no se expongan a la abrasión.

Las conclusiones principales del informe referido señalan:

1. El grado de estudio obtenido permite la explotación de este yacimiento con un grado de fiabilidad alto.
2. Se da como perspectiva toda la franja costera del cabo, solo que es necesario elegir los sectores con las cotas del relieve más alto.
3. El yacimiento presenta una densidad de agrietamiento muy bajo y una blocosidad muy alta, favorable para la extracción.

Lajas.

Están constituidas por calizas de color blanco a amarillento, poco porosa, compactas. Las reportadas se encuentran a unos 3 Km del poblado de Samá, Banes, formado paquetes en terrazas en lechos de ríos, que se encuentran secos la mayor parte del año, también afloran de forma discontinua en pequeños sectores del territorio, presentando espesores variables.

La ubicación de este sector fue posible por la comunicación directa de pobladores que manifestaron que las mismas han sido utilizadas en diferentes etapas para la construcción de viviendas, pisos rústicos y en obras de ornamentación simple en construcciones del Polo turístico de Guardalavaca.

Como cuestión de gran significación esta el hecho de que los resultados que hemos logrado han sido obtenidos sin la posibilidad de aplicar con todo el rigor necesario la metodología propuesta en este propio trabajo, fundamentalmente al no contar con determinados recursos que harían posible la obtención de resultados de mayor significación ejemplo, mayores posibilidades de transportación, un mínimo de trabajos de laboreos mineros, ampliación del muestreo y los ensayos de laboratorio, etc.

PROPUESTA DE NUEVAS CONCEPCIONES PARA LA VALORACIÓN DE LAS ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES EN NUESTRO PAÍS EN FUNCIÓN DEL DESARROLLO LOCAL SOSTENIBLE.

Basado en la experiencia que hemos obtenido consideramos importante dar un primer aporte a lo que en un futuro debe ser un sistema más acabado e integral para la valoración de los recursos minerales de los territorios en función del desarrollo local sostenible. La intención es demostrar entre otros, los aspectos siguientes:

1. Los municipios, en ocasiones, tienen determinadas producciones basadas en materias primas minerales (ejemplos: ladrillos cerámicos, áridos, etc) por ser las mismas tradicionales, pero no por realizarse un trabajo de valoración integral de sus recursos minerales y orientado según sus condiciones geológicas y necesidades territoriales.
2. Hemos podido constatar que existen informes geológicos oficiales sobre trabajos realizados en determinados municipios por solicitud de organismos nacionales o regionales y donde la valoración económica de estos objetos no ha resultado positiva o no se han continuado las investigaciones, y sin embargo no son conocidos por las autoridades de estos territorios, pudiendo en muchos casos bajo una valoración económica de su consumo local, resultar de un impacto importante para estas comunidades.

Por otra parte y como hemos manifestado anteriormente se contribuiría al ordenamiento de los territorios, pues como resultado de estos estudios el municipio contaría con la distribución geográfica de estos recursos, sus características y usos más probables, lo cual representa una herramienta de insustituible valor para la planificación del espacio físico en estos territorios.

En el caso específico del Municipio Banes presentan mayor relevancia luego de la valoración preliminar de sus recursos minerales las siguientes materias primas.

1. Calizas Porosas
2. Tobas vitroclásticas.
3. Rocas ornamentales tipo "Jaimanitas"
4. Cretas

Las arcillas para la fabricación de ladrillos ceramicos en este municipio se estudiaron discretamente pero han faltado determinados ensayos que se requieren obligatoriamente, por lo cual son necesarios trabajos especiales en esta dirección.

Como se ha explicado en la primera parte del trabajo los recursos no metálicos, específicamente los materiales de construcción tienen características que permiten una valoración más rápida, menos compleja y con menores costos de inversión, especialmente al tratarse de producciones de volúmenes discretos para suplir necesidades de abastecimiento local.

Todo lo anterior nos permite sustentar que en el futuro inmediato se debe trabajar en función de lograr ir completando los elementos que integrarían el sistema para lograr potenciar el conocimiento de los recursos minerales de los territorios en función de su propio desarrollo y no menos importante hacer sostenible el mismo.

Elementos básicos, que consideramos forman parte de este sistema son:

1. Aseguramiento de la base geológica y topográfica del territorio.
2. Gestión de toda la información geológica disponible.
3. Recopilación de información sobre los usos actuales que se dan a los recursos minerales en el territorio. Caracterización de los mismos. Investigación de los usos que se le han dado a los recursos minerales en etapas históricas pasadas.
4. Valoración de experiencias nacionales e internacionales sobre uso de materias primas que no son empleadas en el territorio tradicionalmente, pero sus condiciones geológicas e índices argumentan su presencia.
5. Valoración pronóstico del territorio que permita identificar y discriminar los tipos de Rocas y Minerales Industriales a caracterizar y evaluar.
6. Reconocimiento geológico de detalle de los diferentes tipos de Rocas y Minerales Industriales identificados (compatibilizado con la ONRM).
7. Ensayos y análisis de las muestras, según normativas y exigencias técnicas establecidas.
8. Análisis técnico económico para identificar posibles producciones y estudio de las inversiones necesarias.
9. Recomendaciones sobre las producciones a acometer en el territorio, según los tipos de recursos minerales evaluados.

Como aspectos adicionales pero a nuestro entender imprescindibles que se requieren para fundamentar y lograr la implementación del sistema se propone:

- Lograr una labor de divulgación y capacitación entre las autoridades de los territorios sobre el objetivo y resultado de la aplicación de este sistema (Gobierno, empresas, organizaciones políticas y de masas, etc).
- Gestionar proyectos por todas las vías posibles que permitan lograr el aseguramiento material y financiero requerido (CITMA, PNCT , PTCT, PRCT).
- Lograr que un especialista en geociencias rectoree en cada territorio este sistema y que el mismo posea la capacitación requerida. (Este aspecto fue propuesto en la asamblea de la Sociedad Cubana de Geología celebrada durante la Primera Convención de Ciencias de la Tierra en abril de 2005 y elevado a la dirección del país).
- Implicar a las Sedes Universitarias Municipales como nuevo ente integrador por excelencia en los territorios en cuanto al apoyo y gestión de este sistema.

Como puede apreciarse el resultado de la generalización de este sistema de valoración de los recursos minerales puede traer resultados importantes a las comunidades en varias direcciones fundamentales, entre las mismas tenemos:

1. Incremento de la producción de materiales de construcción para diferentes fines, especialmente viviendas y otras obras sociales.
2. Mejoramiento de suelos en la agricultura y la alimentación animal para impulsar la producción de alimentos (materias primas agronómicas).
3. Creación de nuevas fuentes de empleo en los municipios a partir de las nuevas producciones, la mayor parte artesanales.

Resulta significativo destacar que nuestras concepciones en el sistema propuesto se corresponden con las propuestas realizada por Coutin y Brito, 2005 donde plantean, entre otros aspectos, los siguientes "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.

Y continúan añadiendo estos autores....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.

Entre las gestiones ya desarrolladas para la búsqueda de alternativas de financiamiento mostramos en el Anexo 1 al final del trabajo el perfil de proyecto presentado al CITMA de la provincia de Holguín.

CONCLUSIONES

Se ha podido demostrar, en un primer acercamiento en el ejemplo del Municipio Banes, el éxito de la aplicación del sistema propuesto. Este enfoque se sustenta en el hecho de lograr aplicar esta metodología en función de las características geológicas de los territorios y sus principales necesidades de recursos minerales, lo cual permite obtener resultados que pueden influir de manera importante en el desarrollo sostenible de los mismos.

La aplicación de nuestro sistema, enfocado inicialmente a los materiales de construcción, puede dar un impulso significativo a esta problemática de gran actualidad en nuestro país, para el impulso de los programas de construcción de viviendas y otras obras sociales, pues no solo logra acercar las fuentes de abastecimiento de materias primas a los municipios con el consiguiente ahorro de transportación y combustible, también disminuye los consumos de energía eléctrica, ya que las principales litologías estudiadas y propuestas con prioridad se benefician mecánicamente, mucho más racionalmente que otras tradicionales (ejemplos, áridos ligeros a partir de tobas vítreas, y aserrado manual de los bloques de calizas blandas). De igual manera no es despreciable la creación de nuevas fuentes de empleo a raíz de establecer nuevas producciones.

BIBLIOGRAFÍA:

- Barettino D. 2002. Ordenación minero-ambiental de recursos de rocas industriales. Aplicación a la Reserva Estatal de pizarras de La Cabrera (León). Tesis Doctoral. E.T.S.I. Minas. Universidad Politécnica de Madrid (España).
- Bristow C.M. (1987). Society's changing requirements for primary raw materials. *Industrial Minerals* Pp 59-65.
- Calvo B. et al, 2000. Rocas y Minerales Industriales de Iberoamérica. Instituto Tecnológico Geominero de España, España, 436p.
- Carrazana Á, 1990. Resultado de la Exploración Orientativa y Detallada Caliza blanda Matanzas. ISMM, Moa. Trabajo de Diploma, 59p.
- Coutín D y A. Brito, 2005. Primera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra.
- Días A, 1986. Proyecto para la Exploración dentro de los límites del coto minero del Yacimiento Jaimanitas provincia Habana. ISMM, Moa. Trabajo de Diploma, 59p.
- Gómez D. 1994. Ordenación del Territorio. Una aproximación desde el medio físico. ITGE. Madrid (España).
- Informe geológico Exploración Orientativa y Detallada de roca ornamental para revestimiento en el yacimiento Cabo Lucrecia. Provincia Holguín. 1992.
- Mapa geológico de la República de Cuba a escala 1:100 000. IGP.
- Mapa de Yacimiento y Manifestaciones Minerales no Metálicos y Combustibles de la República de Cuba. Escala 1: 500 000 ,1988.
- Martínez A y otros, 1997. Informe geológico de Prospección Detallada de Cretas Fustete. EGMO.
- Martín G. 2006. Todo sea por la vivienda. Periódico Granma. <http://www.granma.cubaweb.cu/2006/10/24/nacional/artic01.html>
- Morrillas J. 1997. Introducción a la economía mundial: Estructura y desarrollo sostenible. Madrid, ADI. ONU.
- Morteros de Albañilería. Especificaciones. Norma Cubana 175: 2002.
- Orche E. 2003 Desarrollo sostenible y ordenación del territorio.
- Villas Boas R. C. 1995. Technological Challenges faced by the MM sector in achieving sustainable development. Centro de tecnología Mineral. CNPq. Río de Janeiro, Brasil.

Anexo 1. Perfil de proyecto presentado al CITMA de la provincia Holguín.

PERFIL DE PROYECTO CITMA

1. Título del programa: PTCT 02: LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA COMO HERRAMIENTA DE LA COMPETITIVIDAD.

(Linea priorizada: Desarrollo de tecnologías para la construcción y la producción de materiales de construcción).

2. Título del proyecto: Evaluación de los recursos minerales del municipio de Banes para la producción de materiales de construcción.

3. Clasificación del proyecto: Investigación Aplicada o de Desarrollo.

4. Nombre y dirección de la institución ejecutora principal del proyecto, organismo al que pertenece, dirección, fax, teléfono, correo –e:

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Las Coloradas. S/N. Moa. Holguín. Ministerio de Educación Superior (MES). Fax. 53-24-6-2290. Telef. 6 7876.

5. Nombres y apellidos, grado y categoría científica e institución del jefe del proyecto:

Carlos A. Leyva Rodríguez. Doctor en Ciencias Geológicas. Profesor Auxiliar. ISMMM. cleyva@ismm.edu.cu.

6. Otras instituciones participantes, organismos a los que pertenecen, dirección, fax, teléfono, correo –e:

Gobierno Municipal de Banes
Dirección Municipal de la Vivienda.
Sede Universitaria Municipal

7. Posibles clientes y beneficiarios identificados:

Beneficiarios

Gobierno Municipal de Banes
Obras sociales de los programas de la Revolución.
Familias con problemas de viviendas y necesidades de mantenimiento a las mismas.

Clientes

Dirección Municipal de la Vivienda de Banes
Empresa Constructora del Poder Popular
Empresa de Microbrigadas sociales y servio a la vivienda (MICROSEVI) de Banes

8. Duración:

18 meses. Comenzando un mes después de aprobado.

9- Presupuesto Total (MN y MLC):

48 000 pesos (MN). Elementos Principales: itinerarios de campo, ensayos de laboratorio, movilidad, materiales, excavaciones de laboreo y perforación.

10- Resumen del proyecto:

En el municipio de Banes dada su constitución geológica existe una amplia gama de recursos minerales que pueden ser evaluados para su empleo como materiales de construcción y de esta manera lograr dar un impulso importante al desarrollo sostenible de este municipio con criterios de integralidad y racionalidad durante la explotación de los mismos.

Se destaca el hecho de la necesidad de incrementar el conocimiento sobre estos recursos y en otros casos integrar y sistematizar la información existente, la cual esta dispersa en diferentes instituciones y organismos.

Entre los principales recursos que se pretenden evaluar están:

Calizas blandas: Se evaluarán para la fabricación artesanal de bloques naturales aserrados, llamados cantos en la provincia de Matanzas donde extraen hasta 3 millones anuales de estos bloques y equivalen a 3 000 viviendas. El ahorro reportado en esta experiencia es como mínimo 50 sacos de cemento por vivienda promedio.

Arcillas cerámicas: Se evaluarán para la fabricación de ladrillos, determinándose las más idóneas para estos procesos y la preparación de las mezclas correspondientes.

Lajas: Se evaluarán para su empleo como elemento de ornamentación, en la construcción de pisos para diferentes obras sociales, plazas, parques, enchape de paredes, etc.

Calizas organogenas (roca ornamental tipo Jaimanita): Se evaluarán para enchape de ornamentación, existiendo experiencias en otros yacimientos del país.

Tobas vitreas: Se evaluarán como fuente de arena artificial, hormigones ligeros y extensor del cemento.

Objetivo del proyecto:

Evaluar las materias primas minerales del municipio de Banes para la producción de materiales de construcción, y su aplicación en la fabricación de viviendas y otras obras sociales.

Impacto esperado:

Impacto científico: Delimitación de las áreas más favorables para la explotación de los recursos minerales, lo cual tiene además utilidad en los planes futuros de ordenación del territorio. Evaluación de las propiedades físico mecánicas de las materias primas y valoración técnico económica de sus aplicaciones.

Impacto tecnológico: Empleo de nuevos materiales de la construcción en el municipio de Banes, diversificación del uso de los mismos y el establecimiento del proceso tecnológico de tratamiento.

Impacto económico: El uso de las diferentes materias primas minerales para la fabricación de materiales de construcción, permitiría ahorrar un volumen importante de cemento y áridos necesarios para la construcción, así como se lograría de manera artesanal o semiartesanal ejecutar estas labores, con un mínimo de gastos energéticos.

Impacto social: Creación de nuevas fuentes de trabajo e incremento sustancial de la construcción de nuevas viviendas y otras obras sociales con indicadores económicos de racionalidad y sustentabilidad.

Vínculo con los objetivos del programa: Se vincula al objetivo de elaborar, implementar y evaluar tecnologías que permitan una mayor eficiencia, la diversificación y calidad de los productos y servicios con un mayor valor agregado aplicado a los materiales de construcción.

Resultados previstos: Resultados más relevantes que se espera obtener, que contribuyen a lograr el objetivo específico del proyecto.

Localizar, caracterizar y delimitar las zonas con mayores reservas y mejores índices de calidad de las materias primas evaluadas.

Evaluar las propiedades físico mecánicas de las materias primas evaluadas: Calizas blandas, Lajas, Arcillas, Tobas vitreas y Rocas ornamentales con la finalidad de ser empleadas como materiales de construcción.

Establecer la tecnología de obtención de los productos para ser empleados como materiales de construcción (bloques naturales, ladrillos cerámicos, arena artificial, enchape para ornamento).

En base a los resultados obtenidos se aplicara la metodogía de trabajo y los resultados al resto de los municipios de la provincia.

Tareas principales: Búsqueda de información sobre las característica y propiedades de estos materiales, normas de materiales de construcción, sus propiedades y exigencias que deben cumplir. Reconocimiento y caracterización geológico minera de las zonas de propagación de las materias primas de mayores perspectivas. Selección de las zonas más favorables. Prospección y cálculo de reservas. Ensayos tecnológicos.

Palabras claves: Municipio Banes, Recursos minerales, Materiales de Construcción, Propiedades físico- mecánicas, Viviendas, Obras sociales.

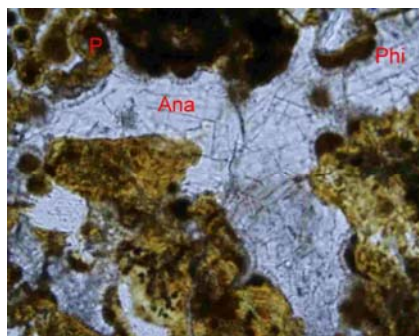
SOBRE LA PRESENCIA DE PHILLIPSITA Y ANALCIMA EN TOBAS DE LA REGION DE FARALLONES, MOA

Gerardo A. Orozco Melgar (1)

(1)Departamento de Geología, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

RESUMEN

La zona de Caimanes-Farallones es conocida por la presencia de zeolitas naturales donde predomina la clinoptilolita producto de la alteración del vidrio volcánico en tobas de color verde (Orozco, 1996), subordinadamente hay también mordenita. En el presente trabajo se reporta por primera vez la presencia de los minerales del grupo de las zeolitas phillipsita y analcima las que se encuentran relacionadas con tobas de color carmelita que yacen interestratificadas con las tobas verdes. Las tobas carmelitas que contienen analcima y phillipsita afloran principalmente en la comunidad de Farallones distante unos 30 km de la ciudad de Moa y en ellas además hay montmorillonita. Ellas constituyen presumiblemente un miembro de composición mas básica que las tobas verdes zeolitizadas ricas en clinoptilolita por lo que se propone por primera vez la bimodalidad de las tobas que forman parte de la Formación Sabaneta en este territorio, cuestión hasta ahora poco estudiada. La presencia de la analcima en la formación Sabaneta sólo ha sido reportada hasta el momento en la localidad del mismo nombre al sur de Sagua de Tánamo (Orozco, 1987). Para la determinación de las zeolitas que se reportan en este trabajo se emplearon como métodos de investigación la difracción de rayos X y la microscopía en luz polarizada con cámara digital acoplada. Estos resultados amplían la posibilidad de utilización de las tobas en la región Caimanes-Farallones.



Espacio de poro relleno por analcima (Ana). En todo el borde del contacto de la analcima con el vidrio volcánico aparece la phillipsita (Phi) de aspecto fibroso. El vidrio volcánico de color amarillo a pardo está palagonitizado (P). Nícoles paralelos, 10X.

ABSTRACT

The region of Caimanes-Farallones, Moa, eastern Cuba, is known for the presence of natural zeolites. Here clinoptilolite is dominant in green tuffs included in the Sabaneta Formation (Early Tertiary) and is interpreted as an alteration product of volcanic glass (Orozco, 1996). Subordinately, some mordenite is also present. In this contribution, the occurrence of the zeolite-group minerals phillipsite and analcite is reported for the first time from this region, based on zeolite analyses by X-ray diffraction, SEM and polarized-light microscopy with a top-set digital camera.

Phillipsite and analcite occur within brown tuffs interbedded within the green tuffs. These brown tuffs mainly crop out in the community of Farallones, approximately 30 km SW of the city of Moa. Apart from phillipsite and analcite, the brown tuffs also contain montmorillonite. In contrast to the zeolitized clinoptilolite-rich green tuffs, the brown ones are presumed to be compositionally more basic. This would point to a compositional bimodality of the two tuffs and will be a matter of further studies. Until today, the presence of analcite in the Sabaneta Formation has only been reported from outcrops in the town of Sabaneta, south of Sagua de Tánamo (Orozco, 1987).

Based on these studies, the possibility of mining and practical use of the zeolitic tuffs in the Caimanes-Farallones region can be envisaged.

INTRODUCCIÓN

En el año 1987 el autor de este trabajo en su tesis doctoral reportó la presencia de analcima en una muestra de toba de la zona Sabaneta, al sur de Sagua de Tánamo. Este reporte hasta el momento no ha sido publicado. La muestra en cuestión se tomó en el camino a la Zarza, aproximadamente a un km del poblado de Palmarito, en la carretera de Sagua de Tánamo a Guantánamo. En este sector afloran tobas gruesas a lapillíticas que tienen un color carmelita a pardo. El análisis con microscopía de polarización indica que la muestra señalada como C8A es una toba lapillítica la que posee vacuolas rellenas de analcima. El análisis de difracción de rayos X realizado a esa muestra indicó la presencia de analcima y además calcita y montmorillonita. El análisis químico expuesto en la Tabla 1 corresponde a una roca de composición básica pero con un contenido elevado de Na_2O . No se pudo establecer para esa zona el área de distribución de las tobas de composición mas básica que la composición promedio de la Formación Sabaneta en esa zona.

Tabla 1. Composición química de la muestra C8A de Sabaneta, Guantánamo

SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	P_2O_5	MnO	S	FeO	PPI
42,47	16,46	0,73	5,33	7,13	8,94	3,15	0,89	0,15	0,16	< 0,1	-	12,75

En la zona de Caimanes, municipio de Moa, ubicada al noreste de Sagua de Tánamo, se ha establecido que las tobas de la Formación Sabaneta en esa localidad están zeolitizadas y el vidrio volcánico está alterado principalmente a clinoptilolita (Orozco 1996). Un poco mas al sureste de la zona de Caimanes radica el poblado de Farallones donde se ha reportado la presencia de tobas carmelitas que al parecer yacen concordantemente sobre las tobas verdes zeolitizadas que afloran en dicha región. Hasta el momento no se había hecho un estudio detallado de estas tobas carmelitas para revelar su composición mineralógica ni sus relaciones con las tobas verdes zeolitizadas, lo que se expone en el presente trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la figura 1 se muestra el mapa geológico esquemático a escala 1:25 000 (Sánchez, 2005) elaborado por los estudiantes del tercer año de la Facultad de Geología y Minería durante sus practicas de campo en la región de Farallones.

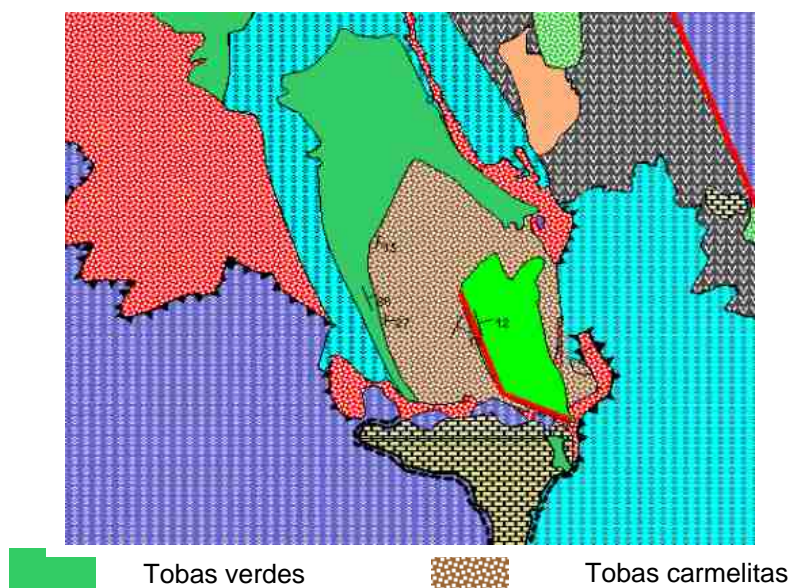


Figura 1. Mapa geológico esquemático de Farallones según Sánchez (2005), modificado por el autor. Las tobas carmelitas fueron reportadas por los autores del mapa geológico como areniscas pertenecientes a la Formación Gran Tierra, cuestión esta que se refuta con los datos que se aportan en este trabajo. Estas tobas están expuestas en la parte central del área de Farallones y se estudiaron con detalle en el punto de afloramiento con las siguientes coordenadas: X= 690 600 e Y= 207 630, foto 1.



Foto 1. Afloramiento de tobas carmelitas, punto de coordenadas X= 690 600 e Y= 207 630.

Las tobas en este afloramiento presentan una estratificación gradacional. En la base del corte que aquí aflora, sobre un horizonte de tobas cineríticas aparece un estrato con material muy grueso cuyos clastos llegan hasta 7 cm de longitud, entre los clastos hay serpentinitas, gabros y calizas.

Gradualmente transicionan a tobas gruesas y de ahí a tobas de granulometría fina. Las rocas presentan una meteorización esferoidal típica, foto 2.



Foto 2. Meteorización esferoidal en tobas carmelitas.

Se realizaron dos secciones delgadas, una de una toba gruesa y otra de una toba de grano fino, en el laboratorio de preparación de muestras de la Facultad de Geología de la Universidad de Clausthal, Alemania. Para el estudio de las dos muestras se empleó un microscopio petrográfico Olympus BX60 con cámara digital Olympus DP10 de fabricación japonesa. Para el tratamiento de las imágenes se empleó el software Olympus C-W95. Adicionalmente estas muestras fueron pulverizadas para ser analizadas por difracción de rayos X en el laboratorio del ISMM Moa, empleando un difractómetro HZG-4 de fabricación alemana y el software Analyze para el procesamiento de la data, de la firma Seifert, GmbH, de la República Federal Alemana.

RESULTADOS

Las tobas analizadas microscópicamente están compuestas por una matriz vítrea con un color propio que varía desde el amarillo hasta el pardo la cual está en parte palagonitizada y en parte sustituida por minerales del grupo de las zeolitas y/o montmorillonita. La palagonita se observa bien por su textura en forma de esferulitas circulares que pueden estar rellenas por un material fibroso que al cruzar los nicols muestra una birrefringencia media y también pueden estar rellenas por zeolitas, foto 3.

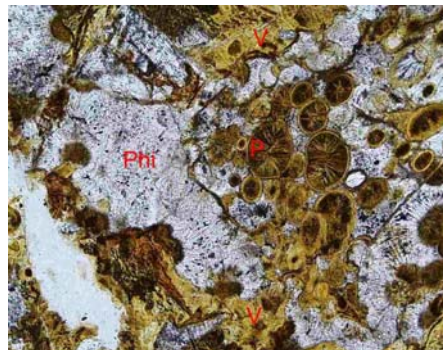


Foto 3. Vidrio volcánico de color amarillo (V) el cual está en parte palagonitizado (P). El espacio de poro está relleno por phillipsita (Phi). Nicols paralelos, 10X.

En los espacios de poro ha crecido un material de color gris que tiene un aspecto fibroso y al cruzar los nicoles presenta una baja birrefringencia por lo que puede corresponderse con el mineral phillipsita, este material rodea a menudo a las esferulitas de la palagonita. Se observan también algunos fenocristales de plagioclasas que a veces muestran zonación, estos cristales parecen haberse transformado a analcima, quedando a veces algunos relictos del cristal original. La analcima se presenta como cristales pseudocúbicos de color gris que parecen sustituir a las plagioclasas y también rellenar espacios de poro, foto 4.

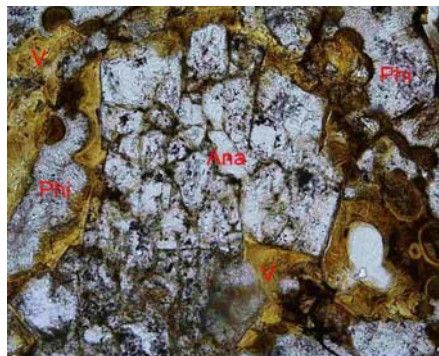


Foto 4. Cristales pseudocúbicos de analcima (Ana) formados a partir del vidrio volcánico (V), se observa también la phillipsita (Phi) con aspecto fibroso. Nicoles paralelos, 10X.

La toba gruesa tiene la misma composición que la fina pero en ella además se pueden apreciar fragmentos de rocas y lapillis, fotos 5 y 6.

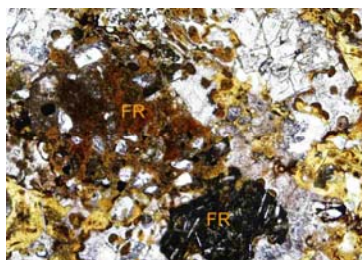


Foto 5. Fragmentos de rocas en la toba de grano grueso (FR). Los espacios de poro están rellenos por zeolitas. Se observa el vidrio volcánico no alterado de color amarillo. Nicoles paralelos, 4X.

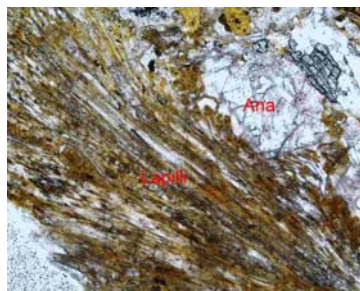
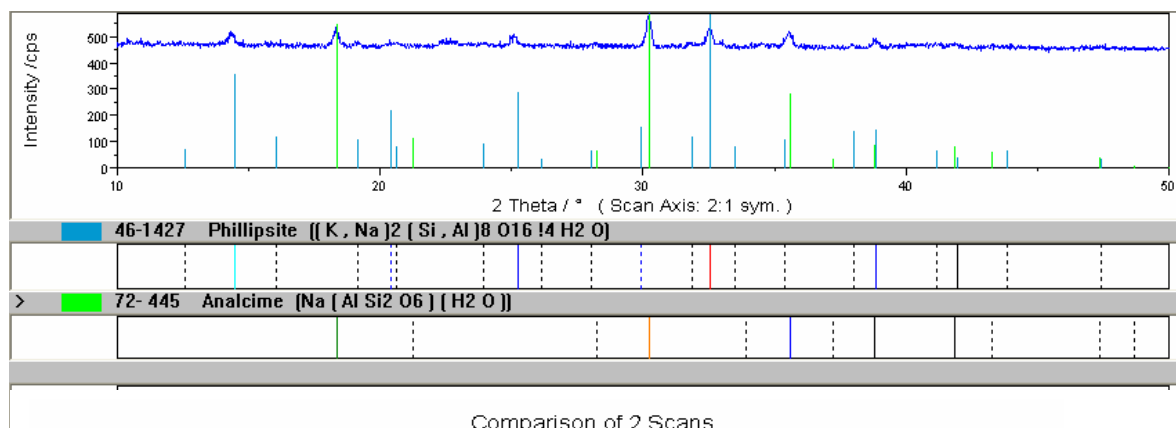


Foto 6. Lapilli alargado donde el vidrio volcánico está en parte alterado. A la derecha se observan cristales pseudocúbicos de analcima (Ana) y un fragmento de piroxeno. Nicoles paralelos, 4X.

Para comprobar los resultados de las descripciones petrográficas se realizaron análisis por difracción de rayos X de las tobas. El resultado del análisis efectuado a la toba fina se expone en la figura 2, empleando el software Analyze. Se comprueba la existencia de analcima y phillipsita.



de toba
ograma.

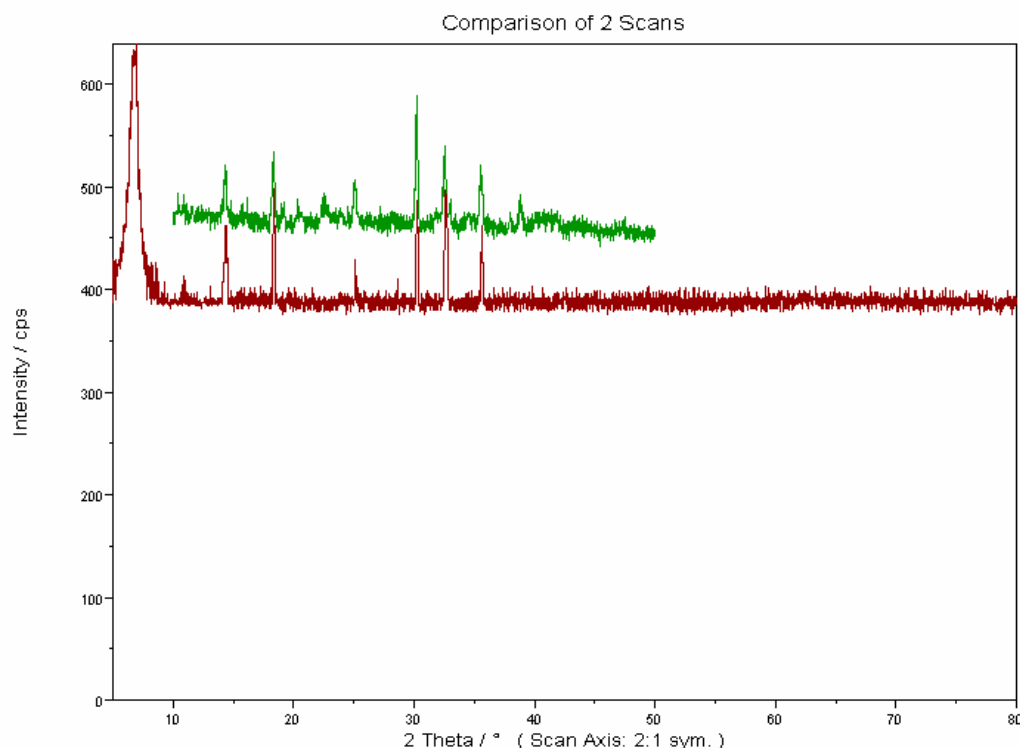


Figura 3. Análisis comparativo entre la toba de grano grueso (diagrama en verde) y la toba de grano fino (diagrama en marrón). En esta última además de la phillipsita y la analcima hay un pico en la parte inicial del registro que se relaciona con la montmorillonita.

CONCLUSIONES

- 1) Se demostró que las muestras de rocas tomadas en la región de Farallones correspondientes al punto de afloramiento con las siguientes coordenadas: X= 690 600 e Y= 207 630, son tobas compuestas principalmente por vidrio volcánico de color amarillo el cual se encuentra en parte palagonitizado y en parte zeolitizado.
- 2) Los minerales del grupo de las zeolitas establecidos tanto por vía óptica como por difracción de rayos X son la analcima y la phillipsita, los que se reportan por primera vez en esta zona.

- 3) Además de zeolitas, como producto de la alteración del vidrio volcánico puede aparecer la montmorillonita.
- 4) Las tobas carmelitas podrían constituir un miembro diferenciable tanto por su composición mineralógica como por su distribución en la zona de Farallones de Moa en comparación con otras áreas de distribución de las tobas verdes, muy abundantes en la región.

RECOMENDACIONES

- 1) Se debe hacer un estudio de la composición química de las tobas carmelitas.
- 2) Se deben analizar por difracción de rayos X y con el microscopio de polarización un mayor número de muestras para comprobar en otros puntos de la zona Farallones de Moa, donde afloran las tobas carmelitas, la existencia o no de los minerales de las zeolitas aquí reportados por primera vez.
- 3) Se deben caracterizar con otros métodos estas tobas zeolitizadas para establecer su capacidad de intercambio catiónico y las posibilidades de empleo.

BIBLIOGRAFÍA

- Gottardi, G., E. Galli., 1985. Natural Zeolites. Alemania: Springer-Verlag Berlín Heidelberg, 409 pp.
- Orozco, G., 1987. Mineralogisch-geochemische Charakterisierung, umbildungsprozesse und Anwendungsmöglichkeiten der umgewandelten Pyroklastite im Süden der Sierra Cristal, Cuba. Tesis doctoral. Academia de Minas de Freiberg, 126 pp.
- Orozco, G., 1996. Caracterización geólogo mineralógica del yacimiento de tobas zeolitizadas Caimanes, Moa, Holguín. Revista Minería y Geología, Vol 13 número 3, pp 45. Cuba.
- Orozco, G., R. Rizo, 1998. Depósitos de zeolitas naturales de Cuba. Acta Geológica Hispánica, v.33, n° 1-4, p. 335-349.
- Sánchez, Y., 2005. Constitución geológica del área de Farallones sobre la base de la cartografía geológica a escala 1:25 000. 1ra Convención cubana de Ciencias de la Tierra, La Habana, Cuba.

LAS TOBAS POTÁSICAS DE LA REGIÓN HABANA - MATANZAS. CARACTERÍSTICAS Y PERSPECTIVAS DE USO

Esther María González Rodríguez, Virginia González Acosta, Rolando Batista González y Miguel García Saborit

Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca No 1002 y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón. CP 11000. Ciudad de la Habana. Cuba. email. esther@igp.minbas.cu

RESUMEN

Asociados a la Formación Chirino, del Arco Volcánico del Cretácico, existen depósitos de tobas, con notables contenidos de potasio ($K_2O > 1,32\%$) y de cationes de Potasio intercambiables.

Este hecho responde a ciertas particularidades geológicas, tanto de su formación como de su posterior emplazamiento tectónico con las secuencias serpentinito – ultrabásicas del cinturón ofiolítico, donde se localiza una zona de alteración hidrotermal, que afecta a ambos complejos rocosos.

Estos complejos rocosos están muy agrietados y fracturados, provocando un predominio de la infiltración sobre el escurrimiento superficial, lo cual favorece que las aguas pluviales provenientes del macizo ofiolítico y de la zona de alteración hidrotermal se infiltren en las tobas, llevando consigo sales muy solubles, como pueden ser $NaCl$, $MgSO_4$, KCl y $CaSO_4$.

Es característico además, la presencia de aguas minero medicinales dentro de las rocas ultrabásicas o en las zonas de alteración hidrotermal.

Las tobas presentan una composición principalmente vítrea con una mineralización zeolítica o sólido poroso (vidrio y montmorillonita), en ocasiones aparece feldespato potásico tipo sanidina o hidromica.

Estas tobas se destacan fácilmente por radiometría, presentando valores en el canal integral de potasio, mayores de 5 Mr/h, de hecho las áreas donde se enmarcan estos depósitos se encuentran dentro de los valores medios de las anomalías aerogamma espectrométrica (concentraciones de $k > 0,5 - 1\%$), llegando en varias zonas a los máximos valores (concentraciones de $k > 1\%$).

Teniendo en cuenta su composición química, se tomaron muestras representativas las cuales fueron ensayadas como fuentes de potasio en fertilizantes naturales, obteniéndose resultados positivos.

ABSTRACT

Related to Chirino Formation, belonging to the Cretaceous Volcanic Island Arch, there are deposits of tuff bearing outstanding values of potassium ($K_2O > 1, 32\%$) and interchangeable Potassium cations.

This fact responds to certain geologic particularities, either about its deposition or its later tectonic thrusting with the ultrabasic-serpentinitic sequences from the ophiolitic belt, where a hydrothermal alteration zone is located, affecting both rocky complexes.

These rocky complexes are highly fissured and fractured, causing the prevalence of the infiltration over the superficial drain, which favors the infiltration in the tuff of the pluvial waters coming from the ophiolitic terrain and the hydrothermal alteration zone, carrying very soluble salts, such as $NaCl$, $MgSO_4$, KCl and $CaSO_4$.

Another feature is the presence of mineral-medicinal waters both in ultrabasic rocks and hydrothermal alteration zone.

The tuffs are mainly vitreous with zeolitic mineralization or vitreous and montmorillonite ("sólido poroso"), sometimes there are potassic feldspar classified as sanidines or hydromica

These tuffs are easily recognized by radiometric methods, with values in the integral channel of potassium, above 5 Mr/h, in fact those areas with these deposits are located inside the medium rank aerogamma spectrometric anomalies (concentrations of $k > 0,5 - 1\%$), reaching top values in several areas (concentrations of $k > 1\%$).

Representative sampling were carried out, according to their chemical composition, which were assayed as sources of potassium in natural fertilizers, giving good results.

INTRODUCCIÓN

En la región existen varios depósitos de tobas asociados a las Formaciones Chirino y La Trampa, del Arco Volcánico del Cretácico, pero no todos presentan la misma composición química, diferenciándose algunas áreas por su mayor contenido de potasio.

Esta particularidad en su composición química conllevó a que estas rocas fuesen consideradas como posible fuentes de potasio en fertilizantes constituidos por formulaciones con minerales enmendantes del suelo, lo cual fue corroborado a pequeña escala por un grupo de tecnólogos y especialista de la rama agrícola.

Ejemplo de estos depósitos se encuentran en las inmediaciones de Madruga, provincia La Habana y en una franja que se extiende desde el CAI Fructuoso Rodríguez hasta el NW de Jovellanos, incluyendo San Miguel de los Baños, en la provincia de Matanzas. Ver anexos gráficos No 4y 5.

El hecho de presentar estos contenidos de potasio, responde a condiciones particulares geológicas, geomorfológicas, hidrográfica, geofísicas, mineralógica, y petrográficas, definidas a partir de trabajos de campo y de laboratorio.

Tanto la composición química, como el resto de los parámetros que caracterizan estas tobas serán mostradas como resultado de los trabajos realizados.

MATERIALES Y MÉTODOS.

- Informe de la prueba de uso realizada con una muestra de la región San Miguel de los Baños, para su empleo como fuente de potasio en fertilizantes NPK de liberación lenta.
- Levantamiento aerogamma espectrométrico a escala 1; 100 000, mapas geológicos escala 1,100 000, mapas topográficos a escala 1; 25 000, radiómetro SRP-068-01 y los Informes de trabajos anteriores realizados en las áreas.

Del levantamiento espectrométrico se tomaron las anomalías de k y de los mapas geológicos las áreas que ocupaban la formación Chirino, seleccionando las áreas con valores máximos (concentraciones de k >1 %). e intermedios (concentraciones de k >0,5 – 1 %),

De los informes se seleccionó toda la información geológica, geofísica y los resultados de laboratorio.

Con toda esta información, se realizaron itinerarios geológicos por los caminos, muestreando todos los afloramientos de tobas encontrados y comprobando, mediante la radiometría, los valores de las anomalías de potasio.

RESULTADOS

Con la interpretación de los resultados obtenidos, se definieron las particularidades geomorfológicas, geológicas y geofísicas de estas tobas, que se distinguen del resto de los depósitos conformados con similares litologías, por los notables contenidos de potasio,

Relieve. Dentro de las regiones de estudio, las rocas de interés afloran en las partes más bajas del terreno, presentando un relieve ondulado hasta suavemente colinoso. Ver anexos gráficos No 2 y 3.

Características geológicas. Se caracterizan por la presencia de secuencias serpentinitico – ultrabásicas y clástico – vulcanógenas, siendo de mayor interés la Formación Chirino del Cretácico Inferior Albiano- Cenomaniano. (Ver anexos graficos No 4 y 6)

El contacto de estas secuencias con las ofiolitas y las rocas sedimentarias del Paleógeno – Neógeno que las rodean es de carácter tectónico.

Asociadas a las zonas de trituración producidas durante el sobrecorrimento de las rocas del margen continental por las rocas del complejo ultramáfico y posteriormente de las rocas de la cobertura molásico flyschoides sobre las ya existentes, encontramos zonas de alteración metasomática e hidrotermal representadas por las listvanitas.

Las listvanitas se encuentran en toda la zona de contacto entre las rocas ultrabásicas y las rocas vulcanógeno sedimentarias, afectando ambos complejos rocosos.

En el caso del área de Madruga, estas mismas alteraciones han afectado tanto las andesitas como las dacitas, convirtiéndolas en rocas secundarias, por lo que ocasiones se confunden fácilmente con verdaderas cuarcitas secundarias. (Ver anexo gráfico No 5)

Tectónica. Como rasgos de la tectónica actual que se aprecia en la zona, se observan varias fallas en todo el territorio con una dirección predominante de N – NW a S – SE, las cuales afectan y desplazan los complejos rocosos que la constituyen, observándose una incidencia considerable en los depósitos de la formación de interés, es decir la Fm Chirino. (Ver anexos gráficos No 4 y 6).

Características hidrogeológicas. Dentro de las rocas vulcanógeno – sedimentarias, la red fluvial se ajuste al sistema de fracturas, existiendo un predominio de la infiltración sobre el escurrimiento superficial.

Las aguas que tienen mayor incidencia en las formaciones vulcanógenas sedimentarias, tienen su origen a partir de la infiltración de las aguas pluviales sobre el macizo ofiolítico donde se filtran y circulan hacia el cuerpo de listvanitas, así como directamente sobre las listvanitas. (Ver anexos gráficos No 4 y 6)

Estas corrientes de aguas, transportan sales muy solubles, como pueden ser NaCl, MgSO₄, KCl y CaSO₄, los cuales son depositados en el material tobáceos que por presentar minerales porosos sirven de reservorios a los mismos, de igual forma, la capacidad de intercambiar cationes de algunos minerales sin cambiar su estructura, puede favorecer la retención de cationes tales como Ca, Na, Mg y K en estas tobas.

En las zonas de alteración hidrotermal, de indudable conexión con la presencia de valores elevados de potasio, se localizan yacimientos de aguas minerales y minero medicinales.

Características Geofísicas. Las áreas donde se enmarca las rocas de la formación Chirino, se encuentra, en su totalidad, dentro de los valores intermedios de las anomalías aerogamma espectrométrica (concentraciones de k >0,5 – 1 %), llegando en varias zonas a los máximos valores (concentraciones de k >1 %). (Ver Anexos gráficos No 5 y 7)

Estas anomalías de potasio fueron comprobadas con la radiometría pedestre, donde se obtuvieron valores de hasta 12 Mr/h, observándose una correlación directa entre los mayores valores con las

tobas más vítreas o con mayores contenidos de minerales zeolíticos y montmorillonita, así como en los lugares donde hay presencia de minerales de potasio o hidromicáceos, entre otros.

Composición mineralógica. Se observa un predominio de las tobas constituidas por elevados por cientos de fracción vítrea, en la mayoría de los casos, alterado a zeolita o montmorillonita principalmente.

Se detectaron además algunos minerales con incidencia en las particularidades química de estas tobas, ellos son; el feldespato tipo sanidina, la hidromica como producto de la alteración de las formas fibrosas del vidrio, litoclastos con textura traquítica y biotita. (Ver tabla No 1).

Tabla No 1- Muestras representativas con su composición química, mineralógica y los valores de radiometría.

Área	Nº mtra	Tipo de muestra	Nombre por petrografía	vidrio %	Cristales %	Litoclastos %	Radiometría Mr/h	K2O %	K meq/100g
San Miguel de los Baños	71-76	Surco/trinchera	Toba vitrocristaloclástica,				10-12	10,4-12.9	
	S-01	Afloram.	Toba zeolitizada, presencia de sanidina.				6-10	13,32	1.07
	S-14	Afloram.	Toba vitrocristaloclástica, raros cristales de biotita, Litos de roca volcánica efusiva microlítica-orientada (traquítica), zeolita, montmorillonita.	60	15-20,	3-5	5.5 - 7.0	1,99	7.65
	S-17	Afloram.	Toba de ceniza fina vitrocristalolitoclástica, con zeolita y montmorillonita.	45-50	25	10	6.0 - 6.5	1,96	1.46
	SF-11	.Afloram.	Toba vitrocristaloclástica, presencia de hidromica y zeolita.	70	7-10	3-5	7.0	4,05	2.13
	SF-10	Afloram	Arenisca tobácea o toba de ceniza fina				5.5	2,32	10.54
	SF- 9	Afloram.	Toba de ceniza fina vitrocristalina, con clorita, zeolita, montmorillonita.	70-75	10		5.0 - 5.6	1,32	9.07
	S-18	Afloram.	Toba de cenizas gruesa cristalovitrolitoclástica.				6.5	2,74	0.57
	S-04.	Afloram	Toba de ceniza fina vitrocristaloclástica, presencia de biotita, zeolita, montmorillonita.	70-75	10-15		6.5-7.0	1,55	0.5
Madrugá	M.29	Afloram	Toba vitrocristaloclástica con zeolita y arcilla.	80	5-7		6.0-7	2,56	1.87

De lo reflejado en la tabla se puede decir que, en el sector San Miguel de los Baños, existen valores notables de intercambio catiónico de potasio, hecho que influye en el uso de esta materia prima como fuente de potasio en fertilizantes. Además, se presentan los mayores valores de K2O, coincidiendo en

las muestras de mayor contenido con la presencia del feldespató potásico tipo sanidina, o con la hidromica.

Se debe señalar además que, de forma general, no existe una relación directamente proporcional entre el contenido de K_2O y el K^+ intercambiable, lo cual se demuestra en las muestras, la S-01, 71-76 y SF-11.

En particular, con respecto a los contenidos de potasio intercambiable, se observa una relación directa con el por ciento de vidrio volcánico, coincidiendo los valores más altos con las variedades más vítreas.

Teniendo en cuenta los resultados de los análisis químicos y petrográficos, se seleccionaron muestras representativas que fueron sometidas a pruebas para la obtención de un fertilizante organo mineral donde estas tobas aportarían el potasio.

Las muestras seleccionadas fueron las S-09, S-10, S-14 y M-29, del estudio realizado con anterioridad se utilizó la materia prima caracterizada por las muestras S-01 y 71-76. (ver anexos gráficos No 5 y 7).

En todos los casos resultó positivo con todos los tratamientos empleados, aunque hubo algunos tratamientos con los que se obtuvo una mayor solubilización del potasio, así como que, de todas las muestras, la que mejor respuesta agronómica se obtuvo de la M-29.

CONCLUSIONES

Analizando las características geológicas, geofísicas e hidrogeológicas, expuestas en los diferentes mapas y la composición química y petrográfica de las muestras, conjuntamente con los resultados obtenidos en las pruebas de uso como fertilizante organo mineral de liberación controlada, se puede decir que;

1. Se define un patrón para la búsqueda de estos depósitos basado en las siguientes particularidades.
2. De las 5 muestras utilizadas en las pruebas de uso, las muestras 71-76, S-01 y M-29, las cuales tenían los mayores contenidos de potasio y cuyos resultados en las pruebas de uso como fertilizantes fueron los más promisorios, se encuentra prácticamente en la zona de alteración hidrotermal, que afecta no sólo al cuerpo de rocas ultrabásicas sino también a las rocas vulcano – sedimentarias de la Formación Chirino.
3. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en estas pruebas, se puede decir que, las tobas con contenidos de K_2O mayor de 1,30 % son factibles para ser empleadas como fuente de potasio en formulaciones con minerales enmendantes del suelo, siendo perspectivas las áreas investigadas, para la prospección de esta materia prima.













BIBIOGRAFÍA

- Leonel Pérez, Oleg Gorobiets, Pedro Vega et al. 1990. **Inf. P.y EO. de aguas minerales en la región de Madruga**. Oficina Nacional de Recursos Minerales. Ministerio de la Industria Básica. La Habana.
- Tomás Torres, Radamés Molina, Andrés Rodríguez, et al. 1991. **Inf. TTP. de las posibilidades de minerales y materias primas No - Metálicas en las Prov. La Habana y Matanzas**. Oficina Nacional de Recursos Minerales. Ministerio de la Industria Básica. La Habana. Cuba
- Leonel Pérez, José Areas del Toro, Rubén Scout, et al. 1995. **Inf. EOD. de las aguas minero - medicinales y naturales de San Miguel de los Baños**. Oficina Nacional de Recursos Minerales. Ministerio de la Industria Básica. La Habana. Cuba
- Víctor Fidel Cruz. 1995. **Inf. EOD. Tobas Zeolitizadas Olimpo**. Oficina Nacional de Recursos Minerales. Ministerio de la Industria Básica. La Habana. Cuba
- Leonel Pérez, Miguel Bosch, José Pérez. 1996. **Inf. TTP. Regionalización hidrogeológica de las aguas minerales de las provincias C. de la Habana, La Habana, Matanzas e Isla de la Juventud**. Oficina Nacional de Recursos Minerales. Ministerio de la Industria Básica. La Habana. Cuba
- Reinaldo B. Pérez. 1997. **TTP. Reconocimiento de feldespatos Habana Matanzas**. Oficina Nacional de Recursos Minerales. Ministerio de la Industria Básica. La Habana. Cuba
- Vivian Espinosa, Pedro Cairo, José Luís Cubilla, et al. 1998. **Inf. TTP. Estudio y aplicación de agromenas en Cuba Central. Sector II**. Oficina Nacional de Recursos Minerales. Ministerio de la Industria Básica. La Habana. Cuba

FACTORES	PARTICULARIDADES EN LAS ÁREAS DE INVESTIGACIÓN
Relieve	Las rocas de interés se localizan en las partes más bajas del terreno, presentando un relieve ondulado hasta suavemente colinoso.
Geología	El principal interés en este estudio se centra en la Fm Chirino Presencia de las listvanitas, las alteraciones hidrotermales que le dan origen, afectan tanto las ofiolitas como rocas vulcanógenas.
Tectónica	Fallas en todo el territorio, observándose una incidencia considerable en los depósitos de la formación Chirino
Hidrografía	Predominio de la infiltración sobre el escurrimiento superficial. Las aguas que se escurren sobre las listvanitas, sobre las rocas carbonatadas y las ofiolitas se acumulan en las rocas vulcanógenas. Presencia de yacimientos de aguas minero medicinales asociados a las alteraciones hidrotermales.
Mineralogía	Presencia de las tobas con mineralización zeolítica o sólido poroso (vidrio y montmorillonita), así como de minerales portadores de potasio.
Geofísica	Las áreas donde yace la Fm. Chirino se encuentra, en su totalidad, dentro de los valores medios de aerogamma espectrométrica, llegando en varias zonas a los máximos valores. Se comprobó por radiometría pedestre en afloramientos de tobas principalmente con diferente grado de zeolitización y pelitización.

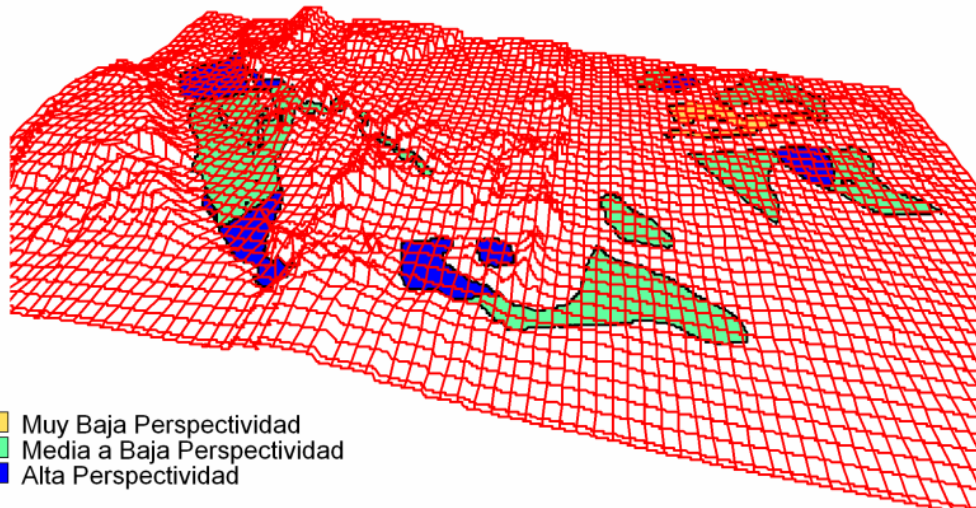
- Lourdes Bobes, Emilio Montejo. Fátima Bugallo, et al. 2003. **Desarrollo de nuevas tecnologías para el aprovechamiento de minerales industriales**. Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM). La Habana. Cuba.
- Andrés Rodríguez. 2005. **Inf. EOD. Vidrio Tosca**. Instituto de Geología y Paleontología. Ciudad Habana.

Anexo gráfico No 1. Leyenda de los Mapas Geológicos, Tectónicos, Hidrológicos y Geofísicos -

	$(P_2^{1-2} \text{prl})$ Fm. Perla		Basaltos		Pórfiros
	$(K_2^m \text{pñ})$ Fm. Peñalver		Andesitas		Ofiolitas
	$(K_2^{cp-m} \text{vb})$ Fm. Vía Blanca		Gabros		Brecha serpentinitica
	$(K_1^a - K_1^{cm} \text{ch})$ Fm. Chirino		Dacitas		
	Concentración de K ≤ 0.5 %				
	Concentración de K $(> 0.5 - 1.0)$ %				
	Concentración de K > 1.0 %.				
	Red hidrográfica		Fallas probadas, supuestas y contactos tectónicos.		
	Contactos discordantes, concordantes, supuestos y comprobados.		Alineaciones profundas		

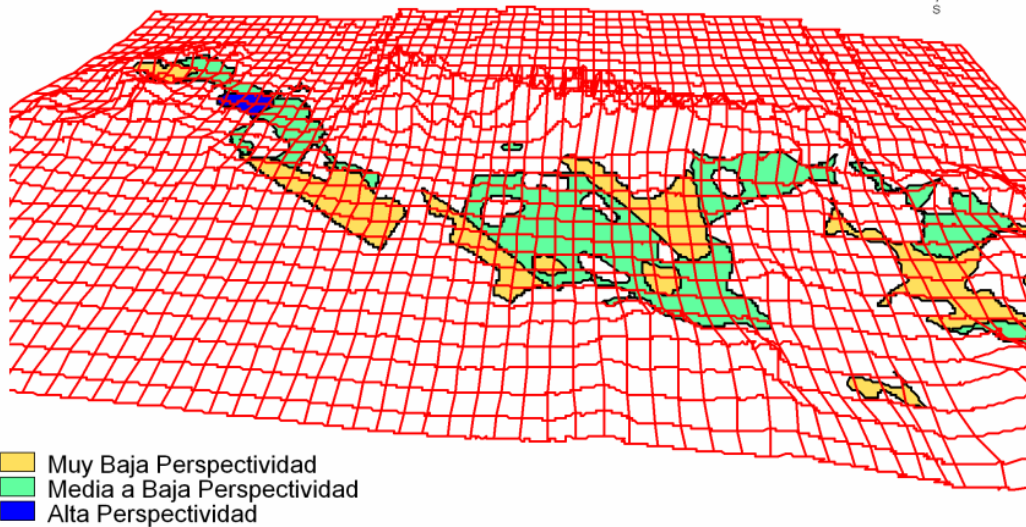
Anexo gráfico No 2

Sector San Miguel de los Baños. Vista 3D de las Areas Perspectivas.

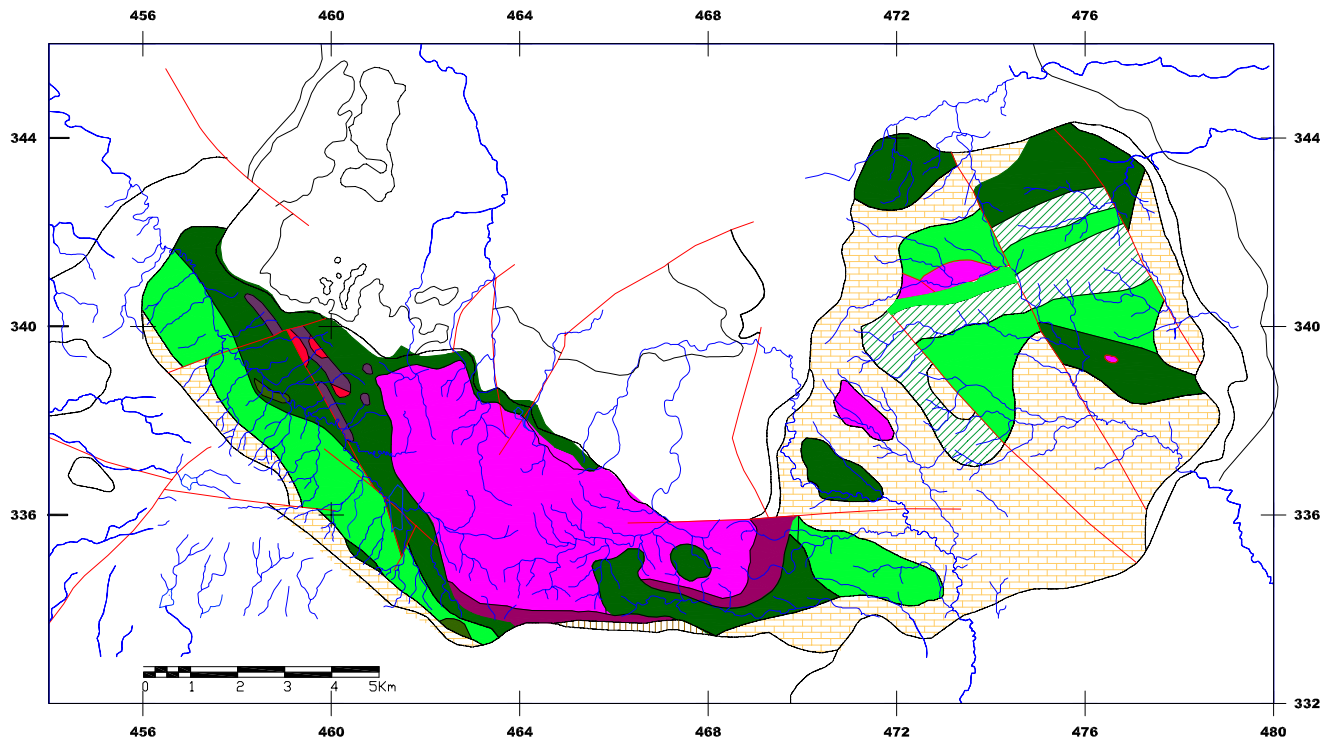


Anexo gráfico No 3

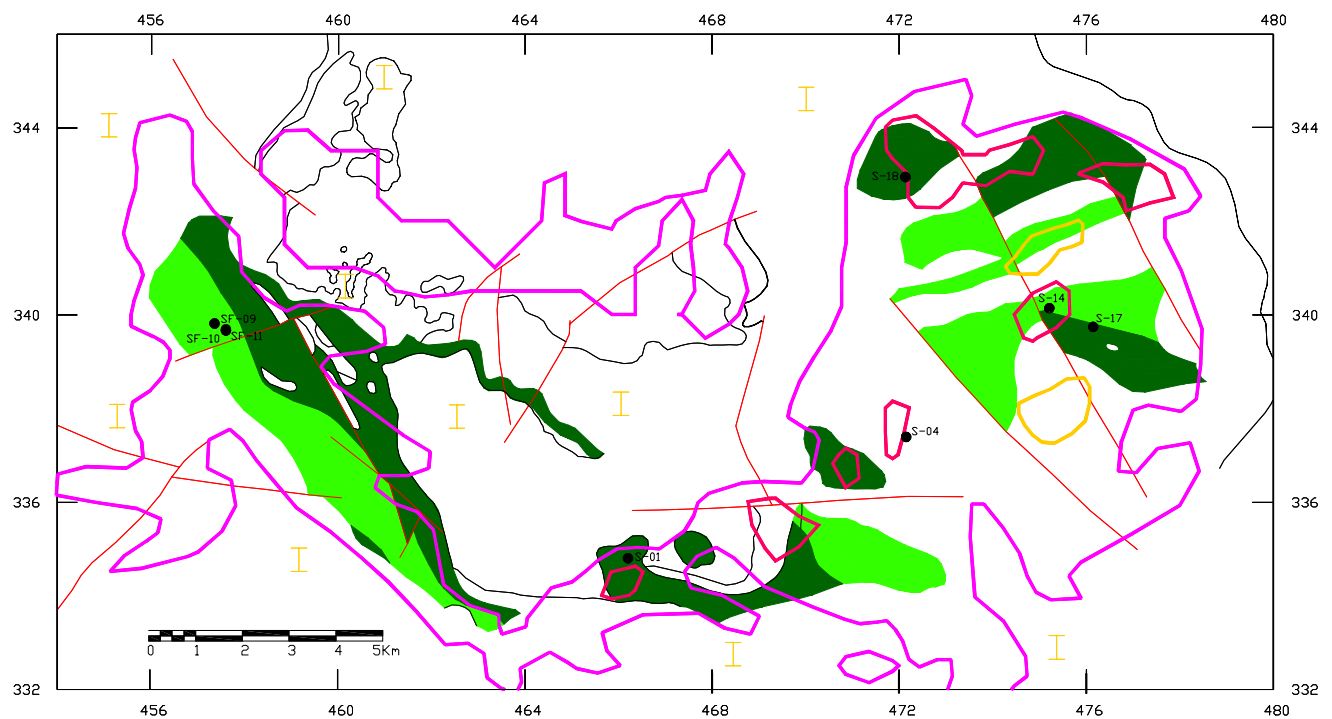
Sector Madruga. Vista 3D de las Areas Perspectivas.



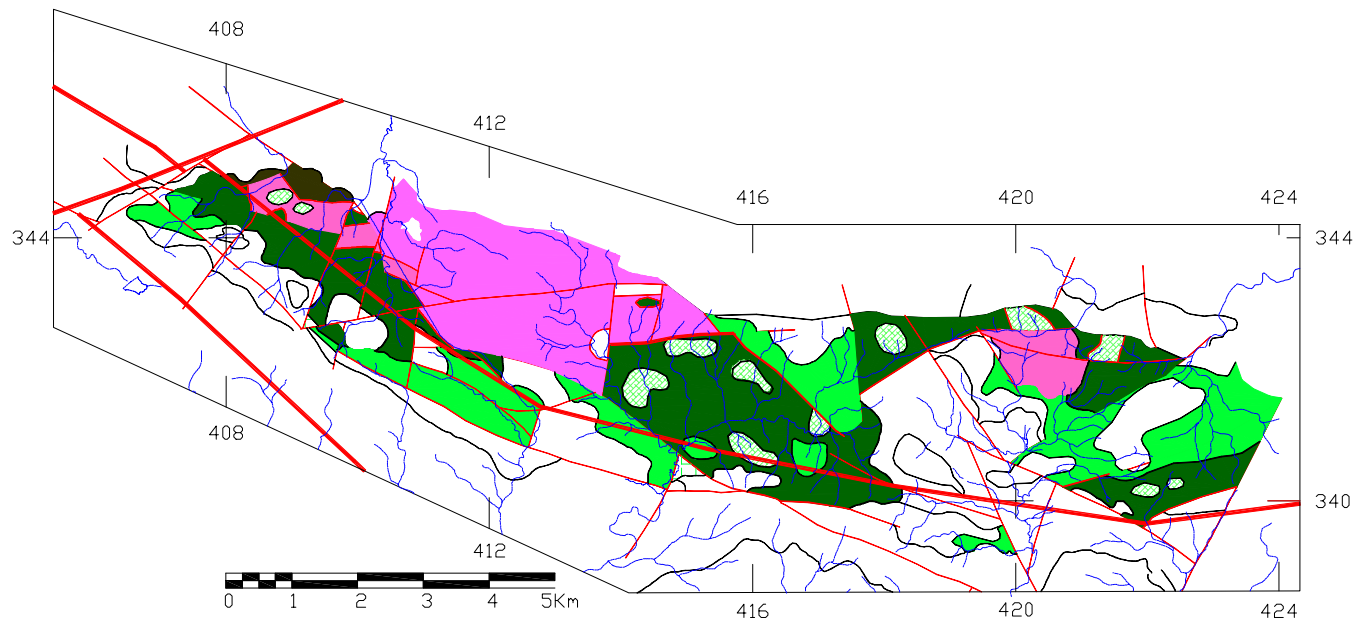
Anexo gráfico No 4. Mapa con la Geología, Tectónica, Hidrología, Geofísica y el muestreo. Sector San Miguel de los Baños



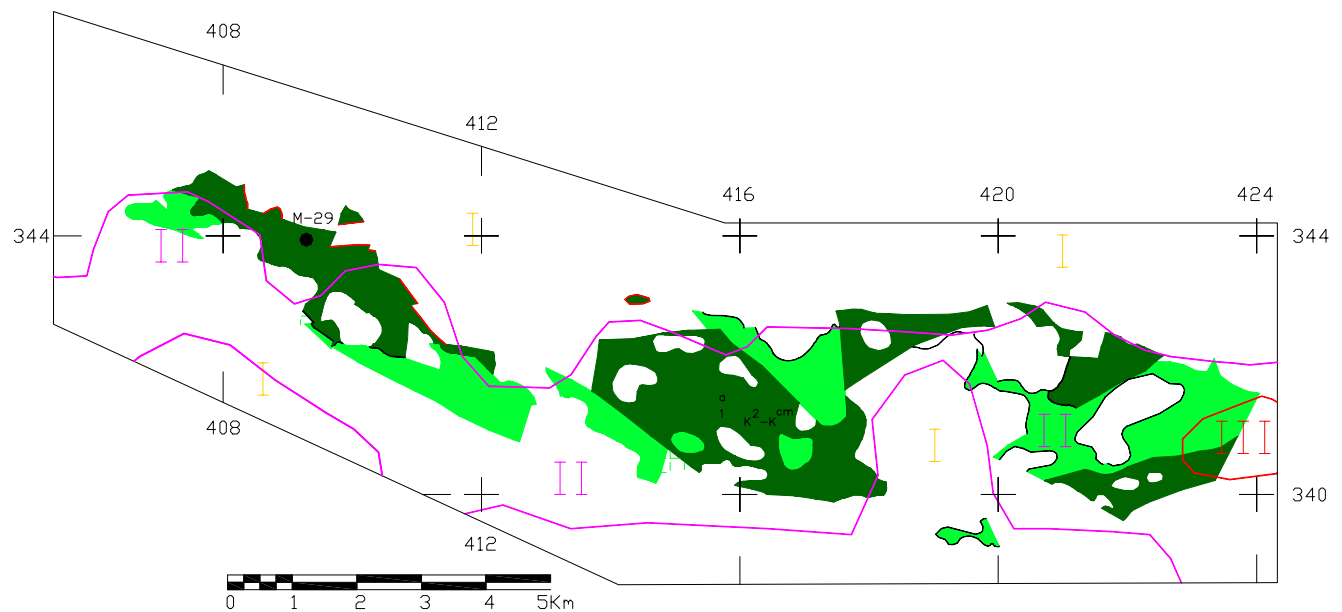
Anexo gráfico No 5. Mapa con la Geofísica y el muestreo. Sector San Miguel de los Baños



Anexo gráfico No 6. Mapa con la Geología, Tectónica e Hidrología. Sector Madruga



Anexo gráfico No 7. Mapa con la Geofísica y el muestreo. Sector Madruga



PERFIL DESCRIPTIVO DE LOS YACIMIENTOS DE ARENA DE MAR BOCA DE BAHÍA HONDA Y DE CABAÑAS, PLATAFORMA NORTE DE PINAR DEL RIO

Víctor Estrada Sanabria ⁽¹⁾

(1) GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina, Regla, CP 112000, Ciudad de La Habana, Cuba. E-mail: materia@emarinis.geocuba.cu

RESUMEN

Se identifican como bancos de prestamos. Donde las arenas de mar color crema, son el mineral no metálico primordial. Su modelo genético, que corresponde a los yacimientos deposicionales asociados a un ambiente geológico – tectónico superficial en bahía típica de bolsa en zona de plataforma estrecha con niveles de terrazas marinas de una morfoestructura local. Se localizan dentro de las estructuras de cañones submarinos con paredes asimétrica y, perpendiculares al segmento estrecho de la plataforma, y ejes de escasos cambios en sus rumbos al cortan el plano del talud insular. Poseen un ambiente de deposición del tipo carbonatado en aguas someras, donde la dinámica de los sedimentos holocénicos dependerá de factores como: relieve de fondo, influjo de las cuencas tributarias, del régimen de marea y corrientes marinas, configuración y tipo de costa. En sus formas espaciales, se asocian capas de irregulares, que sobreyacen las rocas calizas, y de una textura friable detrítica. Sin embargo, en el área de transición clasifica como del tipo areno cienosa. En sus bases, contienen pedazos angulosos de rocas. Muestran una estructura detrítica, la estratificación es regular con ligeras pendientes y ondulaciones en la parte superior, donde se exhiben huellas de los regímenes de oleajes y corrientes. Según datos de la sísmica de somera, se pueden inferir dos unidades litosísmicas con patrones libre de reflexiones. En el mapa batimétrico se observa la relativa elevación del paleorrelieve, fenómeno se vincula con los movimientos neotectónicos y segmentos de las formaciones arrecifales de barrera.

INTRODUCCIÓN

Por vez primera para dos yacimientos de arena de mar, cuyos nombres son: Boca de Bahía Honda y Cabañas, ambos adentro estructuras geológicas análogas en la plataforma marina noroccidental de Cuba, se ha aplicado la confección del perfil descriptivo según la tendencia metodológica actual en las geociencias para alcanzar un balance de datos cualitativos y cuantitativos necesarios de su explotación, y también una herramienta en la localización de similares objetos geológicos en la plataforma marina insular.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales consultados fueron: carta náutica No. 50003 “Parte Occidental de Cuba” escala 1: 500 000. y hoja topográfica No.17 – 5 escala 1: 250 000. Además, de la información geólogo - geofísica alcanzada en las campañas precedentes de trabajo de mar y de gabinete, para la recolección y proceso de los datos básicos se encuentra en (Estrada y otros, 1989; 2000).

La metodología aplicada en la confección del perfil descriptivo fue la mencionada por (Arioza y otros, 2001;2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A- Perfil descriptivo de los yacimientos de arena de mar boca de Bahía Honda y de Cabañas

Nombre: Depósitos de arena de mar

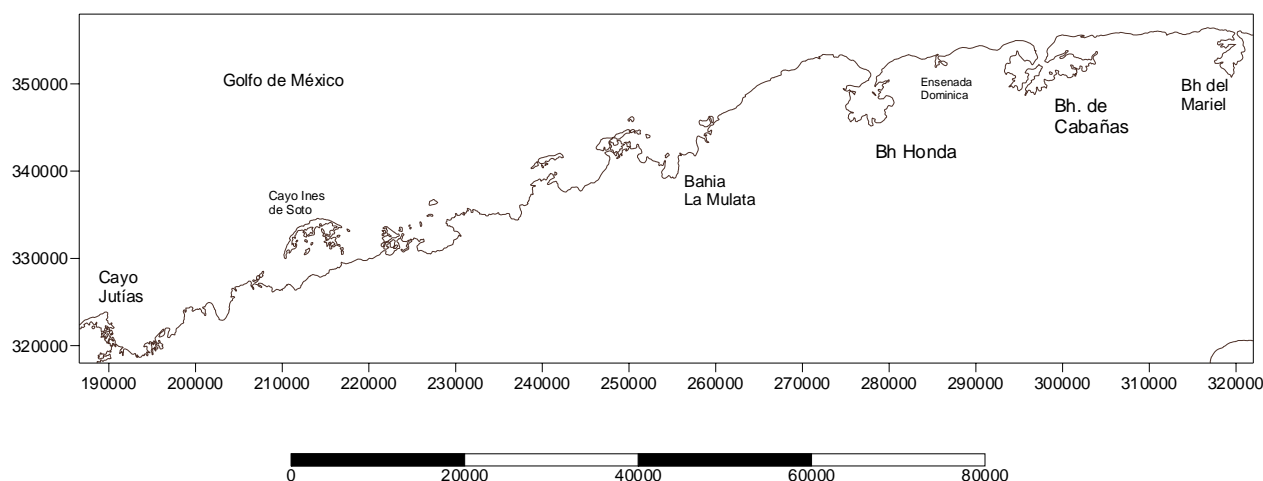
Identificación de sinónimos. Bancos de arenas, bancos de tormentas, zonas de prestamos, paleocauces, paleocanales submarinos.

Producto principal y subproductos.

Las arenas carbonatadas de granos finos - medios y gruesos, de color crema blancuzcos, son el mineral no metálico básico. Además, como subproductos los restos conchíferos y coralinos asociados, que pueden adquirir valor comercial en la industria de artesanía comunitaria.

Ejemplos: Entre los yacimientos similares localizados en la plataforma septentrional de Cuba, se deberán citar los siguientes: Boca de Bahía de Ortigosa, Boca de Sama, Gibara, Vita y Bariay

Fig. 1. Ubicación regional de los yacimientos estudios.



B- Características geológicas.

Resumen. Estos yacimientos, son valiosas fuentes de arena de mar como materia prima para mortero de albañilería, garantizado una porción de la demanda constructiva de sus regiones adyacentes, o en acciones de recuperación de playas. Poseen áreas menores de 1km² en el interior en el interior de las morfoestructuras submarinas de acceso a las bahía del tipo bolsa. Donde las información batimétrica disponible prueba valores entre 10 y 45,0 m. La singularidad de estas acumulaciones biogénicas se puede entrelazar con elementos de interés histórico cultural, situación que puede introducir su conservación geoambiental para la apertura de sitios para el buceo contemplativo.

Escenario tectónico. Es una zona de plataforma estrecha con la presencia de varios niveles de terrazas marinas sumergidas de la morfoestructura Los Montañeses – Cabañas; bajo el control de los bloques neotectónicos regionales, asociada a los complejo geológico – genético sin orogénicos Jaimanitas – Vedado (Cabrera y otros, 2003). Por lo común, dentro de las estructuras clasificadas como cañones submarinos, cuyas paredes son asimétricas y perpendiculares a la plataforma, y con ligero cambio de rumbo al cortan el plano del talud insular, en el caso de Bahía Honda.

Ambiente de deposición. Se permite enmarcarlo en una llanura acumulativo abrasiva del tipo carbonatado en aguas someras, luego de la era glacial hace 20 000 años aproximadamente, con la presencia transgresión holocénica Flandriana en el Océano mundial, que mostró un perfil pulsante en el aumento del nivel del mar sobre la plataforma y comienza la formación de los depósitos sobre el paleorrelieve actual del fondo marino (Cabrera y otros, 1998).

Entonces, la dinámica de los sedimentos holocénicos dependerá del siguiente conjunto de factores: relieve de fondo y paleofondo, influencia de las cuencas tributarias de la zona emergida, de los regímenes de las mareas y corrientes marinas, además, de la configuración y tipo de línea de costa.

Edad de la mineralización. Las acumulaciones mapeadas en ambos cañones submarinos, poseen génesis carbonatada con edad reciente, entonces en ambos yacimientos es un criterio nulo la edad de su mineralización.

Tipo de rocas encajantes y asociadas. El complejo litológico que circunda al emplazamiento de los depósitos, es de rocas calizas del tipo coralinas briozarias y conchíferas, además, se incluyen las correspondientes a la formación Jaimanitas, en su relación espacial con la llanura costera, al ocupar el primer nivel de terraza marina denominada "Seboruco".

Forma del yacimiento. Ambos objetos geológicos, lo forman capas de arenas carbonatadas de irregulares espesores, que sobreyacen a las rocas calizas organógenas inferidas. En particular la potencia reporta según los pozos de mapeo, es significativa, entre los 15 y 20 m.

Textura. Es típica para ambos cuerpos, la friable detrítica. Sin embargo, en el área de transición se permite clasificarlas como del tipo areno cienosa, por la influencia de los depósitos de naturaleza terrígena contenido en el lóbulo de cada bahía. Además se observaron aislados fragmentos sub – angulosos de rocas sedimentarias y restos de organismos coralinos en varias muestras testigos de perforación correspondientes a la base del paleorrelieve.

Estructura. Se clasifica del tipo detrítica (psammítas), la estratificación es regular con muy ligeras pendientes y ondulaciones en la parte superior, donde se pueden presentar las huellas de los regímenes de oleajes y corrientes marinas.

Mineralogía. En las fracciones pesadas para muestras de jaguas marinas (10 ó 20 kg) colectadas en los citados yacimientos no metálicos, se pueden obtener concentraciones de hasta 20 g/tn, siendo muy comunes los siguientes minerales: cromita, magnetita, limonita, epidota, pirita, circón, piroxenos y carbonatos. Dichas concentraciones están relacionadas con las fuentes de aporte en una provincia de alimentación clasificada del tipo pirita – piroxeno – epidótica.

Controles de la mena. El estado geodinámico de estas formas acumulativo – denudativas bajo una evolución a corto plazo o estacional, originara de un modo regular dos tipos de controles.

El control por oleaje poco energético (*tipo swell*), deberá ocurrir en la estación de verano, en sus horizontes más superficiales, se caracterizan por perfiles rígidos en sus acumulaciones.

Un control por oleaje (*tipo sea*) se desarrolla en la estación de invierno. Para la superficie, se observará un perfil disipativo – erosivo, por el arrastre de las partículas de arenas hacia las zonas más profundas y fuera del talud insular. Lo cual podría originar la ocurrencia del singular fenómeno denominado "cascada de arena".

Lo anterior permite inferir que la relación entre la tasa de acumulación para un periodo de tiempo, y los aportes sedimentarios en ambas estructuras de cañones submarinos, es controlada por los siguientes factores: fisiografía de la plataforma, aporte de las fuentes sedimentarias, parámetros oceanográficos y las oscilaciones climático - eustáticas, sin la influencia directa de los movimientos neotectónicos regionales.

Modelo genético. Según los ambientes de localización propuestos por el investigador Cox (1986) en el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S.G.S) y, también citados por (Ariosa, 2001), ambos corresponde al tipo de yacimiento deposicional, asociado a un ambiente geológico – tectónico superficial en bahía típica de bolsa para sectores estrecho de la plataforma insular marina.

C- Guía de exploración.

Por los rasgos geofísicos de las estructuras que los contienen se permite la aplicación del método sonográfico de barrido lateral y sísmico de reflexión somera.

Según la interpretación de las secciones de tiempo en perfiles obtenidos por el método de la sísmica, se pueden inferir dos unidades litosísmicas con patrones libres de reflexiones. Aunque, en el mapa batimétrico de la Boca de Bahía Honda se observará la relativa elevación del paleorrelieve submarino, que interrumpe el gradual declive de las isobatas, este fenómeno se vincula con los movimientos neotectónicos y las formaciones de los arrecifes de barrera.

D - Factores económicos.

Estos yacimientos poseen tamaños pequeños, entre 0,05 - 1km² donde las reservas de arenas de acuerdo a los parámetros técnico - mineros pueden alcanzar un promedio de 100 000 m³. En la tabla I se reflejo el control de calidad granulométrica y evaluación física para una muestra tecnológica con volumen de 1,5 m³ de las arenas de Bahía Honda.

Tabla I Control granulométrico y evaluación física.

Tamices (mm)	(% pas.)	Ensayos	Unidades	
9,52	100	Peso unitario suelto	(kg / m ³)	912
4,76	97,3	Peso unitario compactado		947
2,38	97,5	Peso específico corriente	(g / cm ³)	2,00
1,19	95,1	Peso específico saturado		2,16
0,59	82,3	Peso específico aparente		2,38
0,295	54,4	Absorción	%	7,99
0,149	13,96	Retenido tamiz No. 200		3
0,074	5,1	Partículas de arcillas		—
< 0,074	9,4			

Las posiciones hidrográficas de ambos yacimientos, no requieren de las instalaciones temporales en sus áreas de licencia minera, sin embargo, la actividad minería sobre cualquier punto geológico de la plataforma, exigirá subrayar la evaluación de sus características geodinámicas y ambientales, asociada con los recursos naturales bióticos y abióticos (pesqueros, patrimoniales, etc) del área.

CONCLUSIONES

Los datos agrupados, permiten definir que el perfil descriptivo del yacimiento de Boca de Bahía Honda y Boca de Cabañas, corresponde al modelo genético de los yacimientos deposicionales asociados a un ambiente geodinámico superficial, muy particular en bahías típicas de bolsas en zonas estrechas de la plataforma marina insular del archipiélago cubano. Esta herramienta de elementos geólogo – mineros, posibilitará cualquier toma de decisión en la evaluación de objetos similares reportados en trabajos regionales y temáticos.

BIBLIOGRAFÍA

- Arioza, J. 2001. Modelos de yacimientos minerales, tipologías y aplicaciones Rev. Minería y Geología Vol. XVII No.2.
- W, Lavout ; P. Bergue, 2003. Modelo geológico descriptivo para los yacimientos lateríticos de Fe – Ni – Co en la faja ofiolítica Mayarí – Baracoa de Cuba Oriental. Rev. Minería y Geología Vol. XVIII No.1 - 2., 19 -36
- Cabrera, M; L. Peñalver; C. Pérez y C. Ugalde, 1998. Geología del Cuaternario de la región Norcentral del Archipiélago Cubano. Geología y Minería 98' Memorias Versión Resumida I, Editado por el Centro Nac. Inform. Geológ,
- Cabrera, J. y R. Guardiola, 2003. Clasificación morfoestructural de la provincia de Pinar del Río aplicando tecnología SIG. Revista de Minería y Geología. Vol XVIII, No. 1 -2 , 77 – 82.
- 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.
- Ionin, I., O. Avello, Y. Pavlidis, 1977. Geología de la plataforma marina insular de Cuba. (Traducción).

CRISTALES DE CUARZO DE LA ISLA DE LA JUVENTUD

José Tomás Córdova Gómez

Empresa Geominera Isla, Carretera Gerona Beach Km 1 ½ Nueva Gerona Isla de la Juventud.

RESUMEN.

Los cristales de cuarzo de la Isla de la Juventud están asociados a las rocas cuarzosas y vetas de cuarzos metamórfico del complejo jurásico que cubre las $\frac{3}{4}$ partes del territorio, localizándose fundamentalmente en la parte central asociados a los sistemas secundarios de fracturas y sus ramificaciones, por lo general su coloración varía del transparente a blanco lechoso. Hasta el presente no han sido objeto de estudio con vista a su caracterización físico- química y determinar así sus cualidades para su posible utilización como roca decorativa y en la industria electrónica, medicina, etc. De forma espontánea y por referencia a sus propiedades, la población la viene utilizando y solicitando como roca decorativa natural y como medicina alternativa para el tratamiento de determinados trastornos de salud. Su presencia en la región se conoce desde hace varias décadas, no es hasta la década del 80 del siglo pasado que con el estudio del cuarzo se hace referencia a los mismos. En el presente trabajo damos a conocer las zonas principales de ocurrencia, forma de manifestarse en los afloramientos y exposición y sus principales características visuales.

ABSTRACT

The glasses of quartz of the Youth's Island are associated to the quartz-containing rocks and metamorphic veins of quartzes of the Jurassic complex that the $\frac{3}{4}$ parts of the territory covers, being located fundamentally in the central part associated to the secondary systems of fractures and their ramifications, in general their coloration varies of the transparent one to white milky. Until the present they have not been study object with view to their characterization physique - chemistry and to determine this way their qualities for their possible use like ornamental rock and in the electronic industry, medicine, etc. In a spontaneous way and for reference to their properties, the population comes her using and requesting as natural ornamental rock and I eat alternative medicine for the treatment of certain dysfunctions of health. Its presence in the region is known for several decades, it is not until the decade of 80 in last century that with the study of the quartz reference is made to the same ones. Presently work gives to know the main areas of occurrence, he/she forms of showing in the blooming and exhibition and its main ones characteristic visual.

INTRODUCCIÓN.

En la década del 80 del siglo pasado se realizaron trabajos de búsqueda y exploración de cuarzo para el programa de desarrollo de la industria electrónica del país, donde se pudo corroborar la presencia de manifestaciones de cristales de cuarzo en algunas de las zonas sometidas a los trabajos de investigación. En esa época el trabajo se limitó a la documentación gráfica y descriptiva de forma general y así fueron recogidos en los informes finales de dichos trabajos. En la actualidad debido al interés despertado en la población por las propiedades naturales para el tratamiento de algunas afecciones de salud que se le atribuyen a los cristales de cuarzo y por sus características piezoeléctricas e isócronas principalmente, es que se prepara el presente trabajo para una ampliación en su conocimiento y divulgación.

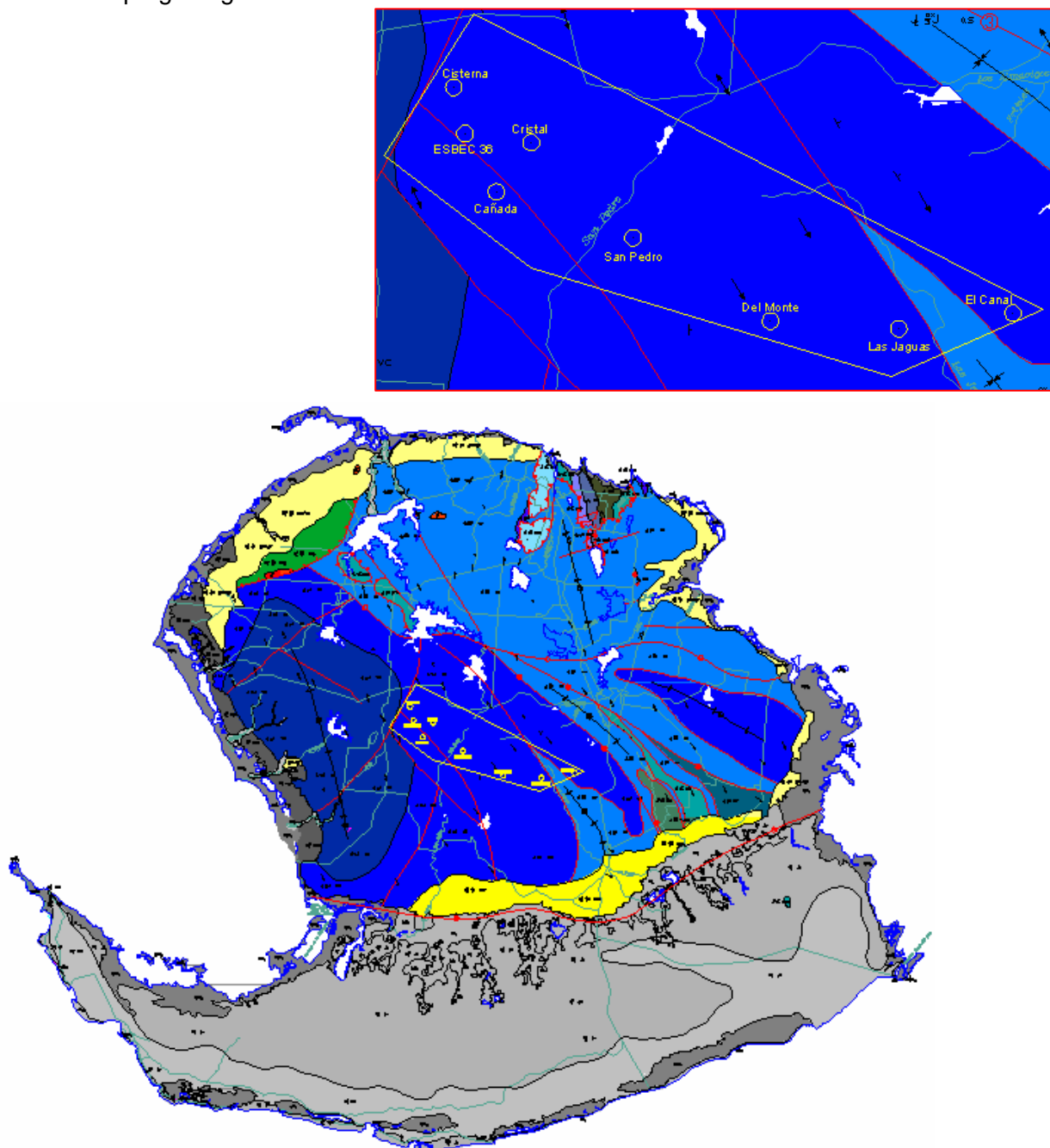
DESARROLLO.

Las principales áreas de manifestaciones de cristales de cuarzo de La Isla de La Juventud geográficamente abarcan toda una franja que se extiende desde el SE al NE por la parte central,

partiendo desde los cerros del Monte y del Ají, cubriendo por el sur del cerro San Pedro y por el norte las estribaciones del cerro Mal País, para luego extenderse por la ladera norte de loma Cañada

hasta los alrededores del puente sobre el arroyo Cisterna, de la carretera de La Melvis a Santa Fe (carretera El Enlace). Dentro de esta zona los lugares mas característicos e interesantes se señalan en la figura Nro. 1 y son: Cristal, Cañada, ESBECC Nro. 36, San Pedro, Cisterna, El Canal, Las Jaguas y del Monte.

Figura No. 1 Mapa geológico de la Isla de la Juventud



Desde el punto de vista geológico la ocurrencia de cristales de cuarzo está asociado a las formaciones jurásicas del complejo metamórfico; tanto a la Formación Cañada (Cñ) como la Formación Agua Santa(As). En la Formación Cañada aparece principalmente en los miembros Loma, Cisterna y Ceiba, asociados litológicamente a los paquetes de esquistos cuarzosos y cuarcitas. y en la Formación Agua Santa a los esquistos cuarzo-micáceos.

En sentido general, los cristales de cuarzo están íntimamente relacionados al cuarzo blanco lechoso, cuarzo semitransparente y al cuarzo granular que aparece en firma de vetas, vetillas, lentes o cuerpos irregulares, que se asocian a los sistemas de fallas y sus ramificaciones.

Los cristales de cuarzo se pueden encontrar in situ o formando placeres o depósitos deluvio-aluviales. In situ se encuentran en las vetas, vetillas y estructuras secundarias cuarzosa; mas frecuentes en las zonas de entrecruzamiento, nudos y ramificaciones, (fotos 1 y 2) observándose con facilidad en los afloramientos de la corteza de intemperismo y en la roca fresca, constituyendo éstas las zonas mas importante para su búsqueda y extracción. Aquí se asocian al cuarzo metamórfico blanco lechoso, al cuarzo semitransparente y al cuarzo granular y transparente. Los cristales se disponen a lo largo de las fracturas y las zonas mas enriquecidas tienden a coincidir con cruce y ramificaciones en diferentes direcciones de las estructuras cuarzosas. En las vetas de mayor potencia los cristales aparecen relacionados a cavidades (geodas), encontrándose agrupados en drusas. Los cristales aislados se asocian mas a las vetillas con desarrollo hacia las rocas encajantes; cuando el desarrollo de los cristales se produjo en límites reducidos tienden a aparecer deformados por sus caras.

Foto No. 1



Foto No. 2



Foto No. 3



Los placeres o depósitos deluvio-aluviales de acumulaciones superficiales de cuarzo aparecen en las zonas positivas del relieve, zonas quebradas, zonas de cambio de pendiente, etc, pueden constituir lugares para la búsqueda de cristales de cuarzo. También los cauces de los ríos y arroyos constituyen zonas interesantes para localizar cristales de cuarzo en los bancos de arena y grava cuarzosa. En la actualidad la posibilidad de encontrar cristales de cuarzo es mayor en los afloramientos y cortes o exposiciones del terreno producto de la labor humana. Características de los cristales de cuarzo.

Los cristales hexagonales de cuarzo de la Isla de la Juventud, son de talla por lo general pequeña, de 1-5 cm de largo y de diámetro de 0.3 – 1.5 cm. Los más frecuentes van de 2 – 3cm de largo y diámetro de 0.5 – 1.0 cm. La ocurrencia de cristales grandes (mayor de 5 cm) es meno frecuente; pueden aparecer aislados o en drusas. La terminación es siempre piramidal y las caras desiguales. El color varía desde transparente a blanco lechoso; la transparencia varía de forma gradual de transparente, semitransparente a blanco lechoso. Pueden encontrarse cristales transparente, semitransparente o blanco lechoso de forma independiente en una misma veta. Los cristales mas

frecuentes presentan una variación gradual desde totalmente transparente en la punta hasta blanco lechoso en la base. De forma aislada se han encontrado cristales amarillos (Cerro del Monte y su flanco sur – occidental) y cristales ahumados y violeta (norte de Loma Cañada).

Impurezas; las mas frecuentes son arcillo – ferruginosas que penetran por las fisuras de los cristales, poros, zonas de corrosiones y en forma de pátinas o manchas en las caras, tomando tonalidades pardo rojizas o pardo amarilla, característica no decorativa para el cristal.

Inclusiones; las mas frecuentes son de hematita (oligista) e ilmenita en forma de láminas y agujas que pueden encontrarse en la zona de la Cañada y la ESBEC No. 36. Hacia la zona de La Victoria aparecen inclusiones de turmalina de color negro.

Estudio sobre las propiedades físicas de los cristales de cuarzo de la Isla de la Juventud, no se han realizado. El conocimiento general que sobre los mismo se tiene, esta relacionado a los trabajos de Búsqueda y Exploración de cuarzo realizados para el programa de desarrollo de la industria electrónica en el país, en la década del 80 con vista a la obtención de cuarzo fundido transparente y cristales artificiales en autoclaves.

De la bibliografía consultada y otras referencias, se conoce que los cristales de cuarzo debido a sus cualidades piezoeléctricas e isócronas, pueden utilizarse para el mejoramiento de la salud humana, contribuyendo en beneficio de su estado físico y mental.

Otras de las propiedades del cristal de roca (cuarzo), es su carácter decorativo, ya que por su belleza puede ser utilizado como piedra preciosa o semipreciosa.

La cualidad decorativa y el auge adquirido popularmente en la población por sus posibilidades de utilización en el mejoramiento de determinadas afectaciones de la salud humana, ha despertado gran interés por los mismos.

Su uso ya generalizado en la electrónica, relojería, medicina, bisutería, computación, láser y tecnología de punta; nos hace mirar al futuro y que con su conocimiento y difusión, contribuyamos mejor a su utilización y conservación.

BIBLIOGRAFÍA.

Córdoba G. Informe de la Búsqueda Orientativa y Detallada del cuarzo en La Isla de La Juventud. 1985

Toledo B. Guillermo. Informe final de la Prospección Detallada y Exploración Orientativa de cuarzo I. de la Juventud. – 1991

Paillet. M. Cristal de cuarzo. Como trabajar con los cuarzos 2003.

LOS MODELOS DESCRIPTIVOS, DE LEY-TONELAJE Y DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LOS DEPÓSITOS DE CROMITA ASOCIADOS A LA FAJA OFIOLÍTICA MAYARÍ-BARACOA

Tendai Njila⁽¹⁾ , Roberto Díaz Martínez⁽¹⁾ , Joaquín Proenza ⁽²⁾

(1) Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, las Coloradas s/n, Moa. CP: 83329. tnjila@ismm.edu.cu

(2) Universitat de Barcelona, Martí i Franquès, s/n, 08028, Barcelona, Spain. Proenza E-mail: japroenza@ub.edu

RESUMEN

El presente estudio constituye una modesta contribución a la Geología económica cuya finalidad es presentar un pronóstico para la posible existencia de depósitos de cromitas no descubiertos en la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa. En el trabajo se expone el contenido de los atributos esenciales que describen las condiciones geológicas de formación de estos objetos geológicos y su utilidad como instrumento metodológico en el pronóstico y evaluación de los recursos y reservas de minerales. Se realiza una exposición de la formación de los yacimientos minerales de cromitas y la modelación de estos yacimientos minerales resaltando aquellos juicios y esquemas que han marcado momentos de transformación cuantitativos y las consecuentes deducciones teóricas sobre las probabilidades de ocurrencia de depósitos cromíticos, con su estimada ley y tonelaje. Se hace una revisión, análisis y generalización de los fundamentos de la metodología de las TRES PARTES, aplicada en la valoración de los modelos de ley –tonelaje. Como resultado concreto de la aplicación de esta metodología se presentan por primera vez en Cuba el modelo descriptivo, de ley-tonelaje y de probabilidad de ocurrencia para los yacimientos de cromitas podiformes en la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa, de gran utilidad práctica para las Empresas de las Uniones Geomineras y del Níquel, así como para la enseñanza de las asignaturas vinculadas con la Geología y Prospección de los yacimientos minerales en las Universidades cubanas.

ABSTRACT

The present work constitutes a modest contribution to the Economic Geology whose purpose is to present a forecast on the possible existence of undiscovered chromite deposits in the Mayarí-Baracoa Ophiolitic Belt. In this paper the essential attributes which describe the geological conditions of formation of these geological objects and their usefulness as a methodological instrument in the estimation and evaluation of mineral resources and reserves are exposed. Also carried out here is an exposition on the formation of these chromite deposits and their modelling, highlighting those aspects that have marked the quantitative transformation moments and the consequent theoretical deductions on the probabilities of occurrence of chromite deposits with their estimated grade and tonnage. A revision, analysis and generalization of the fundamental aspects of the THREE-PART resource assessment methodology, applied in the evaluation of the grade and tonnage models, are made. As a concrete result of the application of this methodology, the descriptive, grade and tonnage and probability of occurrence models of the Mayarí-Baracoa Ophiolitic Belt podiform chromite deposits are presented for the first time in Cuba. These models are of great practical importance to the Companies of the Uniones Geomineras and the Nickel industry, as well as for the teaching of the subjects linked to the Geology and exploration of mineral deposits in Cuban Universities.

INTRODUCCIÓN

Los trabajos dirigidos a establecer las potencialidades minerales de una región dada requieren de la estimación de los recursos desconocidos. El método de valoración de los recursos conocidos como el

Procesos de Valoración de Recursos Minerales de British Columbia, Canadá fue descrito por Kilby (1995) y Grunsky (2002). El método se basó en la metodología de valoración en Tres Partes desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos.

Una función clave de la mayoría de las valoraciones de recursos es la estimación del número de depósitos no conocidos. Para esto, se pueden emplear numerosas técnicas de forma directa o como guía para efectuar estos estimados. La robustez de estas técnicas está dada por el modelo de depósito mineral, en el cual, para un tipo dado, los números de depósitos por unidad de área de las regiones bien explorados son contados y la distribución de frecuencia resultante es utilizada directamente para la estimación, o indirectamente como guía en otros métodos.

Las proporciones de los números de depósitos de cromitas por unidad de área son representados en forma de histogramas para mostrar la variación de las frecuencias de aparición por km². En la valoración cuantitativa de los recursos por el método de las tres partes se requiere que en cada depósitos sea definido, de la misma manera que en la delimitación de áreas permisibles y como en los modelos de ley y tonelaje; estas mismas definiciones y reglas también deben ser aplicadas a los modelos de densidad de depósito.

Este trabajo contiene tres modelos: el descriptivo, el de ley-tonelaje y el de probabilidad de ocurrencia para los yacimientos de cromitas de la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa.

Los modelos descriptivos son útiles en la planificación de la exploración y la valoración de recursos porque permiten identificar los depósitos en el campo e identificar las áreas en los mapas geológicos y geofísicos donde hay posibilidad de que ocurran.

Los modelos de ley-tonelaje se emplean en la valoración de recursos para pronosticar la probabilidad de diferentes combinaciones de ley y tonelaje que pueden ocurrir en los depósitos no descubiertos en un área específica. Además son útiles en la exploración ya que deciden qué tipo de depósitos cumple con los objetivos económicos de una empresa minera.

En este trabajo los autores confían en los modelos descriptivos y de Ley-Tonelaje de los yacimientos minerales de cromitas de la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa para asistir a su predicción o pronóstico. La estimación cuantitativa de los recursos, a partir de los modelos de evaluación, puede efectuarse sobre la base de las leyes y los tonelajes de los depósitos conocidos, de la misma manera en que se pronostican la cantidad, trayectoria e intensidad de tormentas tropicales en una determinada temporada ciclónica.

El objetivo de este trabajo es estimar los recursos cromíticos no conocidos mediante un modelo de probabilidad de ocurrencia a partir del modelo descriptivo y de Ley-Tonelaje de los yacimientos minerales existentes en la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los modelos que se presentan utilizan dos componentes principales: los rasgos descriptivos que caracterizan los depósitos de cromitas en términos geológicos y las distribuciones de ley-tonelaje de los depósitos de cromitas ya conocidos globalmente. Posteriormente se empleó la metodología del Análisis de las Tres Partes de Singer (1993) utilizada por el USGS, para la valoración cuantitativa de los recursos cromíticos no descubiertos.

Los modelos de depósitos son basados en la descripción de los ambientes geológicos y sus características físicas, y en las leyes y tonelajes de menas cromíticas de los depósitos individuales. Los datos usados son presentados en una base de datos que representa más de 161 depósitos de la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa. Esta base de datos fue elaborada a partir de los datos aportados por las Empresas, Oficina Nacional de Recursos Minerales y publicaciones recientes. En el presente trabajo se utilizó el concepto de depósito individual el cual según Singer (1993), se ubica a una distancia de 2000 metros respecto al depósito más cercano.

Metodología para la determinación del modelo descriptivo.

Puesto que un yacimiento mineral de cromita es diferente a otro en una forma finita, los modelos deben progresar más allá del aspecto puramente descriptivo para representar a más de un simple yacimiento. Aquellos que comparten una variedad relativamente amplia y un gran número de atributos se caracterizan como un “tipo de depósito”.

Las interpretaciones genéticas pueden desempeñar un papel significativo en el establecimiento de las clases de modelos, pero los atributos descritos en ellos deben proporcionar una base para la interpretación de las observaciones geológicas, más que para interpretaciones en la búsqueda de ejemplos.

Los atributos señalados en los modelos descriptivos son guías para la evaluación y la exploración de los recursos, tanto en la etapa de planeamiento como en la interpretación de los descubrimientos.

El modelo descriptivo se construyó siguiendo dos criterios fundamentales: el primero es el ambiente geológico que describe el escenario donde se encuentran los yacimientos de cromitas, mientras que el segundo proporciona las características que identifican estos yacimientos.

La edad del depósito se refiere a la del evento responsable de la formación del yacimiento. El escenario tectónico está relacionado con los principales lineamientos de la corteza terrestre y provincias metalogénicas que se representen sólo a escala 1: 1 000 000 o menos detalladas y no al control de las menas por las estructuras geológicas que son locales y específicas de una localidad.

El concepto de yacimiento asociado, reconoce a aquellos depósitos cuya presencia puede indicar condiciones favorables para yacimientos adicionales del tipo descrito por el modelo.

En la segunda parte del modelo, se hace énfasis en particular en aquellos geoindicadores con los cuales reconocen al yacimiento a través de sus anomalías geoquímicas y geofísicas. Recordemos que los modelos deben contener datos útiles para los proyectos de exploración, planeamiento y evaluación de los recursos minerales (Cox y Singer, 1986).

El modelo descriptivo que se adoptó en este trabajo sigue los mismos procedimientos del British Columbia Mineral Deposit Profiles (Chris, A., 1996).

Metodología para la obtención del modelo Ley-Tonelaje.

La construcción del modelo de ley-tonelaje comprendió varios pasos: el primero fue la identificación del tipo de yacimiento; en el caso de esta investigación se seleccionaron los yacimientos de cromitas de la FOMB. El segundo paso consistió en agrupar los datos de cada uno de ellos; estos datos son: las leyes promedio de cromita, así como los tonelajes de la producción total, reservas y recursos al cut-off más bajo disponible.

Todos los datos usados en el modelo deben representar la misma unidad en la muestra, puesto que su mezcla a partir de depósitos y distritos mineros o de producciones antiguas y estimados de recursos recientes, producen frecuencias bimodales o al menos no-lognormales que pueden introducir correlaciones entre las variables que son resultado de las unidades de muestras mezcladas.

El tercer paso consistió en plotear los datos. Los tonelajes y las leyes de todos los depósitos fueron transformados a sus logaritmos. La finalidad del ploteo y de la estadística es determinar si los datos contienen poblaciones múltiples (Singer, 1993).

Una discusión sobre el uso del modelo lognormal esta dada por Harris (1984). La interpretación correcta de las curvas es importante en la valoración de los recursos. Son ploteados como el logaritmo (base 10) de la ley o tonelaje versus la proporción de la curva (0-1). Aunque la distribución de ley y tonelaje para algunos depósitos minerales es generalmente lognormal, no es siempre el caso para minerales industriales (Singer y Orris, 1994).

Metodología para la obtención del modelo de probabilidad de ocurrencia.

El modelo de probabilidad de ocurrencia se elaboró a partir del análisis por el método de las Tres Partes, propuesto por Singer (1993) el cual consiste en: 1) la delimitación de las áreas según los tipos de depósitos utilizando criterios geológicos; 2) la estimación del contenido de mena y de algunas características de estas utilizando el modelo de Ley-Tonelaje; y 3) la estimación de la cantidad de depósitos no descubiertos. A continuación se presenta la explicación de cada paso.

Parte I: Delimitación de las áreas

Para lograr la consistencia del modelo, se delimitaron las áreas en sectores donde la geología permite la existencia de uno o más depósitos de cromita. Estas áreas, denominadas trazados permisibles, se basaron en los criterios geológicos derivados de los modelos de depósitos que son basados en los estudios de los depósitos conocidos dentro de, y mas común, fuera del área de estudio. Se define los limites de los trazados permisible de manera que la probabilidad de ocurrencia de depósitos fuera del área de estudio sea despreciable; o sea, menos de 1 en 100 000 hasta 1 000 000.

Parte II: Estimación de los tamaños de depósitos no descubiertos

La parte critica de la exploración de depósitos minerales y de la evaluación cuantitativa de los recursos minerales es la estimación de los tamaños de depósitos no descubiertos. Típicamente, este problema se discute empleando modelos de ley-tonelaje porque la fuente mayor de la variación de los tamaños de los posible depósitos puede ser atribuida a las diferencias entre los tipos de depósitos (Singer y Kouda, 1999). En la evaluación cuantitativa de las tres partes, se usan típicamente los modelos de ley-tonelaje previamente construidos, a no ser que los depósitos locales defieren de manera significativa de los que están en el modelo general. Estos modelos tienen una forma de distribución de frecuencia de los tonelajes y leyes medias de depósitos muy bien explorados de cada tipo. Ellos sirven como modelos para tonelajes y leyes de depósitos no descubiertos del mismo tipo ocurriendo en un marco geológico similar. Por diseño, el blanco es más bien la distribución de leyes y tonelajes de depósitos minerales no descubiertos que la ocurrencia de los minerales.

Parte III: Estimación de la cantidad de depósitos probables

El tercer paso consistió en la estimación de un número fijo, pero no conocido, de depósitos de cromita que existe en las áreas delimitadas. Hasta que no se perfora extensivamente el área considerada, no se puede saber con certeza este número fijo, que puede ser cualquier número, incluyendo cero. En la evaluación cuantitativa por el método de las Tres Partes, los estimados del número de depósitos representan explícitamente la probabilidad (o un grado de confianza) de que un número fijo pero no conocido de depósitos no descubiertos existan en el área delimitada. Estos estimados reflejan tanto la incertidumbre de lo que pueda existir, como la medida de lo favorable para la existencia de un depósito de cromita. La incertidumbre se muestra por el rango de los estimados del número de depósitos asociado al rango de 90 a 10% o 1% - una diferencia grande significa una incertidumbre grande. Lo favorable puede ser representado por el estimado del número de depósitos asociado a un nivel de probabilidad dado o por el número de depósitos esperado.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La metodología empleada permitió obtener los tres modelos planteados: descriptivo, ley-Tonelaje y de probabilidad de ocurrencia de los yacimientos de cromitas asociados a la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa. A continuación se exponen los resultados de esta investigación.

Modelo descriptivo de depósitos cromíticos de la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa.

NOMBRE: Cromitas podiformes.

SINÓNIMOS: Cromitas tipo alpino, cromitas de asociación Ofiolítica.

PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS: Cr (puede contener elementos del grupo de platino (Os, Ir y Ru).

EJEMPLOS:

a) En Cuba: Merceditas, Amores, Los Naranjos, Potosí, Loro, Yarey, Piloto, Cayo Guam, Caridad, Rupertina, Albertina, Guarina, Casimba, Nueva Caledonia, La Estrella.

b) En otros países: Castle Mountain Nickel (082ESE091) y Scottie Creek (092INW001) (Canadá); Guleman ore field (Turkey); Distrito Kalimash - Kukes-Tropoje, Bulquize y Distrito Todo Manco - Bater-Martaneshe (Ofiolitas de Mirdita, Albania); Ofiolitas de Tiébaghi y Massif du Sud (Nueva Caledonia), Acoje y Masinloc-Coto (Zambales range/ophiolite, Luzon, Filipinas); Batamshinsk, Stepninsk, Tagashaisai y Main SE ore fields (Macizo Kempirsai, Urales del Sur, Rusia); Las Minas Xeraivado y Skoumtsa (Vourinos ophiolite, Grecia); Semail ophiolite (Oman); Troodos, Chipre; Los depósitos Luobusa, Donqiao, Sartohay, Yushi, Solun, Wudu y Hegenshan (China) todos > 1.5 Mt.

CARACTERÍSTICAS GEOLOGICAS

DESCRIPCIÓN RESUMEN: Los depósitos de cromitas ocurren en forma de lentes o capas dentro de las rocas ultramáficas de la Faja ofiolítica Mayarí-Baracoa.

ESCENARIO TECTÓNICO: Expansión en una zona de subducción. Moho Transition Zone. Dorsal centro-oceánica. Fragmentos obducidos de rocas ultramáficas del manto superior y corteza oceánica inferior dentro de los terrenos oceánicos.

AMBIENTE DEPOSICIONAL / ESCENARIO GEOLÓGICO: Reacciones fundidos/peridotitas en un manto litosférico suboceánico en la parte superior de la zona de suprasubducción. Las cromitas ricas en Al del distrito Moa-Baracoa se formaron a partir de un magma con afinidad de basaltos de *back arc* (BABB), mientras los de Mayarí se formaron a partir de un magma con afinidad MORB

EDAD DE LA MINERALIZACIÓN: Jurasico Superior-Cretácico Inferior

TIPOS DE ROCAS ENCAJANTES / TIPOS DE ROCAS ASOCIADAS: Los depósitos minerales yacen concordantemente con las rocas encajantes y se asocian totalmente con los complejos ofiolíticos. Las rocas encajantes fundamentales son harzburgitas y dunitas serpentinizadas (45-60%) o serpentinitas, así como también dunitas plagioclásicas, wehrlitas, lherzolitas, y piroxenitas. Subordinadamente, también se encuentran rocas máficas (generalmente diques de gabros, gabro olivínico, gabro normal, norita y raramente plagiogranito) Estas rocas pertenecen a asociaciones ofiolíticas con predominio de ultramafitas (tectonitas, cúmulos ultramáficos y su zona de transición).

FORMA DEL YACIMIENTO: Los principales cuerpos de cromitas presentan formas lenticulares y tabulares. También existen pequeños cuerpos brechoides de cromititas incluidos en diques tardíos de pegmatoides gabroicos. Los principales cuerpos de cromititas son concordantes con la foliación y alineación de las peridotitas encajantes. La mayoría de los depósitos son de de pequeño tamaño.

TEXTURA/ESTRUCTURA: La textura masiva constituye más de 90% de las cromititas. Dentro de las texturas masivas se pueden diferenciar el tipo compacto y el tipo con cristales alotriomorfos, también suelen desarrollar texturas de *pull apart*; otras texturas existentes son pseudoclásticas, bandeadas, diseminadas (poco común), nodular, miloníticas y cataclásticas.

MINERALOGÍA DE LAS MENAS (PRINCIPAL Y SUBORDINADA): Los minerales principales de las menas son: cromita y olivino. En menores proporciones están presentes anfíboles, clinopiroxenos y plagioclasas. Estas fases se distribuyen de manera particular en los lentes de cromititas. También se puede apreciar la presencia de uvarovita, minerales del grupo del platino (MEGP) minerales del grupo de la epidota (saussurita), rutilo (raramente ilmenita).

INTemperismo: El grado de serpentización de las ultramafitas es generalmente mayor de 50%, y cercano a 95-100% para la muestras de superficie, debido fundamentalmente a la hidratación meteórica, ya que se observa una tendencia a la disminución hasta 30-45% de la serpentización con el incremento de la profundidad. Los macizos de ofiolíticos de las Sierras de Nipe-Cristal y Moa-Baracoa contienen las principales áreas con cortezas de intemperismo en Cuba oriental las que incluyen los más grandes yacimientos ferroniquelífero-cobálticos de Cuba. Las asociaciones minerales primarias están reemplazadas normalmente por diversas asociaciones de fases secundarias, normalmente la serpentización y la ferrocromitización-cloritización, en que se produce, paralelamente, dos fenómenos: a) el emplazamiento parcial de cromita por ferrocromita y b) el reemplazamiento de los minerales del grupo de la serpentina por clorita.

CONTROLES DE LAS MENAS (METALOTECTOS): litológico, geoquímico y estructural. La proximidad a la zona de transición manto-corteza. Restringido a los cuerpos duníticos en las harzburgitas tectonizadas por debajo de la zona de transición, o de las partes duníticas inferiores de los cúmulos ultramáficos por encima de la zona de transición.

De acuerdo con su composición se generan las menas ricas en Al (min. 25% Al_2O_3 ; min. 60% Cr_2O_3 + Al_2O_3 ; máx. 15% FeO).

MODELO GENÉTICO: Las cromititas de la Faja Ofiolítica Mayari-Baracoa se formaron a partir de fundidos calcoalcalinos (fundidos C), originados por reacciones fundidos/peridotitas en un manto litosférico suboceánico, en una zona de suprasubducción (Proenza, 1998). Es decir, ofiolitas con características geoquímicas de arcos de islas, pero estructura de corteza oceánica formada por procesos de expansión en una zona de subducción (Pearce et al., 1984; Robert, 1988). Estos fundidos percolan a través de canales duníticos, y son mezclados con fundidos altamente oxidados (fundidos H). La mezcla de dos fundidos genera un fundido híbrido y hace que la cromita se convierta en el

único mineral del magma (Hill y Roedor, 1974). En estas condiciones, el magma intersticial tendera a disolver los silicatos de la matriz y a cristalizar, en su lugar, cromita. La composición de la cromita es función de la profundidad a la que se forma en la columna de percolación. Las ricas en Al en la parte superior de los canales de precolación (alta fugacidad de oxígeno), y las ricas en Cr en la parte inferior (a baja fugacidad de oxígeno).

COMENTARIOS: Las ofiolitas de zona de suprasubducción asociadas a harzburgitas de la sección mantélica parecen ser las únicas con depósitos económicos de cromitas refractarias.

GUIAS DE EXPLORACION

RASGOS GEOQUÍMICOS CARACTERISTICOS: Cr: Contenidos elevados de Al, TiO_2 , MgO

CARACTERISTICAS GEOFÍSICAS: Anomalías gravimétricas .

OTRAS GUÍAS DE EXPLORACIÓN: Se encuentran en rocas formadas cerca o dentro de las ofiolitas de la zona de transición manto-corteza

FACTORES ECONOMICOS

LEY Y TONELAJE: La ley está en el rango de 20 a 60% de Cr_2O_3 y son una función de la textura de la cromita, o sea, la cantidad de cromita en relación a la ganga de serpentinita. Los tonelajes son variables, con un rango entre varios miles y varios millones de toneladas.

LIMITACIONES ECONÓMICAS: La estructura compleja y la distribución irregular de las cromitas aportan dificultades para la exploración de estos depósitos.

USOS FINALES: El ferrocromo (65-70% de Cr) y la estellita (aleación de Cr con Co y Mo o V) son dos productos de gran demanda industrial. Actualmente se usa para hacer aceros inoxidable, ya que su presencia confiere al acero resistencia, tenacidad, dureza, así como resistencia a la corrosión, oxidación, abrasión, ataque químico, paso de la corriente y descomposición a temperaturas altas. Además de la industria metalúrgica, que consume más del 50% de la producción mundial del Cr, se utiliza cerca de 40% en la refractaria (revestimiento de hornos) y 10% en la química (tintes, curtientes, lixiviadores, colorantes y agentes oxidantes). El 75% del cromo se emplea en la industria de hierro y acero.

IMPORTANCIA: Las cromitas asociados a los complejos ofiolíticos son la única fuente del tipo refractario (min. 25% Al_2O_3 ; min. 60% Cr_2O_3 + Al_2O_3 ; máx. 15% FeO). Una fuente importante de menas de cromitas metalúrgicas (45-60% Cr_2O_3 ; Cr/Fe = 2.8-4.3).

Modelo Ley-Tonelaje de los depósitos de cromitas de la FOMB.

COMENTARIO: Se define un depósito mineral como uno o más cuerpos minerales que están en explotación o han sido explotados económicamente. Este modelo es el primer modelo (Modelo DMN-01) de ley-tonelaje sobre las cromitas de la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa. Los distritos son geológicamente similares y tienen el mismo modelo descriptivo. Los depósitos están ordenados en orden ascendente según los tonelajes. A partir de los datos primarios tabulados de todos los depósitos se obtuvo la estadística que se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Estadística resumida de los depósitos de cromitas.

	Tonelaje	Ley
Mínimo	2.676694	1.390051
Primer cuartile	3.569115	1.470439
Median	4.30103	1.528531
Promedio	4.294441	1.545663
Tercer cuartile	5.178296	1.54682
Máximo	5.807082	1.761326
Varianza	0.787527	0.007068
Desviación Estándar	0.887427	0.084074
Error Estándar	0.136933	0.012973
Curtosis	-0.95254	0.111983
Moda	4	1.546543
Suma	180.3665	64.56888
Nivel de Confianza (80.0%)	0.178361	0.016898
Skewness (Asimetría)	-0.18079	0.755632
Cuenta	42	42
N/A	16	16

El modelo de tonelaje es una curva la cual se presenta en la figura 1.

Tonelajes

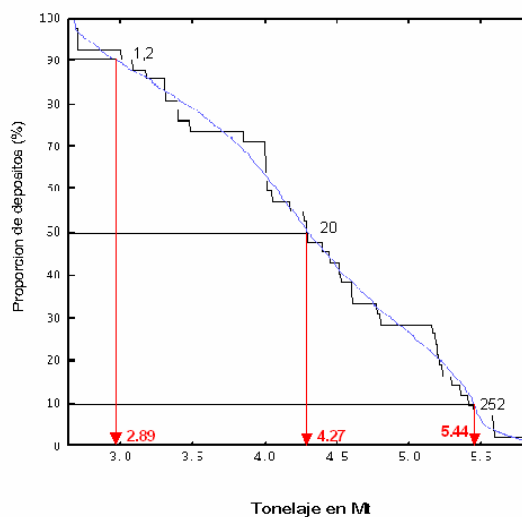


Figura 1. Valores de tonelajes transformados logarítmicamente a base 10. Los valores 2.89, 4.27 y 5.44 corresponden a 1.2 ,20 y 252 Mt respectivamente.

El modelo de Ley obtenido es la curva que se presenta en la figura 2.

Ley

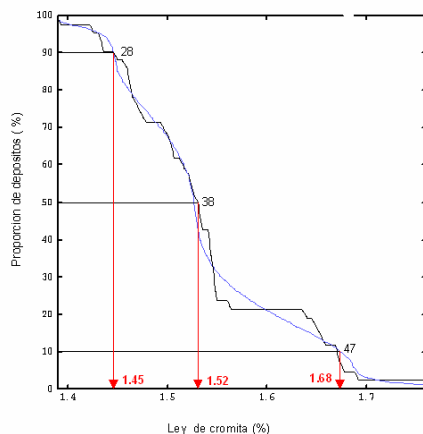


Figura 2. Los valores de ley están transformados logarítmicamente a base 10. Los valores 1.45, 1.52 y 1.68 corresponden a 28 ,38 y 47 % respectivamente.

Modelo de probabilidad de ocurrencia.

De la aplicación de la metodología de las TRES PARTES, resultó el modelo de probabilidad de ocurrencia de los depósitos de cromita en la FOMB. Esto se logra empleando el modelo de ley-tonelaje, ya que este mismo se emplea como modelo para los depósitos no conocidos que ocurre en un marco geológico similar. Los estimados de los tonelajes a los percentiles 90,50 y 10 son 1.2 ,20 y 252 mil tonelajes respectivamente; mientras que los de la ley a estos percentiles son 28, 38 y 47 respectivamente. (ver figuras 1 y 2).

Luego de realizado en paso anterior se procede a la estimación de un número fijo, pero no conocido, de depósitos de cromitas que existe en las áreas delimitadas. Vale destacar que no existen métodos únicos para hacer estimaciones del número de depósitos no conocidos. En algunas situaciones, es posible considerar las densidades de depósitos como la probabilidad de que un depósito ocurre dentro de un área dada (por ejemplo un kilómetro cuadrado). No aplicamos este procedimiento aquí porque requiere la asunción de que pueda haber uno y solo un depósito en un área dada. En este trabajo se hace la estimación del número de depósitos empleando el gráfico que se muestra en la figura 3.

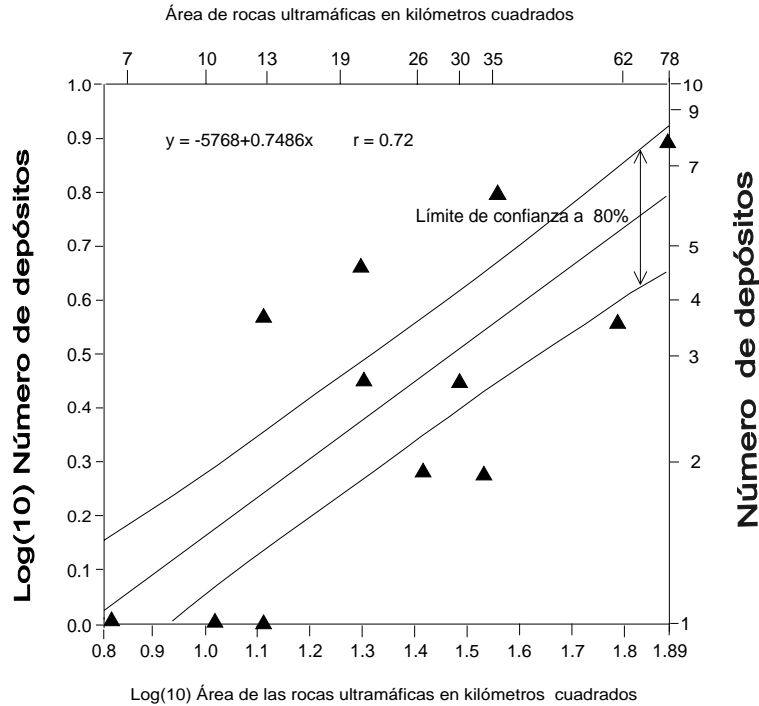


Figura 3. Numero de depósitos de cromitas en 12 áreas delimitadas (Figura 10A) en la FOMB versus el área de rocas ultramáficas con la línea de regresión y los límites de 80 % de confianza para puntos individuales.

La Figura 3 muestra una clara relación positiva entre la cantidad de depósitos y el área de las rocas ultramáficas. Se puede hacer los estimados de depósitos de cromitas usando el logaritmo del área de las rocas ultramáficas en el eje x, el límite inferior, línea de regresión y el límite superior. Desde el eje x hasta:

1. el límite inferior : estimado de número de depósitos a 90%
2. la línea de regresión: estimado de número de depósitos a 50%
3. el límite superior: estimado de número de depósitos a 10 %

El coeficiente de correlación es distinto a 1 ($r=0.72$), así como la pendiente de la línea de regresión ($b= 0.7486$). Una pendiente de 1 significaría que al doblar el área permisible, el número de estimados de depósitos también se doblará; o sea, la razón de los números de depósitos contra el tamaño del área permisible sería independiente del tamaño del área permisible. Así, si la pendiente se iguala a 1, entonces la razón de los números de depósitos contra el tamaño del área permisible provee un estimado no prejuiciado para cualquier área dada. El hecho de que la pendiente es distinta a uno significa que hay un prejuicio en la estimación del número de depósitos. El anexo 4 muestra los datos utilizados para la construcción de la figura 12.

CONCLUSIONES

- Se crea un instrumento metodológico para la sistematización de la información geológica sobre los depósitos minerales de cromitas asociadas a la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa de Cuba que permite la confección de los modelos descriptivos y de ley-tonelaje para la estimación de depósitos cromíticos, los cuales se utilizan en la actualidad para la prospección, exploración y evaluación del potencial mineral de los territorios.

- Se generaliza la información geológica relacionada con la formación de los yacimientos de cromitas asociados a los complejos ofiolíticos, su evaluación cuantitativa y estimación de depósitos de cromitas no conocidos y la modelación de yacimientos mineral.
- La aplicación de la metodología de la modelación de yacimientos que se expone en este trabajo permite la presentación por primera vez en Cuba, de tres modelos de yacimientos de cromitas asociados a los complejos ofiolíticos: uno descriptivo, uno de ley-tonelaje y uno de probabilidad de ocurrencia que pueden contribuir a incrementar la eficiencia de los trabajos mineros mediante una mejor delimitación y evaluación geólogo-económica de las concesiones mineras, lo que repercute en un mejor aprovechamiento de nuestras reservas de minerales cromita.
- Se entrega una monografía de utilidad para el estudio y consulta por los estudiantes de Geología y carreras afines de la Educación Superior que contribuye al incremento de la calidad en la formación del profesional mediante su introducción en los contenidos de las asignaturas vinculadas con el estudio de los recursos minerales sólidos tanto metálicos como no metálicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Boudier, F. y Nicolás, A. (1985). Harburgites and Iherzolite subtypes in ophiolitic and oceanic environments. *Earth Planet. Sci. Letters*, 76, 84-92.
- Cox, D.P. and Singer, D.A. (1986): Mineral deposit models. U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 379 p.
- Chris, A. (1996): Podiform Chromite, in *Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 2 - Metallic Deposits*, Lefebvre, D.V. and Høy, T, Editors, British Columbia Ministry of Employment and Investment, Open File 1996-13, pages 109-112.
- Grunsky, E.C., Massey, N.W.D., and Kilby, W.E. (1994): Mineral Resource Assessment in British Columbia, The Mineral Potential Project; *Nonrenewable Resources*, Volume 3, Number 4, pages 271-283.
- Harris, D.P. (1984): Mineral Resources Appraisal, Mineral Endowment, Resources and Potential Supply: Concepts, Methods, and Cases; *Oxford Geological Sciences Series*, 445 pages.
- Hill, R., Roedor, P. (1974). The crystallization of spinel from basaltic liquid as a function of oxygen fugacity. *Journal of Geology*, 82, 709-729.
- Kilby, W.E. (1995): The Mineral Potential Project: An Overview; *B.C. Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources*, in *Geological Fieldwork 1994*, Grant, B. and Newell, J.M., Editors, Paper 1995-1, this volume.
- Leblanc, M. y Nicolás, A. (1992). Les chromitites ophiolitiques. *Chronique de Recherche Minière*, 507, 3-25.
- Pearce
- Proenza, J.A., Gervilla, F., Melgarejo, J.C. Revé, D. y Rodríguez, G. (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*, v. 33, no. 1-4, p.179-212.
- Robert, S. (1988). Ophiolitic chromitite formation: a marginal basin phenomenon?. *Economic Geology*, 83, 1034-1036.
- Singer, D.A., Orris, G.J. (1994): Quantitative Estimation of Undiscovered Mineral and Industrial Mineral Resources, Workshop, *International Association for Mathematical Geology*, Annual Meeting, Mont Tremblant, Quebec.
- Singer, D.A. (1993): Basic Concepts in Three-part Quantitative Assessments of Undiscovered Mineral Resources; *Nonrenewable Resources*, Volume 2, Number 2, pages 69-81.
- (Singer y Kouda, 1999). Falta en la tesis de Tendai

SISTEMA VETÍTICO JACINTO: IMPORTANTE PROSPECTO PARA ORO

Enrique Piñero Pérez

Empresa Geominera Camagüey. Carretera Central Km 5 ½, Camagüey

RESUMEN

El Sistema de Vetas Jacinto es un depósito de oro epitermal de baja sulfidación, adularia-sericita. Desarrollado en rocas volcánicas y volcanoclásticas de la formación Camujiro de edad K_2^{cm-t} situadas a lo largo del borde del batolito Camagüeyano. Es inusualmente antiguo y mucho más cercano en asociación con el batolito de lo que hubiera sido esperado para un depósito de este tipo en un arco de islas.

Incluye 10 Vetas de las cuales con el grado de estudio actual al menos tres alcanzan en largo hasta 700 m, tienen un ancho máximo aproximado de 40m y se extienden hasta una profundidad al menos hasta 170m. Las vetas consisten casi enteramente de cuarzo, con cantidades menores de adularia, calcita (comúnmente laminar), pirita y oro. La alteración de las rocas encajantes es limitada y consiste en poco feldespato de K y sericita. Análisis de isótopos estables de cuarzo, calcita e inclusiones fluidas indican que las vetas fueron depositadas por aguas con valores de $\delta^{18}D$ y δD que se distribuyen desde valores justo por encima a aquellas de aguas magmáticas a aquellos típicos de aguas meteóricas del Cretácico. Los análisis $^{40}Ar - ^{39}Ar$ de adularia indican una edad sobre 72 Ma para la mineralización y las relaciones geológicas sugieren que el sistema de vetas está relacionado con los flujos y domos de riolitas pertenecientes a la formación La Sierra de aproximadamente esa misma edad. (K_2^{cp}).

Conociendo además que como resultado de un estudio de Prefactibilidad realizado en octubre de 1999, sin concluir los estudios de la etapa de exploración, se obtuvo que este sistema de Vetas Jacinto en sus tres vetas mejores estudiadas (Beatriz, El Limón Nuevo y Sur de Elena) contiene unas 335 mil onzas troy de Au con un contenido de 7.64 g/t, sin eliminar las pocas muestras con valores altos de contenidos de oro y que con el tratamiento de estas muestras se alcanza 260 mil onzas troy con un contenido de 5.9 g/t de Au. Señalando por último el precio que ha asumido el Oro en estos tiempos y su perspectiva de continuar en ascenso es que el Sistema Vetítico Jacinto resulta en este momento un importante prospecto para oro a tener en cuenta.

ABSTRACT

The Jacinto vein system is a low-sulfidation, adularia-sericite epithermal gold deposit. It is hosted by volcanic and volcanoclastic rocks of Cretaceous age along the margin of the Camagüey batholith. Jacinto is unusually old and much more closely associated with a large batholith than would be expected for an epithermal vein deposit in an island arc.

The Jacinto system includes at least ten veins that range in length up to 700 m, have maximum widths of 40m, and extend to depths of at least 170m. The veins consist almost entirely of quartz, with minor amounts of adularia, calcite (commonly bladed), pyrite, and gold. Wall-rock alteration is limited and consisted of minor K feldspar and sericite. Stable isotope analyses of quartz, calcite, and inclusion fluids indicate that the veins were deposited by waters with $\delta^{18}D$ and δD values that range from values just above those of magmatic water to those typical of Cretaceous meteoric water.

$^{40}Ar - ^{39}Ar$ analyses of adularia in the Jacinto veins indicate an age of about 72 Ma for mineralization and geologic relationships suggest that the vein system is related to La Sierra rhyolite flows and domes of that approximate age (K_2^{cp}).

Also knowing that as a result of a Pre-Feasibility Study carried out in October of 1999, without concluding the studies of the exploration stage, it was obtained this Jacinto Vein System in their better studied three veins (Beatriz, El Limón Nuevo and Sur de Elena) it contains some 335 thousand ounces troy of Au with a content of 7.64 g/t, without eliminating the few samples with high values of contents of gold and that with the treatment of these samples it reached 260 thousand ounces troy with a content of 5.9 g/t of Au. Pointing out lastly, the price has assumed the Gold in these times and their perspective of continuing in ascent makes is that the Jacinto vein system is an important prospect at this time for gold to keep in mind.

INTRODUCCIÓN

El sistema de Vetas Jacinto es un depósito de oro epitermal del tipo de baja sulfuración, adularia-sericita. El mismo se halla en rocas volcánicas y volcanoclásticas de edad Cretácica situadas a lo largo del borde del batolito Camagüeyano. Jacinto es inusualmente antiguo y mucho más cercano en asociación con el batolito de lo que pudiera esperarse para un depósito epitermal de tipo venífero en un arco de islas.

El sistema Jacinto incluye al menos tres vetas que alcanzan una longitud de hasta 700 m, tienen un ancho máximo aproximado de 40m y se extienden en la profundidad al menos hasta 170m. Las vetas consisten casi enteramente de cuarzo, con cantidades menores de adularia, calcita (comúnmente laminar), pirita y oro. El cuarzo forma al menos 20 zonas de crecimiento que pueden ser divididas en cinco estadios principales y pueden ser correlacionadas de una veta a otra. Las acumulaciones de oro están restringidas verticalmente y son más continuas horizontalmente. Su presente configuración sugiere que todo el sistema ha sido inclinado sobre 5° hacia el NE. La alteración de las rocas encajantes es limitada y consiste en poco feldespato potásico y sericita. Las inclusiones fluidas en las vetas de cuarzo se homogenizaron a temperatura de 200° a 320° C y se congelaron a temperaturas características de salinidad de 0 a 1 % de peso de equivalente del C/Na. La presencia de calcita laminar y sílice pseudomórfica por calcita laminar sugiere que los fluidos hidrotermales ebulleron. Análisis de isótopos estables e inclusiones fluidas en cuarzo y calcita indican que las vetas fueron depositadas por aguas con valores de $\delta^{18}\text{D}$ y δD que se distribuyen desde valores justo por encima a aquellos de aguas magmáticas a aquellos típicos de aguas meteóricas del Cretácico. Los análisis $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ de adularia en las vetas Jacinto indican una edad sobre 72 Ma para la mineralización y las relaciones geológicas sugieren que el sistema de vetas está relacionado con los flujos y domos de riolitas pertenecientes a la Formación La Sierra de aproximadamente esa misma edad. Las riolitas La Sierra fueron extruídas sobre una superficie de erosión que expuso al batolito Camagüey y sus rocas volcánicas relacionadas, indicando que la velocidad de erosión era relativamente rápida, inmediatamente antes de la formación del depósito. Muy pronto después de haberse formado el depósito, sin embargo, este fue inclinado y luego cubierto por sedimentos del Cretácico Tardío al Eoceno, los cuales han sido erosionados para exponer al sistema hoy en día. Esta fortuita secuencia de vulcanismo, emplazamiento del batolito, rápida erosión hasta los niveles profundos del batolito, la extrusión de riolitas y sedimentación local parece ser el resultado de la colisión entre el arco cubano y la plataforma de Las Bahamas. Similares colisiones entre arcos y masas continentales pueden haber formado otros depósitos epitermales en la región con potencial aurífero similar a Jacinto.

Con el presente trabajo pretendemos brindar la información necesaria que avale la perspectiva del Prospecto Jacinto en la actualidad. Pues contamos con un gran volumen de datos altamente confiables, que nos permiten la realización de la caracterización geológica del Sistema Vetítico Jacinto y evaluar el potencial aurífero de las vetas Beatriz, Sur de Elena y El Limón Nuevo, que hoy cuentan con un grado de estudio que permite la realización de esta tarea. Además de definir futuros trabajos complementarios que argumentan la propuesta de inversiones para su explotación (construcción de una planta beneficiadora), lo que contribuirá al desarrollo económico de la provincia y del territorio nacional.

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se realizó utilizando los resultados de de exploración y reconocimiento geológico a riesgo llevadas a cabo por la Asociación Geológica Internacional Geominera – Carib Gold SA entre los años 1996-2001. Además de apoyarnos en la información generada por las investigaciones geológicas regionales a escala 1:50000 en la provincia de Camagüey realizadas entre los años 1980- 1992 por la Empresa Geominera Camagüey y la colaboración Alemana en las cuales el autor tuvo una participación determinante. También se utilizó información en línea acerca del comportamiento del mercado del oro y sus tendencias.

A continuación señalamos los métodos que nos permitieron alcanzar el grado de estudio para la realización del presente trabajo y mostramos un breve resumen de estos:

Caracterización mineralógica de las menas y gangas. Paragénesis y zonación.

La mineralogía de las menas del Sistema Vetítico Jacinto es simple. Consisten principalmente de electrum y pirita, menos calcopirita, esfalerita, galena y telururos de oro-plata. Los minerales de ganga están representados por cuarzo microcristalino a finamente granudo, calcita, adularia y menos yeso. Estos minerales muestran cierta zonación, con adularia en los bordes de las venas, calcita a través de las venas y sulfuros de metales base en los fragmentos de las rocas encajantes en la veta Beatriz en profundidad

Los telururos fueron observados solo en La Ceiba e incluyen hessita (Ag_2Te), petzita (Ag_3AuTe_2) y silvanita ($(\text{Au}, \text{Ag})_2\text{Te}_4$) con pirita, en una ganga de cuarzo, adularia y calcita La relación Au/Ag es mayor que 1 para todas las vetas del Sistema Vetítico Jacinto, excepto La Ceiba y oscila desde 1.4/1 en la veta Beatriz hasta 2.3/1 en la veta Sur de Elena. En la veta La Ceiba la relación Au/Ag varía desde 1/10 hasta 1/20

Relación espacial de las etapas de formación de las vetas.

La correlación de las texturas de veta a veta permite conocer la historia de las corrientes fluidas a través del Sistema Vetítico Jacinto. El cuarzo formó al menos 20 zonas de crecimiento que pueden ser divididas en cinco estadios principales y pueden ser correlacionadas de una veta a otra. Las acumulaciones de oro están restringidas verticalmente y son más continuas horizontalmente Durante la Etapa I, las vetas Sur de Elena y Beatriz se encontraban abiertas, así como otras dos vetas El Limón Nuevo y La Ceiba. En el inicio de la Etapa II la veta Sur de Elena aparentemente se cerró, mientras que El Limón Nuevo, Beatriz y La Ceiba permanecieron abiertas, sugiriendo un cambio hacia este sistema. La veta restante, Beatriz, aparentemente se cerró al final de la Etapa II, Subetapa 5, más o menos al mismo tiempo que la cercana veta Elena se abrió, sugiriendo un posterior cambio hacia el campo de estrés regional que favoreció el sistema de vetas. La veta Elena aparentemente cerró antes de la deposición de los conjuntos contenedores de adularia al final de la Etapa II, cuando solo veta El Limón Nuevo se mantuvo abierta, con todas las otras vetas aparentemente selladas. Durante la fase contenedora de Au de la Etapa III todas las vetas aparentemente se abrieron de nuevo. La Etapa IV, estéril, es muy débilmente desarrollada y fue observada solo en las vetas Sur de Elena y El Limón Nuevo. La Etapa V de mineralización, también estéril, fue observada solo en las vetas Beatriz, Sur de Elena y El Limón Nuevo, sugiriendo que las vetas Elena y La Ceiba estaban cerradas en esa época.

Alteración de las rocas de caja.

La roca encajante de la veta Beatriz contiene sericita, cuarzo y pirita cortada por adularia y cuarzo cerca de la salbanda de la veta. Un conjunto similar de illita –sericita –cuarzo sin pirita (la cual ha sido removida por la oxidación e intemperismo) cubre un área de aproximadamente 2 x 1 Km. en

la elevación Jacinto, sugiriendo que este tipo de alteración se incrementa en extensión hacia arriba en el sistema, si la elevación es parte del mismo sistema hidrotermal. Fuera de la zona de illita - sericita hay conjuntos propilíticos en los cuales la plagioclasa se ha alterado a clorita, albita y calcita y el anfíbol y piroxeno se han alterado a clorita. La extensión de la alteración propilítica fuera del área general de Jacinto no fue determinada debido a la ausencia de afloramientos no intemperizados y es posible que esta sea una alteración regional de bajo grado no relacionada al sistema hidrotermal.

Cerca de las vetas, sin embargo, el conjunto propilitizado contiene localmente grandes cantidades de calcita, la cual es claramente parte de la zona de alteración hidrotermal. , la cual muestra composición de elementos mayores de las rocas encajantes cerca de la veta Sur de Elena, confirmando que las vetas no tienen aureola bien desarrollada cercana a sus salbandas. Excepto por una débil adición de calcita, no hay cambios significativos observables en los contenidos de K, Al o Mg en las rocas encajantes en la proximidad de las vetas.

Caracterización geoquímica. Datos de las inclusiones fluidas (i.f.).

Las mediciones de las inclusiones fluidas fueron usadas para estimar las temperaturas de la formación de las vetas del Sistema Vetítico Jacinto. Fueron examinadas placas doblemente pulidas de todas las vetas para localizar y clasificar las i.f. mayormente el material vetífero consistió de cuarzo criptocristalino a muy fino granular. La ausencia de i.f que pudieran ser usadas para homogenización o congelamiento de mediciones de temperatura es una característica común para depósitos de este tipo (bodnar et al, 1985). Inclusiones fluidas analizables fueron observadas en cuarzo de granulometría gruesa y en calcita, algunas de ellas estaban directamente asociadas con el oro. Estas inclusiones con tamaño entre 2 y 10 mm de diámetro, fueron encontradas como inclusiones solitarias, posiblemente de origen primario, o colocadas a lo largo de planos de corte de los minerales huésped. La mayoría de las inclusiones consistieron en líquidos con un pequeño volumen de vapor (L+V) o menos común, inclusiones secas de vapor, las cuales se asumió que contenían muy pequeñas cantidades de líquido (V+L). En algunos casos, los dos tipos de inclusiones aparecían coexistiendo en un mismo grupo de i.f. En unas pocas muestras fue visto un último tipo de inclusión que contiene solo líquido (l). Estas inclusiones comúnmente fueron parte de grupos de i.f. que tenían un amplio rango de relación líquido/vapor y que pudieron ser el resultado del centro de inclusiones de L+V.

Las temperaturas de homogenización para todas las inclusiones (L+V) del Sistema Vetítico Jacinto están en el orden de aproximadamente 200° a 320° C y las temperaturas de congelamiento en el orden desde casi 0° a -0.6° C. No se observaron inclusiones ricas en CO₂ en las inclusiones fluidas analizadas. Basado en los datos de Potter et al. (1978), estas temperaturas de congelación corresponden a salinidades de aproximadamente 0 a 1% de peso de un equivalente del ClNa. Los datos muestran diferencias significativas para el cuarzo y/o calcita de diferentes capas en las vetas crustiformes. También fluidos con baja salinidad generalmente tienen temperaturas bajas de homogenización, como si los fluidos de las vetas consistieran de una mezcla de fluidos de baja temperatura, baja salinidad y fluidos de alta salinidad y alta temperatura

Datos de isótopos estables.

La composición de isótopos estables fue determinada en calcita y cuarzo de las vetas ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) e inclusiones fluidas de Jacinto (δD). Mediciones en calcita fueron llevadas a cabo en el laboratorio de isótopos estables de la Universidad de Michigan. El CO₂ fue liberado de la calcita por reacciones con el H₃PO₄ a 70° C en el aparato automatizado de Kiel y sus isótopos de

composición Carbón y Oxígeno fueron medidos en un espectrómetro de masa Finningan MAT 251. Los resultados de los análisis de isótopos estables fueron reportados relativos a PDB (Peeder Belemnite) para carbón y SMOW (valor estándar para el agua de mar) para oxígeno. El error estándar de las mediciones totales de las rocas basadas en réplicas de 10 análisis, es más o menos igual que ± 0.2 por mil para valores de $\delta^{13}\text{C}$ y menor que ± 0.15 por mil para valores de $\delta^{18}\text{O}$.

Las mediciones de cuarzo e i.f. fueron llevadas a cabo en el laboratorio de isótopos estables de la Universidad de Queens (Kingston, Ontario) bajo la supervisión de T. K. Kyser. Las composiciones de isótopos de oxígeno de agua en equilibrio con la calcita y el cuarzo fueron calculadas utilizando los datos de fraccionamiento de O'Neil et al. (1969) y Matsuhisa et al. (1979), respectivamente, para temperaturas de 250° a 300° C. Todo lo cual indican que las vetas fueron depositadas por aguas con valores de $\delta^{18}\text{D}$ y δD que se distribuyen desde valores justo por encima a aquellas de aguas magmáticas a aquellos típicos de aguas meteóricas del Cretácico

Edad de la mineralización

La edad del Sistema Vetítico Jacinto fue determinada por las mediciones de ^{40}Ar - ^{39}Ar en adularia del II estadio en la veta El Limón Nuevo. Todos los análisis fueron llevados a cabo por la técnica de encapsulación al vacío (Dong et al., 1995; Hall et al., 1997) para minimizar el rebote del ^{39}Ar durante la irradiación. Para comprobar el exceso de ^{40}Ar en las inclusiones fluidas, las muestras fueron corridas tanto en pequeñas astillas como en polvo molido con una expectativa de molienda que permitiera la pérdida de la mayoría de las inclusiones fluidas. Siguiendo a Dong et al. 1995 también presentamos la edad de retención del Argón, la edad calculada del gas queda retenida en la muestra durante las irradiaciones, las inclusiones fluidas no fueron perdidas debido a 2σ de rebote. Como resultado se obtuvo que los análisis ^{40}Ar – ^{39}Ar de adularia indican una edad sobre 72 Ma para la mineralización y las relaciones geológicas sugieren que el sistema de vetas está relacionado con los flujos y domos de riolitas pertenecientes a la formación La Sierra de aproximadamente esa misma edad. (K_2^{cp}).

Determinación del peso volumétrico.

En estimaciones anteriores se incorporaron pesos volumétricos que oscilan desde 2.3 a 2.6 producto a que las muestras anteriores del material mineralizado estaban fracturadas, debido a fracturas abiertas u otras características texturales, las cuales podrían disminuir las densidades volumétricas. Con la introducción en la perforación del triple tubo que trajo consigo una mejor recuperación del testigo, se lograron las condiciones para un mejor examen visual. Es evidente que, aunque el material mineralizado esta fracturado, hay muy pocos espacios abiertos, quizás 1-2 %, debido a ocasionales secciones porosas, no obstante recolectar muestras para pruebas de peso volumétrico en testigo con cera es problemático, ya que el testigo comúnmente se mueve y se parte durante el traslado de las cajas de testigo.

Las determinaciones de peso volumétrico fueron hechas en las muestras compósitas usadas para las pruebas a columna de la veta Sur de Elena. Las mediciones de gravedad específica con el picnómetro fueron efectuadas en cada una de las 23 muestras de las futuras columnas que comprendían las muestras compósitas para las vetas El Limón Nuevo y Beatriz). El promedio de peso volumétrico de las muestras de las vetas Beatriz y El Limón Nuevo fue de 2.74 y 2.68 respectivamente. No obstante, debido a la existencia de espacios abiertos, seria razonable una ligera reducción del valor de la densidad volumétrica hasta 2.6 para ser usada.

Chequeo de los resultados analíticos.

El presente estimado de los recursos minerales es basado en aproximadamente 340 muestras de testigo de perforación con diamante de las vetas Beatriz, El Limón Nuevo y Sur de Elena. Los contenidos de oro están asociados fundamentalmente con las vetas de cuarzo, cuarzo-calcita y zonas de fuerte silicificación. Los fragmentos compactos de los testigos de las zonas mineralizadas son divididos por equipos mecánicos tipo WHEEL para partir testigos. El testigo fracturado, que predomina, es dividido manualmente. La longitud del muestreo se determinó por los contactos geológicos. Las muestras fueron envasadas y enviadas al laboratorio LACEMI de preparación de muestras en La HABANA, que es una subsidiaria de los laboratorios CHEMEX. Aquí, después de los procedimientos de trituración y pulverización, las muestras fueron pesadas y secadas. Las muestras húmedas y secadas son pesadas y registradas. Un triturador de mandíbulas AT reduce las muestras hasta un 70% (- 2 mm). Ocasionalmente, las muestras duras requieren una trituración primaria hasta 10mm. Para evitar la contaminación los trituradores son limpiados con aire comprimido después de cada muestra. Las muestras son cuarteadas con un cuarteador JONES, pesadas y vueltas a secar. Seguidamente se realiza la reducción de tamaño por un pulverizador de anillo TM hasta 150 mallas. El pulverizador es limpiado después de cada muestra con arena sílice. Del cuarteo se obtienen dos porciones de pulpa de 100 gramos de peso, una es almacenada en La Habana y la otra enviada a los laboratorios CHEMEX en VANCOUVER para la determinación de Au y Ag por ensayos al fuego.

La estimación de los recursos minerales es muy sensible a la confiabilidad y representatividad de los altos contenidos de oro. Por ejemplo, en la veta Beatriz cerca del 50% de los contenidos de oro no son mayores de 50g/t, similarmente en la veta El Limón Nuevo aproximadamente el 50% de los contenidos de oro en ensayos es mayor de 22 g/t. Por tanto el programa de muestreo fue enfocado al chequeo de la repetitividad de los contenidos altos de oro de 37 muestras tomadas de la mitad de los testigos, 25 de ellas eran de la veta Beatriz y 12 de la veta El Limón Nuevo. Estas muestras fueron tomadas, empaquetadas y enviadas a los laboratorios LAKEFIELD para análisis de oro. Los contenidos de oro previamente determinados en 20 de las 37 muestras tomadas estaban por encima de los 10g/t.

No fueron coleccionadas muestras de la veta Sur de Elena puesto que aquí todas las muestras de los testigos fueron requeridas para las pruebas metalúrgicas.

Antes del arribo a LAKEFIELD, cada muestra envasada fue inspeccionada y no se detectó ningún tipo de contaminación. Las muestras fueron analizadas para oro por método de ensayo al fuego usando 10 gramos de material. No era objetivo del proyecto analizar muestras para plata.

La correlación entre los valores medios de los dos conjuntos de datos de las muestras de CARIB GOLD y SGM son de 29.9 g/t y 29.06g/t respectivamente, con un 3% de diferencia.

Simultáneamente, si los valores por encima de 44g/t son cortados hasta 44g/t, reflejados en los análisis estadísticos de las bases de datos usadas para la estimación de los recursos, los valores medios son de 18.20g/t y 17.54g/t de oro respectivamente, igualmente con 3% de diferencia.

Basándose en la buena correlación entre los dos conjuntos de datos podemos afirmar que el procedimiento de muestreo de los testigos fue efectivo y el resultado no es distorsionado. Esto también sugiere que los altos contenidos de oro se deben a las partículas finas de oro diseminadas y no a la presencia de pepitas gruesas de oro. No obstante CARIB GOLD considero que a pesar de los buenos resultados obtenidos sería conveniente que las muestras para ensayo al fuego tuvieran un peso de 30 gramos.

Estudios metalúrgicos y sus resultados.

Los ensayos metalúrgicos preliminares realizados en LAKEFIELD en enero de 1998 indicaron que el oro es tratable por medio de la lixiviación con cianuro. Los valores de la recuperación total del

oro en prueba de gravedad y cianuración en Beatriz y Sur de Elena fueron de 91.9 % y 95.7 % respectivamente. (Resultados de la Prueba de Botella).

Un estudio de prefactibilidad realizado por Spiteri Geological Mining Consultants Inc. (SGM) en marzo de 1998 determinó que la economía del proyecto era sensible a la recuperación metalúrgica. Consecuentemente en febrero de 1999 SGM recogió muestras separadas de las vetas Beatriz, El Limón Nuevo y Sur de Elena para pruebas de lixiviación a columna y gravedad específica para LAKEFIELD. El testigo de perforación sin cortar (diámetro 47mm) fue considerado un medio ideal para las muestras metalúrgicas ya que ellas darían las características requeridas de tamaño y rango, además de que el costo de la perforación es relativamente bajo.

Con el fin de asegurar suficiente material para las pruebas de columna, así como posibles pruebas de botella, aglomeración y otros ensayos se necesitaban aproximadamente 50 Kg por zona. El proceso de la recolección de las muestras metalúrgicas en el campo estuvo basado en un examen visual, sin ayuda de la información de los análisis. Por tanto la toma de una muestra grande facilitaba el componer la muestra basada en posteriores análisis, las perforaciones fueron planificadas para intersectar los horizontes mineralizados en varias profundidades a lo largo del rumbo y en ocasiones también servirían como pozos de definición.

Para la Zona Sur de Elena no se realizaron perforaciones con diamante durante este tiempo de toma de muestra metalúrgica. Por tanto para la prueba metalúrgica fue tomado el testigo partido que quedaba de anteriores perforaciones (aproximadamente 30kg).

En la Zona El Limón Nuevo los primeros dos pozos de los tres planificados CB-56 y CB-57 intersectaron 7.3m y 9.25m respectivamente de mineralización basado en el examen visual. Sin embargo, el tercer pozo CB-58 cortó el horizonte favorable, pero visualmente la mineralización parecía débil. Por lo tanto fue perforado un cuarto pozo CB-64 y saco 1.95m de testigo mineralizado. En la Zona Beatriz las perforaciones se realizaron similarmente, pero las muestras metalúrgicas fueron tomadas solamente de tres pozos: CB-60, CB-61, CB-63. Las muestras fueron enviadas a LAKEFIELD para ensayos metalúrgicos.

Los pozos de Beatriz y El Limón Nuevo fueron también utilizados para cubrir los datos de perforación y peso volumétrico. Por lo tanto la preparación de las muestras fue ligeramente diferente que la de las muestras de Sur de Elena. A continuación se presenta una breve descripción de la metodología de preparación de las muestras:

Sur de Elena

- ✚ Mezcla de todas las muestras, molienda a ½ pulgada y tamizaje a fracciones de tamaño estándar. Peso y análisis docimástico de oro para cada fracción.
- ✚ Prueba de percolación para determinar si es necesaria la aglomeración.
- ✚ Aglomeración, en dependencia de los resultados de la percolación.
- ✚ Ensayo de gravedad específica para la muestra de cabeza.
- ✚ Ensayo a columna de 4 pulgadas.
- ✚ Ensayo para licuar por lixiviación y carbón después de 2 y 7 días y cada semana posterior hasta que se determinara si la lixiviación es eficazmente completa
- ✚ Tamizaje y análisis docimástico para cada tamaño de fracción para oro para determinar la recuperación contra el tamaño de la partícula.

Beatriz y El Limón Nuevo.

- ✚ Molienda de las muestras individuales a ½ pulgada y pesaje.
- ✚ Separar el 25%, por peso, de cada muestra individual para análisis docimástico de oro y prueba de gravedad específica.

- ✚ Preparar un compósito basado en la relación de peso de las muestras.
- ✚ Mezcla de todas las muestras y tamizaje a fracciones de tamaño estándar. Peso y análisis docimástico de oro para cada fracción.

Las muestras individuales fueron molidas a menos de ½ pulgada, pesadas y cuarteadas en 25% por peso para análisis docimástico y prueba de gravedad específica. Ellas fueron combinadas aproximadamente para el contenido medio no cortado (uncut) de cada zona. La muestra de cabeza fue realizada en mesa de concentración para análisis de oro por tamaño. Ensayos de filtración fueron llevados a cabo para determinar si la aglomeración era necesaria. Se agregó cemento a las muestras de Beatriz, El Limón Nuevo y Sur de Elena, 7kg/t, 5kg/t y 3kg/t respectivamente, además fue añadida cal a cada muestra en cantidad de 0.5 kg/t.

Las muestras aglomeradas llenaron columnas o tubos de 4 pulgadas y fueron lixiviadas con solución de NaCN. Muestras de esta solución fueron tomadas después de 2 días y semanalmente para análisis de Au. Después de 115 días las muestras fueron sacadas y pasadas por una mesa de concentración para análisis por tamaño de las partículas y determinación de la recuperación del oro relacionada con el tamaño de las partículas.

Después de 115 días lixiviando, la recuperación del oro en Beatriz, El Limón Nuevo y Sur de Elena fue de 78.4%, 66%, y 46.2% respectivamente. Aproximadamente la mitad de la recuperación fue alcanzada en las primeras dos semanas de la lixiviación.

Los resultados sugieren realizar la molienda a menos de 3/8 pulgadas (9.53mm). Lo que podría incrementar la recuperación del oro en un 81%, 76% y 50% respectivamente, representando a una media de 75 %, pesadas por contenido en onzas de oro.

El costo de alcanzar aproximadamente el 95 % de recuperación de Au por medio de molienda, gravedad y cianuración era probablemente prohibitivo. Por lo tanto la combinación óptima de costo y recuperación es moler a menos de 3/8 pulgadas, realizar aglomeración y lixiviación en pilas con un estimado de recuperación de 72%. El 75% de recuperación estimada asequible en las columnas fue reducida en 3% a 72% para simular los resultados actuales operativos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ubicación geográfica del Sistema Vetítico Jacinto

Sistema Vetítico Jacinto se encuentra ubicado inmediatamente al este de la Loma Jacinto, en la provincia de Camagüey, hoja topográfica Cascorro 4479-IV, escala 1:50000, delimitada por las siguientes coordenadas en el sistema Cuba - Sur

Vértice	Norte	Este
I	290 400	445 200
II	290 400	449 000
III	288 600	449 000
IV	288 600	445 200

El área de pertenece al Consejo Popular El Caimito del municipio Guáimaro. Dentro de ella no existen centros poblacionales grandes, solo se localizan de manera dispersa 6 núcleos familiares. En los alrededores los poblados más significativos y que se encuentran bastante distantes son: Cascorro a 13 km al SW, Guáimaro, poblado cabecera del municipio, a 13 km al sur y los poblados secundarios Palo Seco situado 16 km y San Miguel a 18 km al norte. Los asentamientos poblacionales más cercanos son la comunidad de San Pablo, El Caimito y la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) Joaquín de Agüero, la cual es la más cercana encontrándose a 3

km hacia el norte.

Presenta un relieve de tipo denudativo perteneciente al complejo morfogenético de amplias poligenéticas caracterizadas por un relieve de colinas profundamente diseccionadas. Las pendientes fundamentales son de 16-30 grados y con menos frecuencia de 3-5-6 grados, lo que describe a una llanura ondulada hasta premontañosa formada por elevaciones con cimas planas y puntiagudas indistintamente que alcanzan los 68.30 metros sobre el nivel del mar.

Por su ubicación geográfica la zona presenta una amplia oscilación térmica y el desarrollo de una línea de convergencia de nubes altas y frecuencia de tormentas eléctricas locales. La amplitud térmica mensual tiene sus mayores valores en los meses de marzo y abril y la anual media es de 10.5°C. Recibe una insolación media diaria entre 8 a 9.5 horas. La temperatura media anual es de 30.5°C y la mínima media de 18.5°C, cerca de esta localidad, en Palo Seco, se registró la temperatura media anual más baja de la provincia con 24.3°C, el registro máximo de temperatura media mensual corresponde al mes de agosto con 33.0°C y el mínimo a enero con 17.5°C. En enero de 1999 se registró la temperatura mínima absoluta de 8°C y la máxima absoluta en abril del 1999 con un valor de 38.2°C. La radiación solar global recibida registra una media anual de 16.6kcal/cm².

Las vías de acceso fundamentales las constituyen por el norte la carretera que une la ciudad de Camagüey con la playa de Santa Lucía, por el sur la Carretera Central y la carretera que enlaza a Guáimaro con el pueblo de San Miguel, esta última atraviesa la zona de estudio de sur a norte por el extremo este. A partir de la carretera Guáimaro – San Miguel nacen terraplenes y caminos que permiten el acceso a cualquier parte del área. A lo largo de esta carretera corre la línea de alta tensión que enlaza a Nuevitas con Guáimaro.

Caracterización geólogo-tectónica del Sistema Vetítico Jacinto.

El Sistema Vetítico Jacinto se encuentra dentro de la sección del Arco de Islas del Cretácico Superior, caracterizada por un buen desarrollo de la Fm. Camujiro de edad Cretácico Superior (Cenomaniano – Turoniano), que ocupa más del 70% del área y está representada por lavabrecha andesito–dacítica (traquí?), psamítica – aglomerática, hasta de bloques, de color verde grisáceo, escasas lavas andesito–dacíticas (traquí?) y muy escasas tobas de granulometría media a fina que aparecen como capas de pequeño espesor; en general estas rocas se encuentran más o menos propilitizadas y tectonizadas, llegando a formar brechas de color verde, sin mineralización, que llegan a alcanzar un amplio desarrollo. Estas rocas de la Fm. Camujiro son las que sirven de caja a las vetas de cuarzo con mineralización epitermal aurífera del tipo adularia – sericítica.

En la porción N-NW del sector aparece Fm. La Sierra del Cretácico Superior (Campaniano) constituida por lavas riolíticas de color violáceo, en partes alteradas (argilitizadas), que aparecen como cuerpos cortantes, mientras que la parte N – NE del área es cubierta discordantemente por los sedimentos terrígenos del Cuaternario datados del Holoceno y constituidos por material aluvio – deluvial que alcanza espesores considerables.

Las rocas intrusivas que han afectado toda la secuencia de la Fm. Camujiro, se encuentran representadas por el complejo granodiorítico del Cretácico Superior (Campaniano) caracterizado por granodioritas, granitos biotíticos – hornbléndicos y diques de diorita que se aprecian en la porción S – SE del sector, con un escaso desarrollo, ya que el límite del sector pasa por el borde superior del gran plutón Sibanicú – Cascorro – Rincón.

Las alteraciones hidrotermales han afectado las rocas de la Fm. Camujiro originando zonas de alteración argilítica y propilítica a las cuales pueden asociarse los sistemas de vetas epitermales de metales preciosos como en el caso de las vetas Beatriz, Sur de Elena, El Limón, etc.

En cuanto a la tectónica desde el punto de vista geólogo-geofísico el sector se considera como un

bloque moderadamente elevado, donde la secuencia de las rocas vulcanógenas presenta potencias considerables (hasta 1000 metros) y donde se localizan fallas de carácter regional con dirección N-S (falla Las Piedras) y otras de rumbo 50° (falla Cascorro), que provocan la formación de bloques que complican las estructuras de la región.

Los rumbos controladores de la mineralización en la zona son los sistemas NW-SE 330°-340° y E-W 270°-290°, que son los que alojan las vetas de cuarzo con mineralización aurífera, mientras que los sistemas N-S y NE-SW no presentan mineralización y son los que complican la situación tectónica del área desplazando los sistemas mineralizados y creando un sistema de bloques. La secuencia más afectada por la situación tectónica en el área es la asociación vulcano – plutónica, mientras que la secuencia terrígena del Cuaternario sólo sufre afectaciones neotectónicas. (Ver FIG.No.1)



FIG.No.1 Esquema geológico regional donde se encuentra ubicado el Sistema Vetítico Jacinto
Caracterización de las vetas y zonas minerales asociadas

El Sistema Vetítico Jacinto se encuentra conformado por 10 vetas que se han podido delimitar por su desarrollo, tanto por el rumbo, como por el buzamiento, denominándose Beatriz, Elena, Sur de Elena, El Limón Nuevo, El Limón Viejo, Prolongación de Beatriz al NW, La Esperanza y la Trinchera - 33. (Ver FIG.No.2).



FIG.No.2 Esquema de ubicación de las diferentes vetas en el Sistema Vetítico Jacinto

Veta Beatriz

Situada prácticamente en el centro del Sistema Vetítico Jacinto, como una línea zigzagueante, con un desarrollo por el rumbo de 600 metros, un azimuth entre 330° - 340° y ángulo de buzamiento entre 40° - 45° , buzando hacia el SW, desarrollada sobre un relieve ondulado, típico volcánico y estableciendo su desarrollo a partir de un centro delimitado por las coordenadas Norte 289 500 ; 289 600 y Este 497 000 ; 447 100 a partir del cual se produce una ramificación que da origen a tres vetas caracterizadas por cuarzo + intensa silicificación + calcita, acompañadas por zonas de alteración argílica (cuarzo - sericitica - caolínica), limonitización y hematización, con sulfuros oxidados y lixiviados, que se han denominado A, B, C y a las cuales se vinculan tres zonas mineralizadas también denominadas A, B y C respectivamente, contorneadas en superficie con trincheras y raspados con buldózer y en profundidad con 62 pozos distribuidos en 28 perfiles, permitiendo que la red de estudio de la porción SE sea de 50 X 50 y de la NW de 25 X 25, lográndose una profundidad de estudio por la vertical de hasta 170 metros, mientras que por el buzamiento se ha alcanzado los 300 metros. (Ver FIG.No.2 FIG.No.3, FIG.No.4 y FIG.No.5)

➤ Zona Mineral A

Asociada a la veta de igual denominación, buza hacia el SW con un ángulo promedio de 35° , su desarrollo por la parte NW se encuentra delimitado por la T E - 5 y los pozos CB - 12 y CB - 13; su mayor desarrollo se encuentra en la dirección SE, con 500 metros aproximadamente de longitud por el rumbo, definido por la TE - 34 y el raspado con buldózer P-26. La zona se caracteriza por contenidos de oro que varían de 0.5 g/t hasta 67.33 g/t, en profundidad ha podido estudiarse hasta

los 170 metros por la vertical, mientras que por el buzamiento se alcanzan los 280 metros aproximadamente, observándose un empobrecimiento de la mineralización de oro con la profundidad. Los contenidos de oro varían entre $< 0.005 \text{ g/t}$ - 0.5 g/t , definiéndose zona mineralizada mayor o igual a 0.5 g/t de Au hasta aproximadamente los 80 metros de profundidad por la vertical.

➤ Zona Mineral B

Vinculada a la veta de igual nombre, tiene su desarrollo marcado en la superficie por las trincheras TE - 6 y TE - 24, en profundidad por el extremo NW con el pozo CSE - 13 y por el SE el pozo CB - 8, en esta dirección presenta la peculiaridad de que no aflora en superficie y es muy irregular, su mejor desarrollo se encuentra restringido a la porción NW, donde se caracteriza por contenidos de oro que varían entre 0.64 g/t - 65.05 g/t , buza hacia el SW con ángulo promedio de 33° , con un desarrollo por el rumbo de aproximadamente 550 metros. Se ha estudiado por la vertical hasta la profundidad de 170 metros y por el buzamiento hasta los 300 metros, observándose un empobrecimiento tanto de la mineralización, como de la potencia de la zona mineral con el aumento de la profundidad (CSE - 41 con potencia real de 0.91 metros y 0.40 g/t de oro). La profundidad máxima hasta que se pudo definir zona mineralizada con contenidos de Au mayor o igual que 0.5 g/t es 110 metros.

➤ Zona Mineral C

Asociada a la veta de igual nombre, tiene un desarrollo hacia el NW de 200 metros aproximadamente por el rumbo, delimitada en superficie por las trincheras TE - 6, TE - 5 y los raspados con buldózer, en profundidad por los pozos CB - 101, situado al NW y CSE - 3, CSE - 4 y CB - 116 situados al SE. Se ha estudiado por la vertical hasta los 100 metros y por el buzamiento hasta los 150 metros aproximadamente, presenta un ángulo promedio de buzamiento de 34° , buzando al SW. El contenido de oro varía de 0.54 g/t - 14.80 g/t , por lo general las intersecciones minerales realizadas en esta zona por los pozos han resultado de poca potencia ($0.20 - 0.70 \text{ m}$) y contenidos entre $0.54 - 7.03 \text{ g/t}$ de Au, excepto el CB - 101 situado en la porción NW que tiene 7.19 metros con 2.34 g/t de Au.



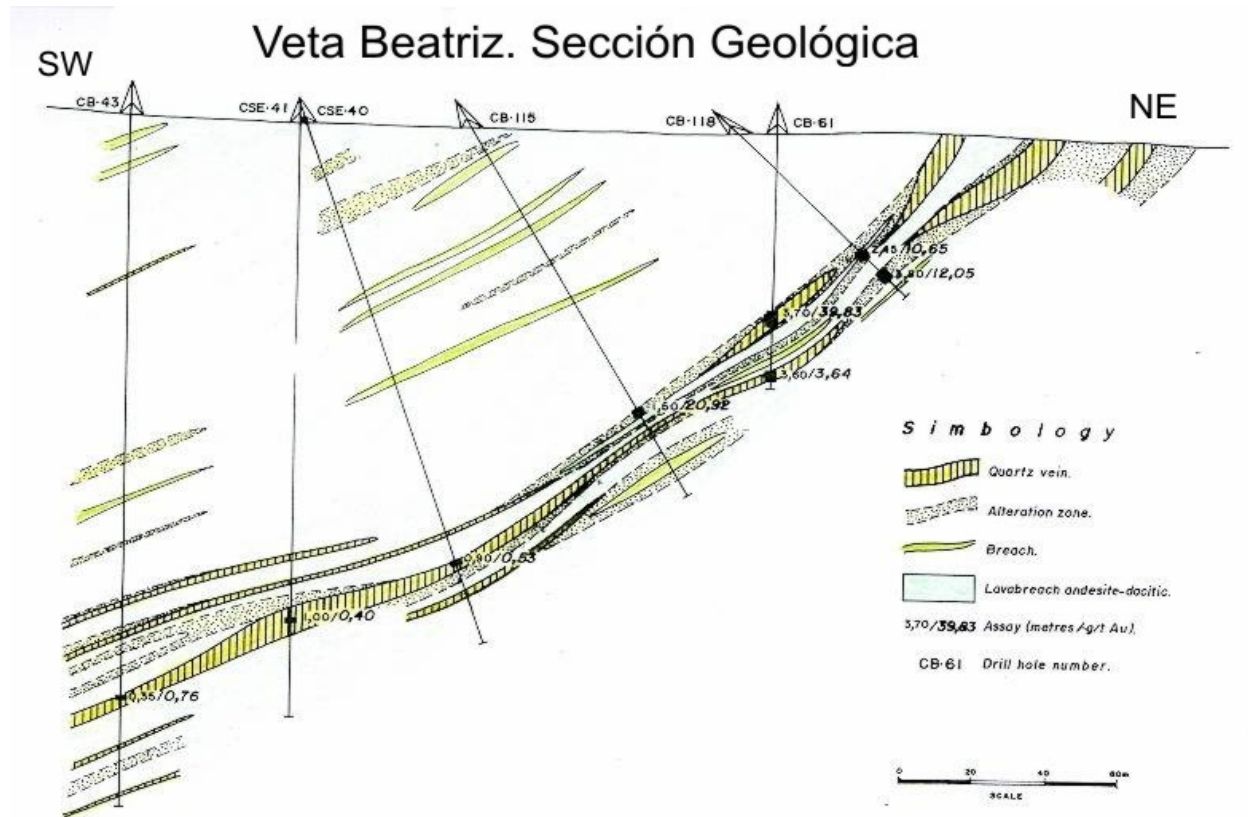
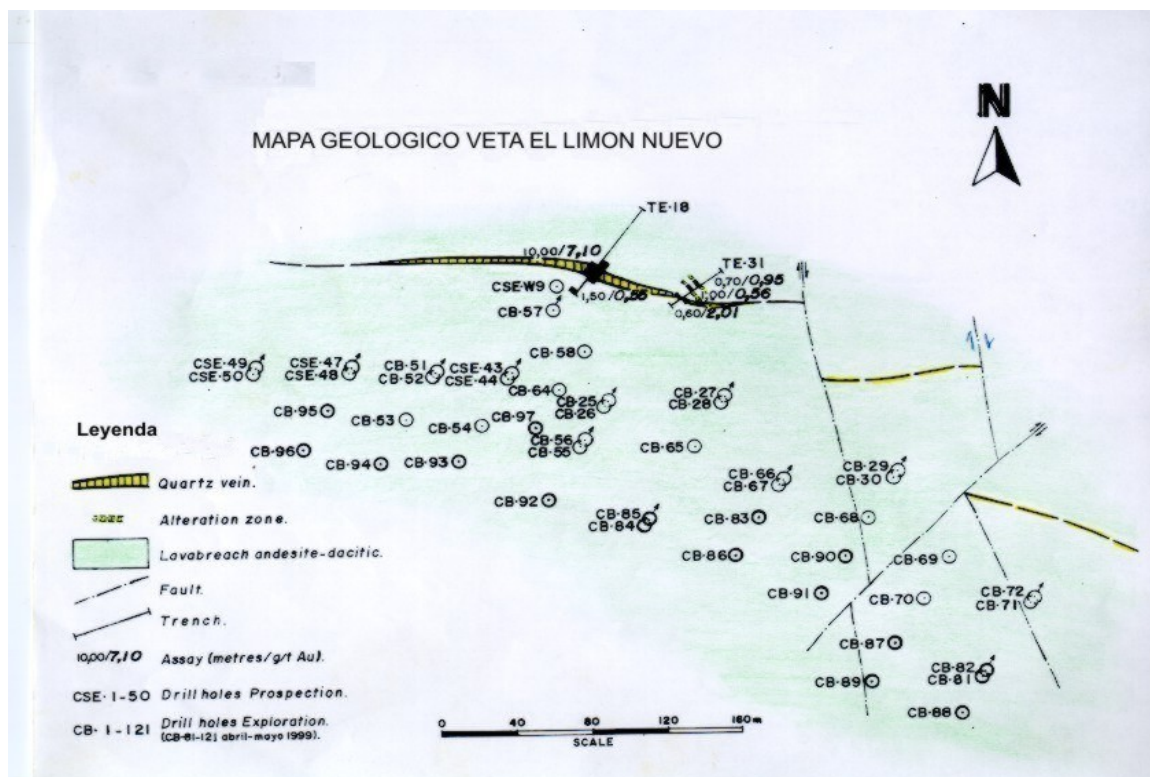


FIG.No.4 Veta Beatriz. Sección geológica



Ubicada al W de la veta Beatriz, inmediatamente al SW de la veta Prolongación de Beatriz al NW, con rumbo paralelo al desarrollo de la veta Elena y veta de la Trinchera TE - 33, se encuentra delimitada en superficie por las trincheras TE - 18, TE - 31, los raspados con buldózer y los muy escasos afloramientos, que han permitido darle continuidad en superficie a lo largo de 70 metros por el rumbo, con un azimut de 270° - 290° y un ángulo de buzamiento de 42° hasta 52° hacia el S - SW. Su centro se encuentra delimitado por la trinchera TE - 18, ubicada en una ligera elevación donde se aprecia veta de cuarzo blanco, ligeramente bandeado y muy tectonizado, con escasa limonitización, en la que se realizó una intersección de 10 metros de longitud con 7.10 g/t de oro. A través de las perforaciones se logró delimitar mejor su desarrollo por el rumbo aproximadamente en 450 metros, con un ángulo de buzamiento de 20° hasta 45° hacia el S-SW. Para su estudio fue utilizada una red de 50 x 50, donde se han realizado 45 pozos, distribuidos en 11 perfiles, lo que ha permitido dar continuidad a la estructura geológica y delimitar una zona mineral vinculada a ésta, que actualmente se encuentra estudiada por la vertical hasta 120 metros de profundidad y por el buzamiento hasta 150 metros, con un desarrollo por el rumbo de aproximadamente 300 metros, con ángulo de buzamiento promedio de 36° hacia el S-SW, los cuales representan la parte Centro Oeste de la veta pues la porción Este, por donde debe unirse a la veta Beatriz, se encuentra afectada por una situación tectónica compleja donde aparecen fallas de desplazamiento horizontales con direcciones N y NE, que han cortado a la veta y a la zona mineral en diferentes bloques y los han desplazado, debido a lo cual las perforaciones realizadas en esta zona no resultaron satisfactorias al tratar de dar continuidad al cuerpo mineral en esta dirección. (Ver FIG.No.2, FIG.No.6, FIG.No.7 y FIG.No.8).



15

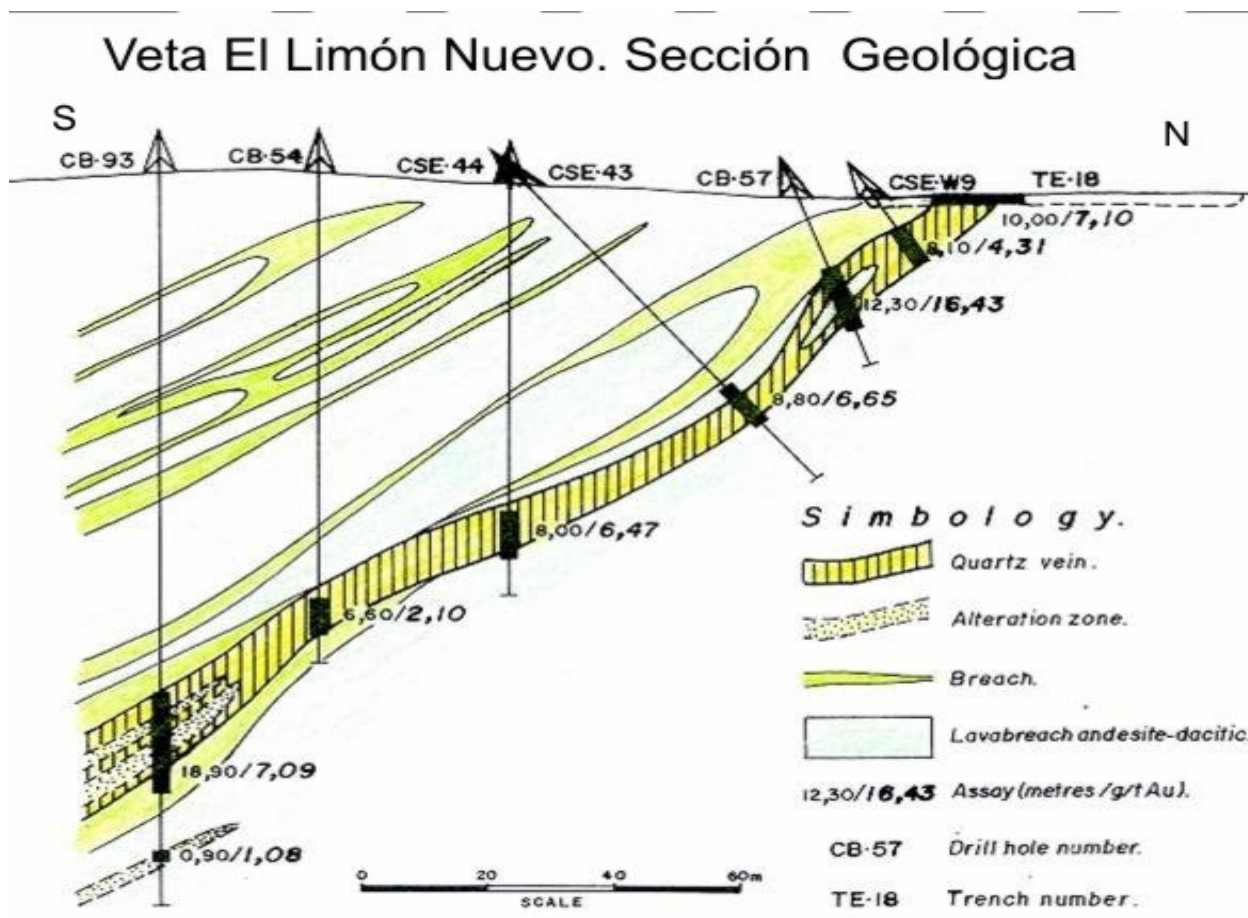


FIG.No.7 Veta El Limón Nuevo. Sección geológica



FIG.No.8 Sección longitudinal vertical .Veta El Limón Nuevo.

Veta Sur de Elena

Ubicada en un relieve ondulado aproximadamente a 500 metros al SW de la veta Beatriz, con un rumbo paralelo a ésta. Fue delimitada en superficie por escasos afloramientos y por las intersecciones de las trincheras TE - 21, 15, 16, 22, 17, 11, 19 y 12 a lo largo de unos 600 metros por su rumbo, con un ángulo de buzamiento entre los 30°- 50° hacia el SW. Se compone de cuarzo blanco hasta gris + calcita. Se encuentra muy tectonizada y limonitizada, acompañada de zona de alteración cuarzo - sericitica - caolinítica limonitizada y hematitizada, con sulfuros oxidados y lixiviados, a la cual se encuentran asociadas dos zonas minerales denominadas 1 y 2. Donde en superficie se han obtenido resultados tales como: 40.00 metros de longitud con 7.29 g/t de oro (TE - 11) y 9.00 metros de longitud con 10.31 g/t de oro (TE - 13). Para estudiar su continuidad en profundidad se han realizado 27 pozos distribuidos en 10 perfiles a la distancia de 50 metros, con los cuales se ha alcanzado un estudio por la vertical hasta los 50 metros y por el buzamiento hasta los 120 metros, hasta donde se han podido observar las mismas características de la estructura geológica y la mineralización, aunque en algunos casos se ha podido delimitar el fin de la mineralización antes de los 50 metros. (Ver FIG.No.2, FIG.No.9, FIG.No.10 y FIG.No.11)

➤ Zona mineral N° 1

Tiene un desarrollo por el rumbo de aproximadamente 250 metros, con ángulo promedio de buzamiento de 35°, buzando hacia el SW, se ha podido definir zona mineralizada con contenidos mayor o igual que 0.5 g/t hasta los 50 metros por la vertical, mientras que por el buzamiento se han alcanzado los 90 metros. Presenta zonas minerales aún no delimitadas en profundidad.

➤ Zona mineral N° 2

Con un desarrollo por el rumbo de aproximadamente 450 metros, con ángulo de buzamiento promedio de 35°, buzando al SW. Se ha podido definir zona mineralizada con contenidos mayor o igual que 0.5 g/t hasta los 60 metros por la vertical, mientras que por el buzamiento se han alcanzado los 120 metros, presenta zonas minerales aun no delimitadas en profundidad. La parte central de la veta Sur de Elena puede definirse por la intersección de la TE - 11 donde presenta su mayor desarrollo como veta y zona mineral y donde también aparece un dique de roca intrusiva (diorita) con la dirección NE.



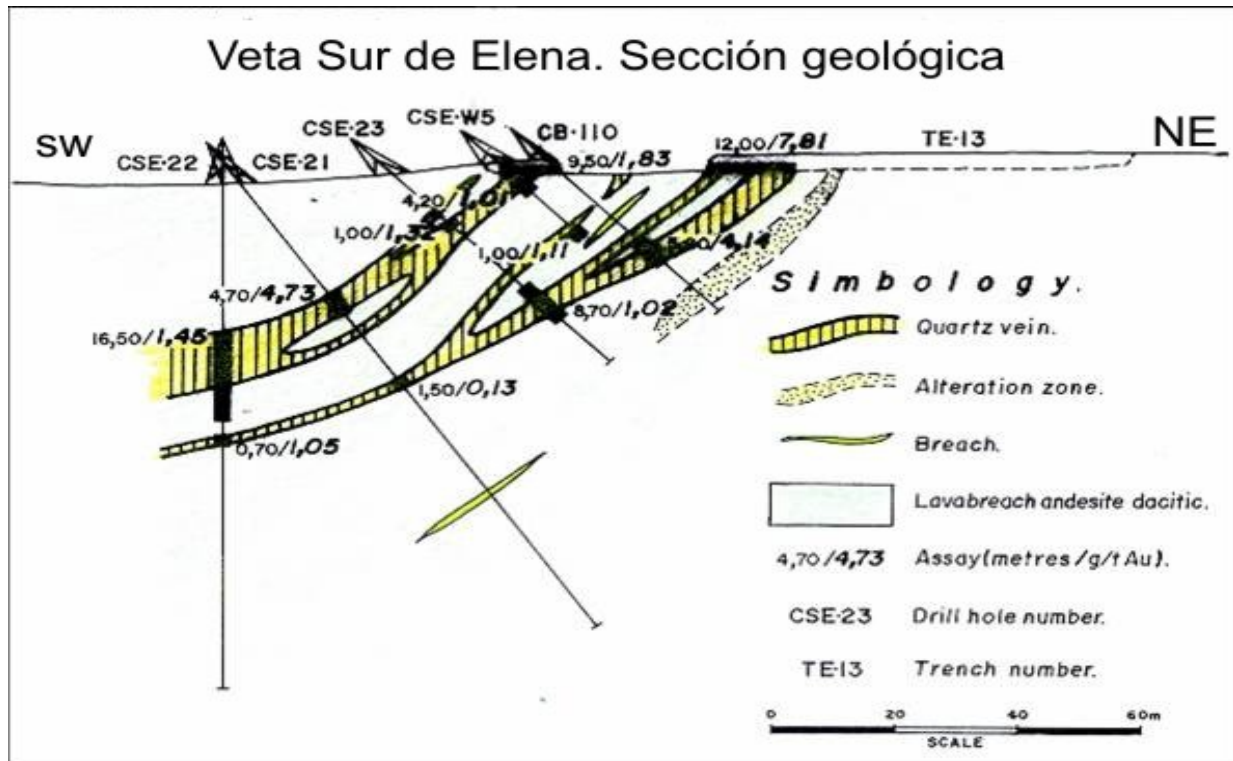


FIG.No.10 Veta Sur de Elena Sección geológica

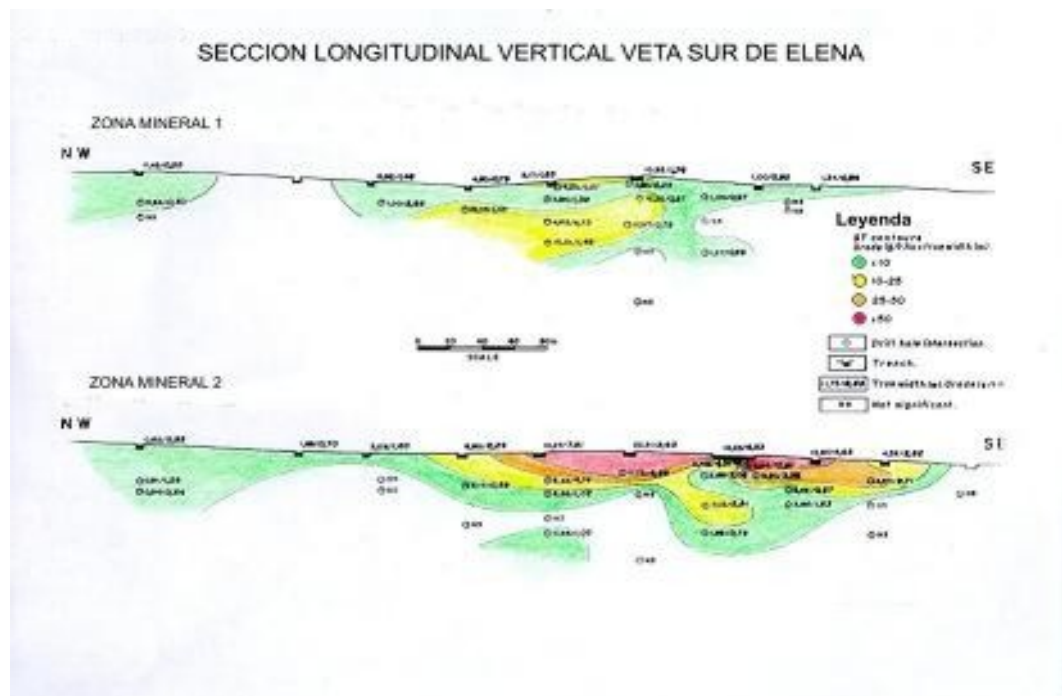


FIG.No.11 Sección longitudinal vertical .Veta Sur de Elena.



Veta Elena

Representada por cuarzo blanco - grisáceo + roca intensamente silicificada acompañada de zona de alteración cuarzo - sericítica, limonitizada y hematitizada, con sulfuros oxidados y lixiviados. En superficie se desarrolla sobre un relieve ondulado y se ha podido seguir a lo largo de aproximadamente 500 metros a través de afloramientos y grandes bloques, en los que se obtuvieron valores de hasta 2.99 g/t de oro, con un rumbo de 270°- 290° y un ángulo de buzamiento entre los 20° - 65°, afectado por fallas de dirección NE que desplazan ambos extremos de la veta y lo dividen en bloques desplazados. (Ver FIG.No.2 y FIG.No.3).

Con la trinchera TE - 3 y TE - 1 se realizaron intersecciones minerales de 8.00 metros de longitud con 1 g/t de oro y 12.00 metros de longitud con 0.58 g/t de oro respectivamente, al estudiar estas intersecciones en profundidad se observó que existe continuidad de la estructura geológica favorable para la mineralización aurífera, lográndose un estudio hasta los 45 metros de profundidad por la vertical y hasta los 100 metros por el buzamiento, demostrándose que hasta el momento las zonas mineralizadas con 0.5 g/t o mayor de Au se mantienen hasta aproximadamente los 20 metros por la vertical (CSE-32 de 1.40 metros de longitud con 2.15 g/t de oro, CSE-34 de 1.40 metros de longitud con 1.33 g/t de oro y CB-8 con 0.69 g/t en 0.60 metros de longitud, todas ubicadas en la porción SE de la Veta, quedando por estudiar aún la parte Oeste que permitirá definir la continuidad de la mineralización y su comportamiento en profundidad.

Veta La Esperanza

Situada a 400 metros aproximadamente al este de la veta Beatriz, con rumbo paralelo a ésta, presenta un desarrollo de 450 metros de longitud con ángulo de buzamiento de 40°-70°. Está representada por veta de cuarzo blanco muy tectonizada, limonitizada y hematitizada, acompañada por una zona de alteración cuarzo - sericítica - caolinítica, limonitizada y hematitizada, con sulfuros oxidados y lixiviados. Fue revelada en superficie por 4 intersecciones de los raspados con buldózer ejecutados a la distancia de 100 metros, con contenidos de oro de hasta 1.89 g/t. (Ver FIG.No.2).

Para estudiar su continuidad en profundidad se realizaron 12 pozos (CB-15-CB-24, CB-41-CB-42), ubicados en 5 perfiles a la distancia de 100 metros, permitiendo un estudio por el buzamiento de hasta 150 metros y por la vertical hasta 95 metros, obteniéndose como resultado la continuidad de la estructura geológica representada por brecha de color gris oscuro a partir de roca silicificada y argilitizada con más o menos sulfuros y siempre con contenidos de oro < 0.5 g/t, excepto en el pozo CB - 15 que cortó veta de cuarzo de color gris blancuzco en forma de brecha, con 3.30 metros de longitud y 0.38 g/t de oro, donde pueden destacarse los intervalos 42.90 - 43.70 m con 0.80 metros de longitud y 0.515 g/t de oro y 45.30 - 46.20 m con 0.90 metros de longitud y 0.6 g/t de oro.

Veta Franklin

Situada en el extremo este del sector, donde se encuentra una antigua cantera de grandes dimensiones utilizada para la extracción de rocoso. Se caracteriza por presentarse en superficie en forma de dos zonas de alteración cuarzo - sericítica - caolinítica, limonitizadas y hematitizadas, con sulfuros oxidados y lixiviados, con vetas de cuarzo y roca intensamente silicificada y muy tectonizada, con vetas de calcita. Los contenidos de oro alcanzan hasta 1.98 g/t. (Ver FIG.No.2).

Estas zonas se encuentran separadas aproximadamente a 140 metros y con direcciones diferentes, para comenzar su estudio se decidió realizar un pozo en cada una de ellas. Así fueron ubicados los pozos CB-49 y CB-50, en ambos casos se observó la continuidad de la estructura geológica en profundidad, detectándose un ángulo de buzamiento muy abrupto (entre los 80°- 90°) y obteniéndose sólo una intersección mineral en el CB-49, de 2.45 metros con 0.85 g/t de oro a la profundidad de 76.55 - 79.00 metros

Veta de la trinchera TE - 33

Situada en una ligera elevación al sur de la veta El Limón (Nuevo- Viejo) y al oeste de la veta Beatriz, se caracteriza por una zona de alteración cuarzo - sericítica – caolinítica, limonitizada, hematitizada y muy tectonizada, con sulfuros oxidados y lixiviados, con vetas de cuarzo + calcita. Presenta un desarrollo en superficie de aproximadamente 50 metros por el rumbo y con un azimut de 290° (constituye un sistema paralelo al Limón y a Elena), fue revelada en superficie por la trinchera TE - 33, con una intersección de 2.05 metros de longitud con 5.95 g/t de oro y por los raspados, con contenidos de 29.01 y 2.26 g/t de oro. (Ver FIG.No.2).

Para dar continuidad a estas intersecciones tanto por el rumbo, como en profundidad, se realizaron tres pozos (CB-73, CB-74 y CB-75) ubicados en tres perfiles a la distancia de 50 - 100 metros. Como resultado se confirmó la continuidad en profundidad de la estructura geológica, pero sin contenidos significativos de oro. Sólo en el pozo CB-73 se cortó un intervalo a la profundidad de 25.90 - 26.30 m (0.40 metros de longitud) con un contenido de 0.545 g/t de oro.

Veta La Ceiba

Está situada en el extremo SW del sector y se caracteriza por ser una elevación de altura media con una zona de amplio desarrollo de alteración cuarzo - sericítica - caolinítica, limonitizada y hematitizada, con sulfuros oxidados y lixiviados, con veta de cuarzo + calcita muy tectonizada, la misma tiene un desarrollo de aproximadamente 200 metros por el rumbo, con un ángulo de buzamiento entre los 40° - 50° y un rumbo entre los 265° - 300°. La misma fue revelada por las muestras de superficie que arrojaron contenidos de hasta 11.39 g/t de oro y las intersecciones de las trincheras TE-26, TE-27 y TE-28, donde se obtuvieron intersecciones hasta de 4.70 metros de longitud con 2.02 g/t de oro (TE-27 situada al extremo oeste de la veta. (Ver FIG.No.2).

Para evaluar la continuidad de estas intersecciones minerales en profundidad se realizaron pozos CSE-45 y CSE-46, los mismos alcanzaron una profundidad de estudio por la vertical de 50 metros. Aunque no se pudo definir hasta esta profundidad la mineralización, pero se confirmó la continuidad de la estructura geológica.

Veta Prolongación de Beatriz al NW

Esta denominación es dada a la prolongación hacia el NW, a partir de la trinchera TE-6, de la veta Beatriz, a la cual pudo dársele continuidad en superficie por las intersecciones en los raspados con buldózer, realizados cada 100 metros en esta área. Aquí se incluyen las intersecciones denominadas La Naranja donde se alcanzaron valores de 1.48 g/t de oro en 14 metros de longitud, las que han sido desplazadas por una falla de dirección NE. Las demás intersecciones de los raspados alcanzan valores de hasta 2.72 g/t de oro, pudiéndose delimitar un desarrollo en superficie de aproximadamente 500 metros por el rumbo con un ángulo de



buzamiento de 50°. (Ver FIG.No.2).

Para realizar el estudio de esta zona en profundidad se realizaron 12 pozos (CB-31-CB-40, CB-47-CB-48), distribuidos en 6 perfiles a la distancia de 100 metros, obteniéndose la continuidad de la estructura geológica en profundidad. Representada fundamentalmente por brecha de color gris oscuro a partir de roca silicificada y argilitizada, con un 5-10 % de sulfuros (en ocasiones alcanzan 20%), en partes aparece calcopirita y veticas de cuarzo blanco de pequeño espesor. Los pozos CB-38 con profundidad de 223.0 metros, CB-40 con 202.4 metros, CB-48 con 148.0 metros y CB-47 con 138.50 metros perforados en La Naranja permitieron observar que las zonas de brecha de color gris oscuro a partir de rocas silicificadas y argilitizadas con sulfuros, donde puede alojarse la mineralización aurífera, se repiten cíclicamente apareciendo hasta los 202.4 metros.

Veta El Limón Viejo

Ubicada aproximadamente a 250 metros del extremo oeste (definido por la línea de pozos CSE - 49 y CSE - 50) de la veta El Limón Nuevo representa posible continuación de la misma en esta dirección. Se encuentra en una ligera elevación donde aparece zona de alteración cuarzo - sericitica - caolínica, limonitizada y hematitizada, con sulfuros oxidados y lixiviados, con vetas de cuarzo + roca intensamente silicificada y muy tectonizada, donde durante el estadio de prospección se realizaron la trinchera TE - 9 y el pozo CSE - 7, sin resultados satisfactorios (contenidos de oro < 0.5 g/t). En superficie en el raspado con buldózer N° 10 se obtuvo una intersección con contenidos de hasta 78.70 g/t de oro. A esta veta se le realizaron tres pozos para verificar su continuidad por el rumbo tanto en dirección oeste como este. El pozo CB - 100 se realizó a una distancia de 50 metros del pozo CSE - 7 (situado al oeste), el pozo CB - 99 a 30 metros del CSE - 7 y el pozo CB - 98 a 50 metros del CB - 99 en dirección este, lo que nos permitió el estudio de la veta El Limón Viejo a lo largo de 140 metros aproximadamente por el rumbo, en profundidad fue estudiada por el buzamiento por unos 50 metros y por la vertical por 30 metros, hasta donde se obtuvo continuidad de la estructura geológica, pero sin resultados satisfactorios en cuanto a la mineralización. (Ver FIG.No.2).

Resultado de la estimación de los recursos

Una vez definidas las diferentes zonas minerales y delimitada la continuidad de cada una de ellas tanto por el rumbo, como por el buzamiento en las diferentes vetas, utilizando un cutoff de 0.5 g/t. Se determino realizar la estimación de los recursos en las vetas Beatriz, Sur de Elena y El Limón Nuevo, por resultar ser las más perspectivas con los resultados y el grado de estudio actual. Para eliminar la posibilidad de un sobredimensionamiento por el efecto de las pocas muestras con valores altos de contenidos de oro, después de un análisis estadístico se considero un contenido máximo de 44, 30, 10 g/t en las vetas Beatriz, Sur de Elena y El Limón Nuevo respectivamente. Se empleó el método de los cortes geológicos verticales paralelos, utilizando además un metrogramo de 5 y un peso volumétrico de 2.6. El resultado de la estimación de los recursos se ofrece en la siguiente Tabla No.I:

Tabla No.I: Resultado de la estimación de los Recursos

Vetas	Toneladas	Sin tratamiento de las muestras huracanadas			Con tratamiento de las muestras huracanadas		
		Au(g/t)	Au (g)	Oztroy	Au(g/t)	Au (g)	Oztroy

Beatriz	544791	9,97	5432533	174659,86	7,51	4090885	131524,91
EL Limón Nuevo	441355	8,37	3692930	118730,37	6,54	2887418	92832,58
Sur de Elena	378170	3,44	1300886	41824,42	2,96	1120682	36030,74
Total	1364316	7,64	10426349	335214,65	5,9	8098985	260388,22

CONCLUSIONES

Como resultado de los trabajos realizados se ha logrado definir un Sistema Vetítico al cual se encuentran asociados cuerpos minerales auríferos tipo adularia-sericita, caracterizados por ser muy irregulares en su desarrollo, contenidos de oro y potencia tanto por el rumbo como por el buzamiento, lo cual dificultó la delimitación de las zonas minerales en superficie y en profundidad, demostrándose la necesidad de la densificación de la red de estudio, para una correcta evaluación y delimitación de las zonas minerales que permita alcanzar una mayor precisión en la estimación de los recursos. No obstante se logran estimar recursos en 260388.22 onzas troy (con el tratamiento de las muestras huracanadas) en categoría de Indicados. Por todos estos estudios el sistema Vetítico Jacinto constituye en la actualidad el mejor depósito del tipo adularia-sericita asociado con minerales preciosos mejor documentado en la provincia de Camagüey.

RECOMENDACIONES

En la veta Beatriz se necesita completar la red de estudio 25*25 tanto por el rumbo, como por el buzamiento. Así como cerrar las intersecciones minerales que aun quedan abiertas en profundidad y completar la delimitación de los cuerpos B y C en su porción NW.

En la veta El Limón Nuevo completar la red de estudio 25*25 tanto por el rumbo, como por el buzamiento.

En la veta Sur de Elena a pesar de que la mineralización es de baja ley y se desarrolla en algunas partes de las zonas minerales establecidas hasta la profundidad de 50 metros aproximadamente, se puede continuar el estudio densificando con la red de investigación a 25*25 y delimitar en profundidad las zonas minerales aún abiertas, con el objetivo de obtener más información que permita un cálculo de los recursos más efectivo.

En la veta Elena todas las labores están ubicadas en la porción SE de la veta, quedando por estudiar aún la parte oeste que permitirá definir la continuidad de la mineralización y su comportamiento en profundidad.

Los resultados obtenidos hasta el momento en la veta La Esperanza al estudiar en profundidad los 450 metros revelados en la superficie demuestran que a pesar de obtener continuidad de la estructura geológica favorable para la acumulación de la mineralización de oro, no se obtuvieron resultados mayores o iguales a 0.5 g/t de oro, que nos permitiera contornear un cuerpo mineral. No obstante sería interesante continuar el estudio de esta veta hacia el NW en superficie y en la profundidad.

En la veta Franklin a pesar de que los resultados de los dos pozos que se hicieron no fueron lo suficientemente satisfactorios, entendemos que podríamos realizar otras perforaciones, ya que por experiencia en semejantes zonas, conocemos que la negatividad de un pozo no invalida la probabilidad de encontrar mineralización.

No obstante los resultados obtenidos en la denominada veta TE – 33, entendemos que se puede continuar el descubrimiento del desarrollo de esta en superficie y en profundidad fundamentalmente en dirección oeste.

No obstante los resultados obtenidos de la veta La Ceiba, sería conveniente delimitar en la profundidad la mineralización de la TE-27, así como hacer otras perforaciones en la parte central (TE-26) y en el extremo este (TE-28).

En el caso de la veta Prolongación de Beatriz al NW a pesar de que los resultados obtenidos en estos pozos no son del todo satisfactorios, aunque se obtuvieron intersecciones minerales interesantes como por ejemplo: CB-34 de 5.70 metros con 1.80 g/t de oro, CB-40 de 7.75 metros con 1.65 g/t de oro, CB-47 de 1.60 metros con 1.74 g/t de oro, las mismas están restringidas a los pozos que la interceptaron. Como la red de estudio que se posee no permite delimitar un cuerpo mineral por el rumbo ni por el buzamiento se recomienda densificar la red de estudio en esta zona.

A pesar de los resultados no satisfactorios en veta El Limón Viejo, sería interesante su estudio en dirección SE para buscar su unión con la veta El Limón Nuevo, así como estudiar su posible continuación en dirección al NW.

En general se recomienda para el Sistema Vetítico Jacinto la realización de los siguientes estudios que permitirían, en caso de ser favorables los resultados, dejar listo el yacimiento para su explotación:

- ✚ Estudio de Impacto Ambiental.
- ✚ Estudios Hidrogeológicos.
- ✚ Estudios Ingeniero-Geológicos.
- ✚ Determinaciones de Peso Volumétrico.
- ✚ Estudios Metalúrgicos.
- ✚ Estudio de Factibilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Iturralde-Vinent M., Tchounev D., Cabrera R. y otros; 1981. Geología del territorio de Ciego –Camagüey-Las Tunas. Resultados de las investigaciones y del levantamiento geológico a escala 1:250000. Oficina Nacional de Recursos Minerales. MINBAS
- Iturralde-Vinent M., 1996. Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. project. 364. inter. geol. correl. prog.
- Piñero E., Rojas R., Iturralde-Vinent M y otros; 1992. Informe sobre los resultados del levantamiento geológico complejo y búsquedas acompañantes a escala 1:50000 en el polígono CAME III. Camagüey. Sector Loma Jacinto. Oficina Nacional de Recursos Minerales. MINBAS. (Inédito).
- Piñero E., Quintana M.E., Mari T.; 1997. Caracterización geológica de los depósitos vulcanógeno – sedimentarios de la región de Ciego-Camagüey-Las Tunas en: Estudios sobre geología de Cuba. pág. 346-356.
- Piñero E., Bilbis C; 1997. Informe Anual Proyecto Jacinto.

- Piñero E., y otros; 1999. Informe sobre los resultados de los trabajos realizados entre los años 1998-1999 en el Proyecto Jacinto, Sector Beatriz. Oficina Nacional de Recursos Minerales. MINBAS. (Inédito).
- Piñero E. y otros; 2000. Reporte sobre exploración Beatriz. Oficina Nacional de Recursos Minerales. MINBAS. (Inédito).
- Pérez M., Piñero E. y otros; 2001. Estudio de línea base ambiental. Sector Beatriz.
- Simon G., Russell N., Kesler S.E., Bell D. Piñero E., y Halls C.M.; 1998. Epithermal mineralization in or volcanic arc: The Jacinto Deposit, Camagüey district, Cuba.
- Spiteri Geological Mining Consultants Inc.; 1999. independent check sampling program metallurgical sample program.
- Halls C.M., Russell N., Kesler S.E., Piñero E. y otros; 2004. Age and tectonic setting of the camagüey volcanic-intrusive arc, cuba: late cretaceous extension uplift in the western greater antilles.
- Kesler S.E., Russell N., Piñero E., Sánchez R. y otros; 2004. Age of the camagüey gold-silver district, cuba: Tectonic evolution and preservation of epithermal mineralization in volcanic arcs.
- Alonso J., Soler J. J., Piñero E., 1995. Informe geológico preliminar. Sector Camagüey NE.
- Spiteri geological Mining Consultants Inc.; marzo1998. Scoping Study Jacinto Deposit. Camagüey, Cuba.
- Spiteri Geological Mining Consultants Inc.; septiembre1999. Revised Scoping Study Jacinto Deposit. Camagüey, Cuba.
- Colectivo de autores;1998. Léxico Estratigráfico de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología. MINBAS.
- Colectivo de autores.; 1989. Atlas de Camagüey. Academia de Ciencias de Cuba.

CARACTERISTICAS GEOLOGO-GEOQUIMICAS Y MINERALOGICAS DE LOS YACIMIENTOS VMS DE COBRE ASOCIADOS AL COMPLEJO OFIOLITICO DE CAMAGÜEY, CUBA

Alfonso Chang Rodríguez.

Empresa Geominera Camagüey, Carretera Central Este, Km 5½. Camagüey, Cuba. CP 70600 E-mails: alfonsochr@yahoo.com; alfonsochr@geomineracmg.co.cu.

RESUMEN

El territorio de estudio se encuentra enclavado dentro de la Asociación Ofiolítica de Camagüey. La misma es considerada como los restos de una antigua corteza oceánica de un mar marginal y ha sido subdividida en cuatro complejos de rocas: Complejo Peridotítico, Complejo Cumulativo, Complejo de Diques y Complejo Efusivo.

Dentro del Complejo Ofiolítico los yacimientos VMS de cobre, presumiblemente de tipo Chipre, se desarrollan en el complejo de diques paralelos de diabasa y los flujos de basaltos que los cubren. El depósito mayor es Cuba Libre-Río Negro, interpretado como una zona de alimentación de stockwork subparalela de buzamiento fuerte, desarrollada dentro del Complejo de Diques, debajo de sulfuros masivos potenciales erosionados.

Al menos algunas partes de Cuba Libre-Río Negro pudieran ser menas estratificadas dada la distribución subparalela de los lentes de sulfuros en relación con los contactos estratigráficos encajantes. Hay potencialidad en el yacimiento para importantes concentraciones de mineral en profundidad y a lo largo del rumbo.

Por su composición mineral pertenece al grupo cuarzo-pirítico-calcopirítico-pirrotínico.

Una particularidad son sus rasgos geoquímicos, caracterizados por la presencia de Cu, Zn, Ni, Co, cuyos contenidos son comparables con los de otras zonas de stockwork de depósitos de este tipo en Chipre.

Están caracterizados por una mineralización de forma irregular, de nidos y vetillas, acompañada por zonas de alteración hidrotermal representada por vetas de cuarzo fundamentalmente y en menor proporción cloritización y procesos de anfibolitización.

Por último se brindan criterios e indicios de búsqueda, así como guías de exploración para el descubrimiento de nuevos yacimientos y manifestaciones que potencialmente se pueden encontrar dentro de la Asociación Ofiolítica.

ABSTRACT

The study territory is located inside the Ophiolitic Association of Camagüey. The same one is considered as the remains of an ancient oceanic crust of a marginal sea and it has been subdivided in four complexes of rocks: Peridotitic Complex, Cumulative Complex, Complex of Dikes and Extrusive Complex.

Inside the Ophiolitic Complex, the VMS deposits of copper, presumably of Cyprus type, are developed in the complex of parallel dikes of diabase and the flows of basalts that cover them. The biggest deposit is Cuba Libre-Río Negro, interpreted as an area of feeding of stockwork of strong dip, developed inside the Complex of Dikes, under eroded potentials massive sulfides.

At least some parts of Cuba Libre-Río Negro could be stratified ores given the distribution subparallel of the sulfides lenses in connection with the enclosing stratigraphic contacts. There is potentiality in the deposit for important mineral concentrations in depth and along the direction.

They belong to the quartz-pyrite-chalcopyrite-pirrotine group because of their mineral composition.

A particularity are its geochemical features, characterized by the presence of Cu, Zn, Ni, Co whose contents are comparable with those of other stockwork zones of this deposits type in Cyprus.

They are characterized by an irregular mineralization, of veins, accompanied by hydrothermal alteration zones, represented by quartz veins fundamentally and in less proportion cloritization and anfibolitization processes.

At the end, prospecting criteria and local indications are offered, as well as exploration guides for the discovery of new deposits and manifestations that potentially can be inside the Ophiolitic Association.

INTRODUCCION

El insuficiente grado de generalización de la información geológica y geoquímica existente y disponible relacionada con la mineralización cuprífera de la Asociación Ofiolítica de Camagüey propició el objetivo central de la presente investigación: determinar las características geólogo-geoquímicas y mineralógicas regionales y locales de los yacimientos VMS de cobre tipo Chipre dentro de este Complejo Ofiolítico.

La región de los trabajos se encuentra ubicada a unos 500 m al sur del poblado de Minas y a unos 36 km al NE de la ciudad de Camagüey.

El antiguo Yacimiento Cuba Libre (con sus sectores Río Negro, Cuba Libre y Circunvalación o La Cubana), así como las manifestaciones La Columbia, Bayatabo, se encuentran ubicados en un territorio que abarca unos 40 km², entre los poblados de Minas y Redención (oeste y este) y entre el ferrocarril Camagüey-Nuevitás al norte y una línea paralela hacia el Central Senado a 2 km al sur de la carretera Minas-Nuevitás.

El relieve del territorio está representado por suaves elevaciones que se destacan en la llanura, de las cuales las mayores son: Bayatabo, La Vigía y Cuba Libre. En el caso de Bayatabo y Cuba Libre, lo positivo del relieve se corresponde con los afloramientos de las vetas de cuarzo, mucho más resistentes a la erosión del medio circundante. En general la aflorabilidad de la región es pobre.

Las Ofiolitas de Camagüey forman parte del cinturón de ofiolitas septentrionales que se extiende por toda la Isla de Cuba y representan un fragmento de litosfera oceánica antigua. Presentan forma de arco, situado al Norte de la ciudad de Camagüey y tienen una extensión por su largo de 120 km., mientras que su ancho máximo alcanza unos 30 km. Yacen de manera alóctona sobre el margen continental de las Bahamas representado por la Sierra de Cubitas, donde poseen una potencia pequeña que hacia el Sur aumenta progresivamente hasta alcanzar 5 km. de espesor cerca de la ciudad de Camagüey según datos gravimétricos. Las secuencias del arco volcánico cretácico las cubren tectónicamente en su porción meridional. Entre ambas se halla un olistostroma de edad Paleoceno-Eoceno Inferior. Entre las ofiolitas y las calizas del margen continental se encuentran también secuencias olistostrómicas, del Eoceno Superior temprano. Los contactos con el intrusivo ácido y el arco volcánico extinto también son tectónicos.

Las unidades sedimentarias más jóvenes a partir del Maestrichtiano hasta el neógeno forman la cobertura sedimentaria sobre todas las asociaciones anteriormente mencionadas.

Se subdividió la Asociación Ofiolítica de Camagüey en concordancia con la definición de las ofiolitas presentadas por la "Geological Society of American Penrose Conference" celebrada en 1972. Esta subdivisión se realizó de manera ascendente en los Complejos siguientes:

Complejo Peridotítico.

Complejo Cumulativo.

Complejo de Diques.
Complejo Efusivo – Sedimentario.

Además, se diferencian rocas asociadas como albititas y metasomatitas (rodingitas, listvenitas). Ver figura 1.

El esfuerzo tectónico durante la formación de las ofiolitas y su emplazamiento definió la posición alóctona actual del Complejo Ofiolítico de Camagüey y determinó la destrucción de las condiciones de yacencia primarias.

La Asociación Ofiolítica de Camagüey está caracterizada por estructuras de pliegues relativamente simples. Las estructuras anticlinales y sinclinales en combinación con elementos disyuntivos tectónicos y desplazamiento de bloques dan lugar a la presencia de los diferentes complejos, uno al lado del otro, los que se encuentran normalmente en un perfil tectónicamente no transformado, en una sucesión vertical.

En las zonas del territorio cubano donde se manifiestan las rocas de la Asociación Ofiolítica se localizan diferentes tipos de yacimientos y manifestaciones de sulfuros. Por su composición mineral los más abundantes son pirítico; pirítico-calcopirítico y cuarzo-pirítico-calcopirítico-pirrotínico. Cuba Libre y Río Negro pertenecen a este último grupo. En los yacimientos de composición pirítica y pirítico-calcopirítica es clara su asociación a las rocas efusivas basálticas y vulcanógeno-sedimentarias del Complejo Efusivo (yacimientos Buena Vista y Júcaro, ambos en Pinar del Río). Estos en general forman lentes y estratos masivos de sulfuros con los mantos de lavas, rocas tobáceas, etc., en ocasiones sills de composición diabásica. Se ha podido observar que existen otras manifestaciones y pequeños yacimientos de cobre, cuya composición es cuarzo-calcopirita-pirita-pirrotina, que también ocupan una posición geológica dentro de la Asociación Ofiolítica, pero presentan características diferentes a los grupos anteriores. Este es el caso de Cuba Libre, Río Negro, Arroyo Blanco, Yagruma, Salomón.

MATERIALES Y METODOS

En 1984 se decide por la EGC realizar algunos trabajos (solamente en el Sector Cuba Libre y Río Negro) con el objetivo de determinar la existencia de acumulaciones minerales cupríferas en los horizontes más profundos, así como tratar de limitar por su extensión, los cuerpos minerales observados en la superficie, situaciones estas que se conocían limitadamente.

En 1985, se llevó a cabo un levantamiento geofísico de Polarización Inducida (red 100x20m) utilizando un equipamiento de electrodo de gradiente.

Posteriormente se inició un programa de trincheras (15) en las manifestaciones de Cuba Libre, Río Negro y Circunvalación que reveló algunas zonas mineralizadas con más de 0.3% de Cu y anomalías con valores por encima de 1% en intervalos cortos dentro de las mismas.

Finalmente se realizó un programa de perforación en los lugares más promisorios. Se perforaron 6 pozos en la manifestación de Cuba Libre, y 4 pozos en la manifestación de Río Negro. En 7 de estos 10 pozos se encontró mineralización significativa (dos en Río Negro y cinco en Cuba Libre).

Con estos resultados se realizó una Estimación de Recursos operativa con categoría de Recursos Pronósticos P₁, considerando un límite inferior de 0.3% de Cu.

Tabla I. Recursos Pronóstico, Cuba Libre y Río Negro.

Sector	Recursos de mena (t)	Cu (%)	Reservas metálicas (t)
Cuba Libre	981 000	0.95	9 300
Río Negro	440 000	1.40	6 100
Total	1 421 000	1.09	15 400

La Asociación Económica “Minería Siboney Goldfields” realizó trabajos de prospección detallada como parte de la Concesión Nicrom en la franja que comprende las manifestaciones “Cuba Libre”, “Río Negro” y “Columbia”.

Los trabajos de exploración fueron llevados a cabo entre los meses de mayo y agosto de 1995 y consistieron en el establecimiento de una red de 100 m entre perfiles y puntos de observación cada 25 m, donde se realizaron levantamientos de geoquímica de suelos, magnético terrestre (estaciones cada 12.5 m), EM de espira horizontal, además se realizó desnudamiento (stripping) y trincheras en un total de 6000 metros cuadrados.

Posteriormente se desarrolló un programa de perforación de 1200 metros en los tres objetivos priorizados. Los 12 pozos fueron situados de la siguiente manera: 3 pozos en la manifestación de Columbia, 6 pozos en la manifestación de Río Negro y 3 en Cuba Libre.

Se tomaron alrededor de 1700 muestras de suelo en toda el área de la red. Estas muestras se enviaron a los laboratorios de CHEMEX en Vancouver para su análisis. Las muestras se analizaron para oro usando un método de FA-AA (1AT), y un paquete multielemento ICP-AES para (Sb, As, Bi, Cu, Pb, Hg, Mo, Ag, Zn).

Modelos geológicos.

La utilización de los modelos de sulfuros masivos no sólo tiene importancia científica, sino que también tiene consecuencias prácticas para el geólogo, tanto en la selección del objeto como en la evaluación del área de prospección. Estos modelos están basados actualmente en una enorme variedad de datos de observación, analíticos, de experimentación y modelaje teórico.

De gran utilidad resultan los modelos elaborados por Cox y Singer (1986) de los depósitos VMS de cobre, de los cuales presentamos un pequeño resumen, por tener profunda incidencia (tipo Chipre) en los depósitos Cuba Libre y Río Negro.

Modelo de sulfuros masivos tipo Chipre.

Identificación.

Sinónimo: Pirita cuprífera.

Productos (Subproductos): Cu (Au, Ag, Zn, Co, Cd).

Ejemplos: Chu Chua, Lang Creek, Hidden Creek, Bonanza, Double Ed (todos en British Columbia, Canadá); Chipre; York Harbour y Betts Cove (Newfoundland, Canada); Turner-Albright EUA); Lokken (Noruega); Oxeo (Guatemala); etc.

Características geológicas.

Descripción condensada: Típicamente los depósitos contienen uno o más lentes de pirita masiva y calcopirita hospedados por rocas volcánicas máficas y subyacidas por una zona de stockwork en forma tubular bien desarrollada.

Ambiente tectónico: Dentro de los Complejos Ofiolíticos formados en cordilleras de extensión oceánicas o retroarco; posiblemente dentro de cuencas marginales encima de zonas de subducción o cerca de islas volcánicas dentro de un ambiente intraplaca.

Ambiente deposicional/geológico: Los lentes comúnmente están en basaltos marinos tholeíticos o calcoalcalinos, comúnmente en almohadillas, cerca de la transición con los sedimentos argilíticos suprayacentes. Muchos lentes parecen estar estructuralmente controlados, alineados cerca de fallas normales.

Edad de la mineralización: Cualquier edad. La mayoría son del Ordovícico o Cretáceo. Los yacimientos en British Columbia son primordialmente Mississippiano-Pérmico o Triásico tardío.

Tipos de rocas encajantes/asociadas: Basaltos tholeíticos o calcoalcalinos en almohadillas y flujos, tobas basálticas, pedernales, argilita. Los sombreros suprayacentes consisten en ocre [capa de lutolita pobre en Mn y rica en Fe conteniendo goethita, maghemita ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Fe}_2\text{O}_3$ mezcla) y cuarzo] o pedernal.

Forma de los depósitos: Lentes de sulfuros masivos concordantes suprayaciendo zona cortante de alteración intensa y mineralización en stockwork y la roca encajante hidrotermalmente alterada y suprayacidos por pedernal.

Textura/Estructura: Pirita y calcopirita masivas, de grano fino, algunas veces brechadas o bandeadas?, magnetita masiva, magnetita-talco y talco con contenido variable de sulfuro, capas de pedernal asociada, localmente brechada, contiene sulfuros diseminados. Diseminada, mineralización en venas y stockwork bajo los lentes.

Mineralogía de las menas (Principal y subordinada): Pirita, calcopirita, magnetita, esfalerita. Marcasita, galenita, pirrotina, cubanita, estanita-besterita, hematita. Algunas veces alteración goethítica del tope de la capa sulfurosa.

Mineralogía de ganga: Talco, pedernal, magnetita, clorita.

Mineralogía de alteración: Clorita, talco, carbonato, sericita y venas de cuarzo en el centro de la zona de vetillas, algunas veces con una envoltura de albita débil con alteración illítica.

Controles de mena: Control estructural prominente con agrupación o alineamientos de lentes sulfurosos a lo largo de fallas normales tempranas, cerca de la transición desde los basaltos máficos en almohadillas (menos común tobas máficas) hasta el material fino pelágico suprayacente.

Modelo genético: Deposición en fondo oceánico de aglomerados (montículos) sulfurosos contemporáneos con el vulcanismo máfico, tales como cordilleras de expansión.

Tipos de depósitos asociados: Mineralización de Cu (-Au) en venas y stockwork; pedernales ricos en Mn y Fe y yacimientos de magnetita (-talco) masiva.

RESULTADOS

Geología

El antiguo Yacimiento Cuba Libre - Río Negro y probablemente Bayatabo y La Columbia se encuentran dentro de bloques de rocas de composición gabro-diabásica, los cuales han sido considerados como representantes del Complejo de Diques. Ver figura 2. Estos bloques se encuentran hundidos dentro del Complejo Cumulativo, este último compuesto por rocas serpentinizadas, peridotitas, gabroides, etc. Todos los contactos que han podido ser observados entre los bloques y las rocas ultrabásicas son tectónicos.

Dentro de los Complejos de Diques y el Complejo Efusivo se han observado todas las manifestaciones y pequeños yacimientos de cobre y otros sulfuros hasta ahora conocidos de la Asociación Ofiolítica.

Magmatismo y vulcanismo.

Las rocas del Complejo de Diques están formadas por cuerpos magmáticos con una posición vertical a sub-vertical, compuestos por gabros de composición normal y diabasas, los cuales se presentan en forma de cuerpos sub-volcánicos de cuello, stocks, filones, diques, etc., de muy variados espesores. En general representan facies de rocas que consolidaron a profundidades relativamente cerca de la superficie. En su mayoría las rocas representan a facies sub-volcánicas o sub-intrusivas, no obstante se han encontrado dentro de estas, rocas de composición basáltico-variolítica, las cuales evidentemente son efusivas, posiblemente representen a fragmentos. Quizás en un mismo nivel de profundidad se encuentren las dos rocas, como consecuencia del aumento de la superficie original por la continua formación y superimposición de las rocas efusivas (la formación continua de derrames basálticos a lo largo de zonas de Rift, representada por zonas de diques). Es probable también que estos sean producto de la asimilación por las rocas sub-volcánicas en la profundidad de las variedades efusivas al hundirse estas durante la destrucción de las partes más cercanas al fondo marino.

En la cuenca marina se producían derrames de lavas basálticas dando lugar a la formación del Complejo Efusivo, mientras los canales de alimentación de estos volcanes se consolidaban cerca y moderadamente cerca de la superficie, dando lugar a los cuerpos sub-volcánicos gabroides y diabásicos o Complejo de Diques. La composición química de estas rocas es basalto-tholeítica. El otro grupo de rocas que se observa pertenece a las rocas ultrabásicas y gabros que encajan a los bloques mencionados anteriormente. Por su posición las mismas pertenecen al Complejo Cumulativo principalmente y en menor medida al Complejo Peridotítico y las rocas están representadas fundamentalmente por serpentinitas harzburgíticas, diques de gabros olivínicos, troctolitas bandeadas, etc.

Tectónica.

En la actualidad sólo quedan restos de los Complejos de Diques y Efusivo, así como su posición actual ha variado con relación a su origen. Pensamos que existió una intensa asociación de las rocas minerales con zonas alargadas de fracturas en los fondos oceánicos de un mar marginal (Riftogénesis) que suministraban el material basáltico. Las direcciones principales de estas zonas fueron E-W. Posteriormente y como consecuencia de los movimientos de sobre empuje en la antigua corteza oceánica que obducciona sobre el Margen Continental se produce esa mezcla de rocas conocida como Melange.

Los bloques mencionados ocupan la posición tectónica actual como consecuencia de sistemas de fallas paralelas entre sí, con dirección aproximada NE-SW, lo que condiciona un sistema de bloques con hundimientos y ascensos de los mismos. Parte de estos bloques representan a los Complejos

Efusivos y de Diques y en algunas de ellas se manifiesta la mineralización cuprífera. Pensamos que el Complejo Efusivo está aún menos representado que el Complejo de Diques.

Hidrogeología.

Las rocas a las cuales se asocian las manifestaciones minerales, se incluyen dentro del complejo acuífero de las Ofiolitas, caracterizadas, debido a su baja porosidad, por coeficientes de filtración reducidos excepto en las zonas de fracturas tectónicas donde el agrietamiento propicia una circulación más activa de las aguas.

Dentro de los límites del área no han sido realizados trabajos de filtración, no obstante, se pueden asumir valores de la transmisibilidad del orden de 100 m²/día, dada la posibilidad de encontrar zonas tanto compactas como agrietadas por los sistemas de falla allí presentes. Esto se corrobora por los trabajos realizados en otros puntos por la Empresa de Hidroeconomía donde, con gastos de 0.3-19.5 l/s se alcanzaron abatimientos de 1-31m.

La composición química de las aguas es variable: cloruradas sódicas- hidrocarbonatadas sódicas y cálcicas, lo que se corresponde con los diferentes orígenes con que ellas se relacionan.

Geoquímica

Los trabajos de prospección geoquímica mediante el método de sedimentos de fondo revelaron puntos de interés con contenidos anómalos de Cu. En el área del yacimiento Cuba Libre y Río Negro, las muestras tomadas en las cañadas y arroyos que bordean este sector presentaron contenidos de Cu de 120 hasta más de 500 ppm.

La manifestación de Bayatabo se reflejó mediante 2 puntos en un afluente del arroyo Concepción que proviene de esta zona, con contenidos de 80 y 119 ppm de Cu.

A partir de los resultados del muestreo de suelos (metalometría) realizado, se presentaron anomalías de Cu, Zn y de menor intensidad y dimensiones de Au y Hg. Los demás elementos (Ag, As, Bi, Mo, Sb) en su mayor por ciento se encontraban por debajo del límite de detección o en valores muy bajos. El Pb no presentó valores anómalos. Se trabajó con valores truncados de Cu del total de análisis, ya que los contenidos muy altos de Cu son producto de las zonas de oxidación mineralizadas (malaquita, azurita y otros minerales de Cu). Las anomalías de Cu se relacionan directamente a las manifestaciones de cobre conocidas (Río Negro, Cuba Libre, Columbia), contorneando a estas de forma muy precisa con centros anómalos de 0.1% a mayores de 1%, que coinciden con las partes más elevadas del relieve. El resto de las anomalías de Cu de menor intensidad se extienden en el contacto entre serpentinitas y las rocas alteradas tomando una forma lenticular truncada, que se divide en dos, la parte este y la oeste, que convergen en el punto central del área. El Zn tiene semejante comportamiento espacial, formando anomalías de menor intensidad (máximo de 450 ppm) y extensión.

Los pocos valores de interés de Au, se disponen en los bordes externos de los centros anómalos de Cu y Zn, generalmente en las partes más bajas del relieve. El Hg se presenta mayormente en valores de 1 ppm y en aislados casos de 2 a 3 ppm, asociados a los centros anómalos de Cu y Zn y en algunos casos con los valores de interés de Au.

La configuración de las anomalías de mayor intensidad se corresponden con la mineralización de sulfuros de Cu en vetas de cuarzo, el resto de las anomalías más débiles nos señalan la posibilidad de encontrar este tipo de mineralización, pero más profunda, en la misma dirección de las manifestaciones Río Negro y Cuba Libre y en el punto donde ellas se cortan.

Mineralogía

La deposición y proporción de los minerales en la zona CL-RN se muestra en la tabla II. Sus características y su modo de ocurrencia se describen más abajo.

Tabla II. Esquema representativo de los principales minerales metálicos.

Depósitos	Pirita	Calcopirita	Pirrotina	Covelina	Cubanita	Bornita
Cuba Libre	< 30%	< 10%	< 1%	< 1%	Raros granos	Raros granos
Río Negro	< 30%	< 10%	< 1%	< 1%	Raros granos	Raros granos

La pirita es el sulfuro dominante presentándose de dos formas. La pirita I forma cristales euhedrales y subhedrales. Contienen inclusiones de calcopirita y bornita en ocasiones. La pirita II es la más tardía, ocurre en forma colomórfica formando entrecrecimientos con la pirita I. Esta última variedad se observa en la zona de RN a profundidades de 21-68m.

La calcopirita es el segundo mineral en abundancia. Rellena los intersticios de los granos de la pirita y a veces se incluye en esta última. En ocasiones sus granos presentan formas anhedrales y se disponen dispersos en los minerales de ganga, alcanzando hasta 1.11mm. En ocasiones se altera parcialmente o completamente a covelina, la que se dispone en forma de rebordes o en las fracturas.

La pirrotina no es muy abundante. Aparece incluida en ocasiones en la pirita I, con tamaños inferiores a 0.0123 mm. En otros casos forma cristales tabulares dispersos en los minerales formadores de ganga.

La bornita aparece incluida en pirita I entrecrecida con la calcopirita. Su tamaño no excede 0.0123 mm.

La cubanita aparece raramente, entrecrecida con calcopirita formando una textura laminada. Los minerales hipergénicos son: goethita, hidrogoethita, hematita, malaquita, azurita y calcosina. Los hidróxidos de hierro son los más desarrollados en la superficie del depósito.

El oro y la plata no fueron observados directamente por los análisis mineralógicos realizados, ni tampoco se obtuvieron resultados cuantitativos de análisis químico. Sin embargo se han reportado contenidos de oro de hasta 0.5 g/t y de plata de hasta 1-3 g/t.

Petrografía

De las trincheras y pozos de perforación se tomaron un número suficiente de muestras para realizarles estudios petrográficos. Las principales características descritas son las siguientes:

Grupo de rocas del Complejo de Diques:

Las diabasas por lo general son de grano medio – grueso, se presentan anfibolitizadas cuando están cercanas a la mineralización sulfurosa así como cloritizadas, epidotizadas y cuarcificadas. Los gabros son de composición normal por lo general prehnitizados; cerca y dentro de las zonas mineralizadas cloritizados, epidotizados, cuarcificados. Las rocas anteriores dentro de las zonas minerales se presentan con ligera diseminación de pirita.

Se observaron 3 muestras que representaban pequeños intervalos de basaltos afíricos, hialoclastíticos del Complejo Efusivo. Las rocas de alteración hidrotermal por lo general se representan por vetas de cuarzo con fragmentos de rocas muy cloritizadas, cuarcificadas, epidotizadas, sulfidizadas, en ocasiones milonitizadas y cataclastizadas.

Grupo de rocas del Complejo Cumulativo:

Las serpentinitas harzburgíticas por lo general están cataclastizadas y a veces bandeadas. Los gabros olivínicos de grano medio a grueso están serpentinizados. En estas rocas no se detectó ningún tipo de alteración metasomática o hidrotermal.

Fueron seleccionadas 13 muestras de los pozos de perforación de Cuba Libre y Río Negro, las que se plotearon en los diferentes diagramas de variación. Sus características petrográficas y petroquímicas se detallan en las tablas III y IV.

Tabla III. Análisis químico completo. (Muestras de pozos CL y RN).

No. Muestras	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	CaO (%)	MgO (%)	P ₂ O ₅ (%)	FeO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	MnO (%)	S (%)	SO ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
1	46.34	15.74	1.05	13.04	8.36	0.08	5.85	0.13	1.99	0.505	< 0.2	< 0.2	4.46
2	49.88	13.95	0.79	7.11	10.17	0.06	6.93	1.38	3.07	0.350	0.21	0.52	2.34
3	48.44	12.76	1.11	9.85	8.73	0.17	7.74	0.38	3.91	0.224	< 0.2	< 0.2	2.03
4	49.04	13.88	1.84	7.48	7.50	0.26	9.27	0.13	3.49	0.347	0.27	0.70	3.34
5	49.91	15.33	0.98	9.19	9.10	0.14	6.97	0.63	3.49	0.131	< 0.2	< 0.2	2.21
6	47.01	13.37	0.75	11.56	12.30	0.20	5.93	0.13	2.56	0.089	< 0.2	< 0.2	1.46
7	49.72	12.67	1.96	8.30	6.44	0.31	4.67	0.63	2.79	0.169	< 0.2	< 0.2	7.80
8	44.07	14.85	1.50	12.67	7.08	0.32	4.78	0.63	2.65	0.086	0.47	1.16	4.50
9	42.73	20.62	0.24	8.96	11.50	0.05	3.93	0.25	2.42	0.063	0.52	< 0.2	1.51
10	49.68	13.73	1.96	9.04	6.65	0.31	9.41	0.25	3.77	0.155	< 0.2	0.38	4.05
11	49.37	18.59	1.76	8.00	4.42	0.16	5.68	0.50	4.74	0.099	< 0.2	0.20	2.75
12	47.34	13.45	2.63	9.04	5.80	0.34	9.91	0.13	3.77	0.175	0.87	2.16	4.69
13	48.14	14.92	1.40	11.19	7.67	0.11	9.12	0.13	2.79	0.311	0.45	1.14	2.08

SEGUNDA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS '2007.

Memorias en CD-Rom, La Habana, 20-23 de Marzo de 2007

Tabla IV. Características petrográficas de 13 muestras de pozos CL y RN.

No. Muestras.	Pozo	Profundidad (m)	Descripción petrográfica.
1	RN-1	34.3	Gabro de grano medio-fino anfibolitizado y algo cloritizado.
2	RN-1	53.0	Gabro de grano medio anfibolitizado y cloritizado con sulfuros (~1%).
3	RN-1	101.0	Gabro de grano medio a grueso algo anfibolitizado, prehnitizado y epidotizado.
4	CL-1	35.0	Gabro de grano medio-grueso anfibolitizado.
5	CL-1	52.0	Gabro de grano muy grueso poco alterado.
6	CL-1	60.0	Gabro heterogranular prehnitizado.
7	CL-1	69.85	Basalto algo alterado.
8	CL-1	82.25	Hialoclastita? alterada
9	RN-4	28.0	Gabro olivínico de grano medio-grueso algo serpentizado.
10	CL-2	29.5	Diabasa de grano fino-medio anfibolitizada con vetillas de calcita.
11	CL-3	48.0	Gabro de grano medio.
12	CL-3	31.9	Diabasa anfibolitizada de grano medio con sulfuros dispersos.
13	CL-3	123.3	Porfirita diabásica algo anfibolitizada con sulfuros (2-3%).

Estimación de Recursos

La elaboración y procesamiento de toda la información permitió realizar una estimación de recursos. Los resultados se muestran en las tablas V, VI y VII.

Tabla V. Estimación de recursos. Sector Cuba Libre-Circunvalación.

Cuerpos		Recursos de mena (t).	Cu (%).	Reservas metálicas (t).
Cuerpo Norte	Zona oxidación	112 200	0.67	751
	Zona primaria	299 200	1.05	3 141
Total Cuerpo Norte		411 400	0.95	3 892
Cuerpo Sur	Zona oxidación	265 200	0.82	2 174
	Zona primaria	340 000	1.07	3 638
Total Cuerpo Sur		605 200	0.96	5 812
Total z.o, cuerpos N+S		377 400	0.77	2 925
Total z.p, cuerpos N+S		639 200	1.06	6 779
Total cuerpos N+S		1 016 600	0.95	9 704

Tabla VI. Estimación de recursos. Sector Río Negro.

Zonas	Recursos de mena (t).	Cu (%).	Reservas metálicas (t).
Zona oxidación	92 505	0.83	758
Zona primaria	360 000	1.53	5 508
Total cuerpo R.N	452 505	1.88	6 266

Tabla VII. Estimación de recursos Total.

Zonas	Recursos de mena (t).	Cu (%).	Reservas metálicas (t).
Total z.o, R.N+C.L	469 905	0.78	3 683
Total z.p, R.N+C.L	999 200	1.23	12 287
Total R.N+C.L	1 469 105	1.09	15 970

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Hay una marcada diferencia entre la composición química y mineralógica de los gabros normales que se manifiestan en el Complejo de Diques y los gabros olivínicos que se encuentran en el Complejo Cumulativo. Mientras en el primero la composición fundamental es la plagioclasa y el clinopiroxeno, en los segundos es plagioclasa y olivino. En la composición química el gabo normal es más rico en K_2O y SiO_2 .

Al parecer los gabros de composición normal han estado sometidos a una diferenciación mayor. Es probable que los mismos provengan de una cámara magmática formada en un estadio posterior al principal. Quizás esto explique los contactos magmáticos en los dos tipos de gabros.

Se pueden considerar dos etapas principales tectónicas que tuvieron relación con la mineralización. La inicial y de una forma directa, son las grandes fracturas o sistemas de fracturas de los fondos oceánicos que sirvieron como los centros formadores de corteza oceánica y cuerpos minerales sulfurosos. La segunda etapa (post-mineral) ya dentro de la etapa del movimiento de sobre empuje de la corteza oceánica, produce la destrucción y cambio de la posición original de los cuatro complejos de la Asociación Ofiolítica, aunque algunos bloques de los Complejos de Diques y Efusivo se preservaron al ser hundidos, siendo más tarde descubiertos por la erosión. Dentro de los bloques se observan zonas de fallas que desplazan sus estructuras internas. Estas zonas están relacionadas con la etapa No. 2. Con relación a si hay más de una zona mineralizada potente o una misma zona desplazada por tectónica en estos momentos no hay suficientes intercepciones de perforaciones profundas que aclaren la situación.

En los Sectores Cuba Libre y Río Negro se ve claramente una asociación de la mineralización con el magmatismo. Una de las posibles génesis de la mineralización pudo ser la siguiente: Si partimos de la base de que el Complejo de Diques (o canales de alimentación) son las vías que utilizaron tanto el magma como las soluciones minerales en su ascenso a la superficie de fondo marino, dando lugar al Complejo Efusivo, así como a los yacimientos estratiformes tipo Chipre (o Kolchedan), entonces podemos inferir que parte de esas soluciones no alcanzaron el fondo oceánico, depositándose a diferentes profundidades en forma de filones de cuarzo con sulfuros en los cuerpos subvolcánicos – subintrusivos del Complejo de Diques. Si los yacimientos estratiformes del Complejo Efusivo tienen un carácter exhalativo, la mineralización filoniana del Complejo de Diques es hidrotermal.

Los yacimientos cuarzo-cupro-pirítico-pirrotínicos del territorio tienen características que lo diferencian de los yacimientos piríticos o pirítico-cupríferos del Complejo Efusivo.

Yacimientos pertenecientes al C.E

Cuarzo tiene una participación menor.

Asociados a mantos de lavas basálticas o andesito-basálticas.

Forman cuerpos lentiformes estratificados con las estructuras.

Abundante pirita que forma cuerpos aislados industriales o bandas.

Estructuras colomórficas.

Yacimientos pertenecientes al C.D

Estrecha asociación con vetas de cuarzo.

Asociados a cuerpos sub-volcánicos gabro-diabásicos.

Forman filones minerales, cortantes a las estructuras.

Moderada cantidad de pirita.

No hay estructuras colomórficas.

Una particularidad para estos depósitos de sulfuro masivo vulcanógenos tipo Chipre son sus rasgos geoquímicos, caracterizados por la presencia de Cu, Zn, Ni, Co, cuyos contenidos son aproximadamente comparables con los de otras zonas de stockwork de depósitos de este tipo en Chipre. Ver tabla VIII.

Tabla VIII. Distribución de Cu, Zn, Ni, S y Co en Cuba Libre y su comparación con depósitos de Chipre.

Depósito	Zona mineralizada	No. de muestra	S (%)	Cu (%)	Zn (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)
Cuba Libre	Stockwork	1	2.14	2.45	100	< 100	< 50
Kokkinoya (drill hole M72)	Stockwork	2	n.d	2.48	2725	118	40
Kokkinoya (drill hole M72)	Stockwork	1	n.d	2.00	600	125	50

n.d: no determinado.

Los datos de comparación de Chipre fueron tomados de Constantiou, G. et al. 1973.

Los yacimientos y manifestaciones están caracterizados por una mineralización de forma irregular, de nidos y vetillas, acompañada por zonas de alteración hidrotermal representada por vetas de cuarzo fundamentalmente y en menor proporción, cloritización y procesos de anfibolitización. El sector Cuba Libre presenta zonas de cuarcificación mineralizadas, acompañadas de epidotización, cloritización y anfibolitización. El contenido de sulfuros es menor del 30%. Esto, unido a las particularidades morfológicas de la mineralización metálica, nos sugiere estar en la presencia de una zona de stockwork.

Las muestras analizadas y ploteadas en los diagramas de variación demostraron un ambiente geotectónico de formación de Asociación Ofiolítica, al caer la mayoría de ellas en los campos de tholeitas abisales o MORB. Ver figuras 3 y 4.

Guías para la exploración

En la actualidad se han acumulado un buen número de observaciones que sirven de guía para la exploración, entre las que resumimos las siguientes:

Patrón geoquímico: Como elementos principales tenemos el Cu y el Zn. Existe una reducción muy común en los contenidos de Ca y Na, pudiendo haber un enriquecimiento local menor de Na (poco común). Posibilidad de un enriquecimiento local de K y existencia de un enriquecimiento prominente de Fe y Mn en la zona de vetillas subyacente.

Patrón geofísico: Los lentes sulfurosos usualmente muestran una anomalía electromagnética o de polarización inducida dependiendo del estilo de mineralización y la presencia de sulfuros conductores.

Otras guías de exploración: Presencia de rocas volcánicas ofiolíticas máficas. Transición hacia argillita. Se observa una agrupación o alineamiento de los yacimientos indicando un control estructural por fallas. Existen horizontes de ocre y exhalitas (pedernales) y horizontes regionales piríticos.

Los principales criterios en la orientación de la búsqueda son los siguientes:

- Dentro de la Asociación Ofiolítica la presencia de rocas de composición gabro-diabasa-basaltos, en formas subvolcánicas o efusivas.
- Vetas de cuarzo dentro de las rocas descritas anteriormente, así como zonas de limonitización.
- Contactos de las rocas gabro-diabásicas y las rocas de composición ultrabásica.

Los indicios de búsquedas locales son los siguientes:

- Elevaciones topográficas del terreno, dentro de la llanura (incluso elevaciones que no sobrepasan de 10-15m sobre el plano de la llanura).
- Antiguos laboreos mineros.
- Estudio y análisis de las antiguas escombreras.
- Observación del material de relleno de los terraplenes, ya que en muchas ocasiones se utilizan antiguas canteras o excavaciones con mineralización.

Por sus características estos yacimientos tipo filones cuarzo-pirita-calcopirita-pirrotina mantienen una persistencia con la profundidad.

Es frecuente que formen bolsones y bonanzas en ciertos intervalos, por lo general en zonas de intersección de dos sistemas tectónicos. Los cuerpos minerales ciegos no son raros. Al mismo tiempo la antigua extracción no debe de haber sobrepasado la zona de enriquecimiento secundario, ya que los antiguos mineros buscaban menas ricas fáciles de extraer y procesar. Mineral con contenidos que hace 50-60 años no eran procesables y no era económica su extracción, hoy día son minerales rentables e industriales. La abundancia de minerales o yacimientos de cobre en Cuba, hasta la fecha, es poca, por lo cual en nuestra opinión, pequeños yacimientos, entre 300 000T-800 000T de menas se deben conocer al menos, sus recursos, morfología y características minerales (hasta cierto límite) con el fin de que en un futuro se puedan convertir en yacimientos.

CONCLUSIONES

1. La Asociación Ofiolítica de Camagüey contiene un yacimiento potencialmente significativo de sulfuros masivos vulcanógenos de cobre y posiblemente con oro tipo Chipre.
2. El yacimiento Cuba Libre-Río Negro y posiblemente las manifestaciones La Columbia y Bayatabo se encuentran dentro de bloques de rocas de composición gabro-diabásicas, los cuales han sido considerados representantes del Complejo de Diques, debajo de sulfuros masivos erosionados.
3. Debido a que los depósitos tipo Chipre usualmente se encuentran en grupos, la existencia de al menos uno aparentemente grande, indica que existe una potencialidad razonable para el

descubrimiento de yacimientos similares dentro de la región, específicamente dentro de la facies superior de diabasa-flujos basálticos del Complejo Ofiolítico.

4. Se brindan además métodos y conocimientos avanzados en los campos de la geoquímica, petroquímica, mineralogía, geofísica, así como criterios, indicios y guías de exploración para el descubrimiento de nuevos yacimientos de este tipo, o de otros, que potencialmente se pueden encontrar dentro de la Asociación Ofiolítica.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con los trabajos de exploración en los yacimientos Cuba Libre y Río Negro con presencia de cuerpos minerales de cobre y en las demás manifestaciones con indicios de mineralización cuprífera (La Columbia, Bayatabo).
2. Con el grado de conocimiento alcanzado sería importante realizar trabajos de reconocimiento en el resto de la Asociación Ofiolítica teniendo en cuenta todos los elementos con que contamos para encontrar nuevas manifestaciones de cobre.

BIBLIOGRAFIA

- Chang R., A. "Caracterización geólogo-geoquímica y mineralógica de los yacimientos VMS de cobre de la Asociación Ofiolítica de Camagüey, Cuba". Tesis en opción al grado científico de Master en Ciencias Geológicas. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Facultad de Minería y Geología. Moa. Holguín, Cuba. 2002.
- Colectivo de autores. Petrología y mineralización de la Asociación Ofiolítica en la región de Camagüey. I.G.P. La Habana. 1999.
- Coleman, R. G. Ofiolitas (inglés). Editorial Springer-Verlog. Berlín. 1977.
- Constantinou, G. and Govett, G.J.S. Genesis of Sulphide Deposits, Ochre and Umber of Cyprus. *Institution of Mining and Metallurgy*. Volume 8, pages B36-B46. 1972.
- Cox, D.P. and Singer, D.A. Mineral Deposit Models. *U.S. Geological Survey*. Bulletin 1693, 379 pages. 1986.
- Escobar, Eugenio. Informe sobre los resultados de las búsquedas acompañantes al levantamiento geológico complejo 1: 50 000 del polígono Camagüey. ONRM. 1987.
- Escobar, Eugenio. Prospección Preliminar y Detallada de Cobre Cuba Libre. PTE. 1990.
- Frankling, J.M.; Lydon, J.W. and Sangster, D.M. Volcanic-associated Massive Sulfide Deposits. *Economic Geology*, 75 Anniversary Volume, pages 485-627. 1981.
- González P, R.; Chang, A. "Banco de Datos Geológicos sobre las Cromitas de Camagüey". La Habana. O. N. R. M. 1998.
- Hoy, T. Volcanogenic Massive Sulphide Deposits in British Columbia, in Ore Deposits, tectonics and Metallogeny in the Canadian Cordillera, McMillan, W.J., Coordinator, *B.C. Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources*, Paper 1991-4, pages 89-123. 1991.
- Iturralde-Vinent, M. "Ofiolitas de Cuba".
- Iturralde Vinent, M.; Hartwich, R; Berger, W.; Roth, W.; Wolf, D.; Baisert, D. y otros. Informe sobre los resultados del levantamiento geológico complejo 1:50 000 del polígono Camagüey. 1986. O.N.R.M.
- Iturralde-Vinent, M. "Introducción a la Geología de Cuba" en: Estudios sobre Geología de Cuba. Furrázola Bermúdez y Núñez Cambra K. (editores). Centro Nacional de Información Geológica. 1997. pp. 36-68. La Habana.
- Lydon, J. W. Volcanogenic Massive Sulphide Deposits, Part 2: Genetic Models. *Geoscience Canada*. Volume 15, pages 43-65. 1988.
- Spooner, E. T. C. Cu-pyrite Mineralization and Seawater Convection in Oceanic Crust- The Ophiolite Ore Deposits of Cyprus; in the Continental Crust and its Mineral Deposits, Strangway, D. W., Editor, *Geological Association of Canada*, Special Paper 20, pages 685-704. 1980.

Tchounev D.; Iturralde Vinent M y otros. Informe sobre las investigaciones y resultados del levantamiento geológico a escala 1: 250 000 en el territorio de Ciego-Camagüey-Las Tunas, 1981. Academia de Ciencias de Cuba y Academia de Ciencias de Bulgaria. O.N.R.M.

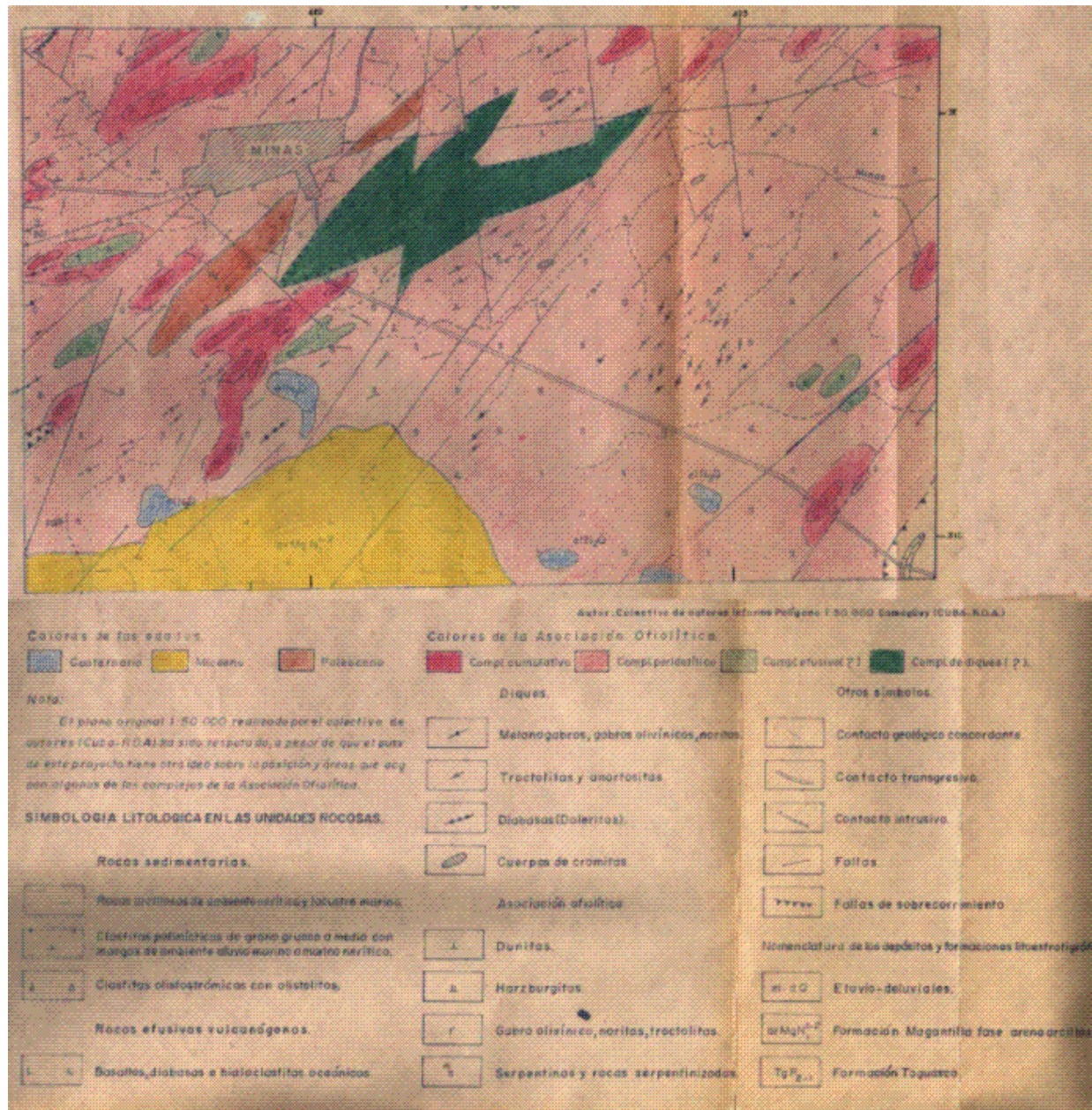


Figura 1. Mapa geológico regional.

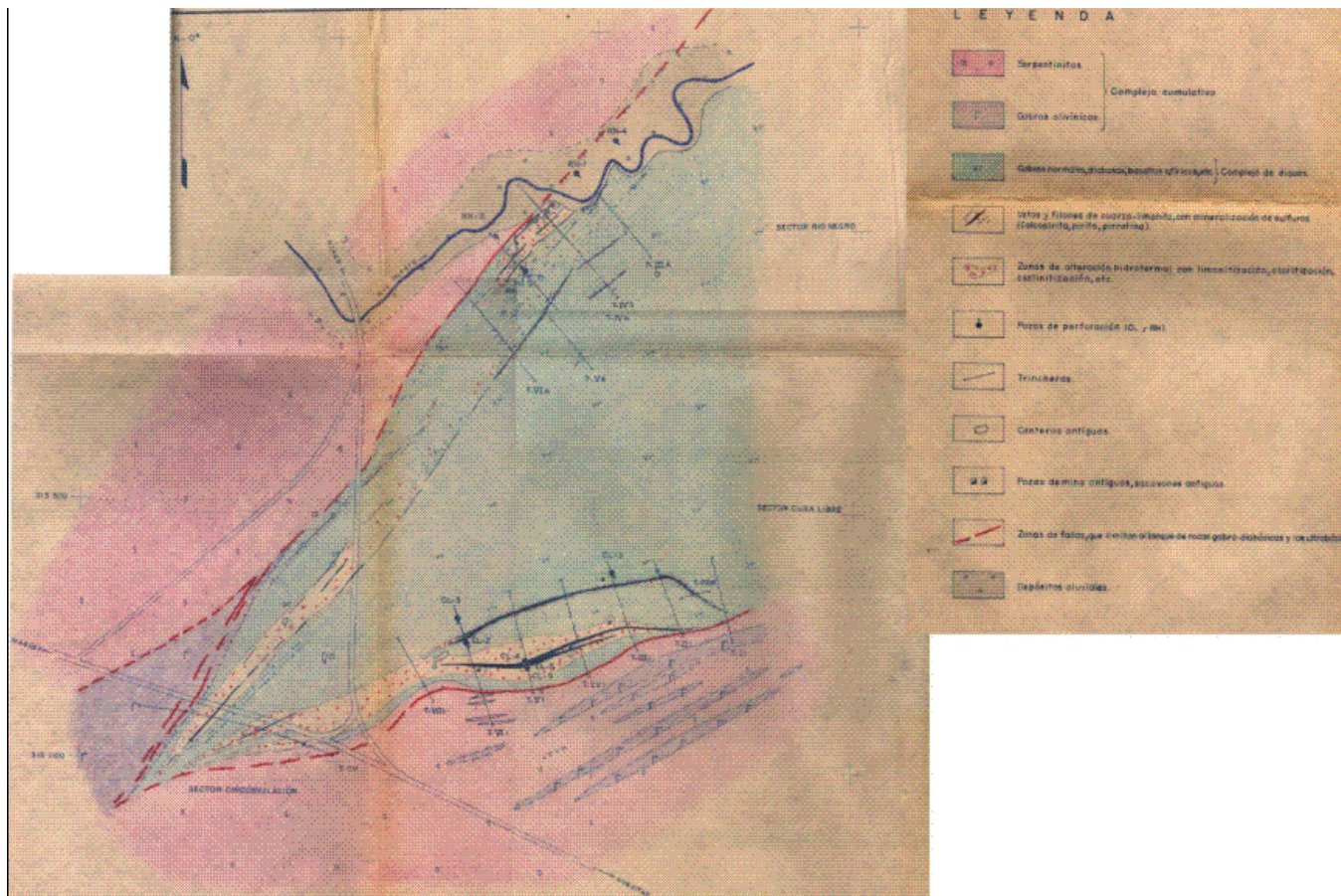


Figura 2. Mapa geológico sector Cuba Libre-Río Negro.

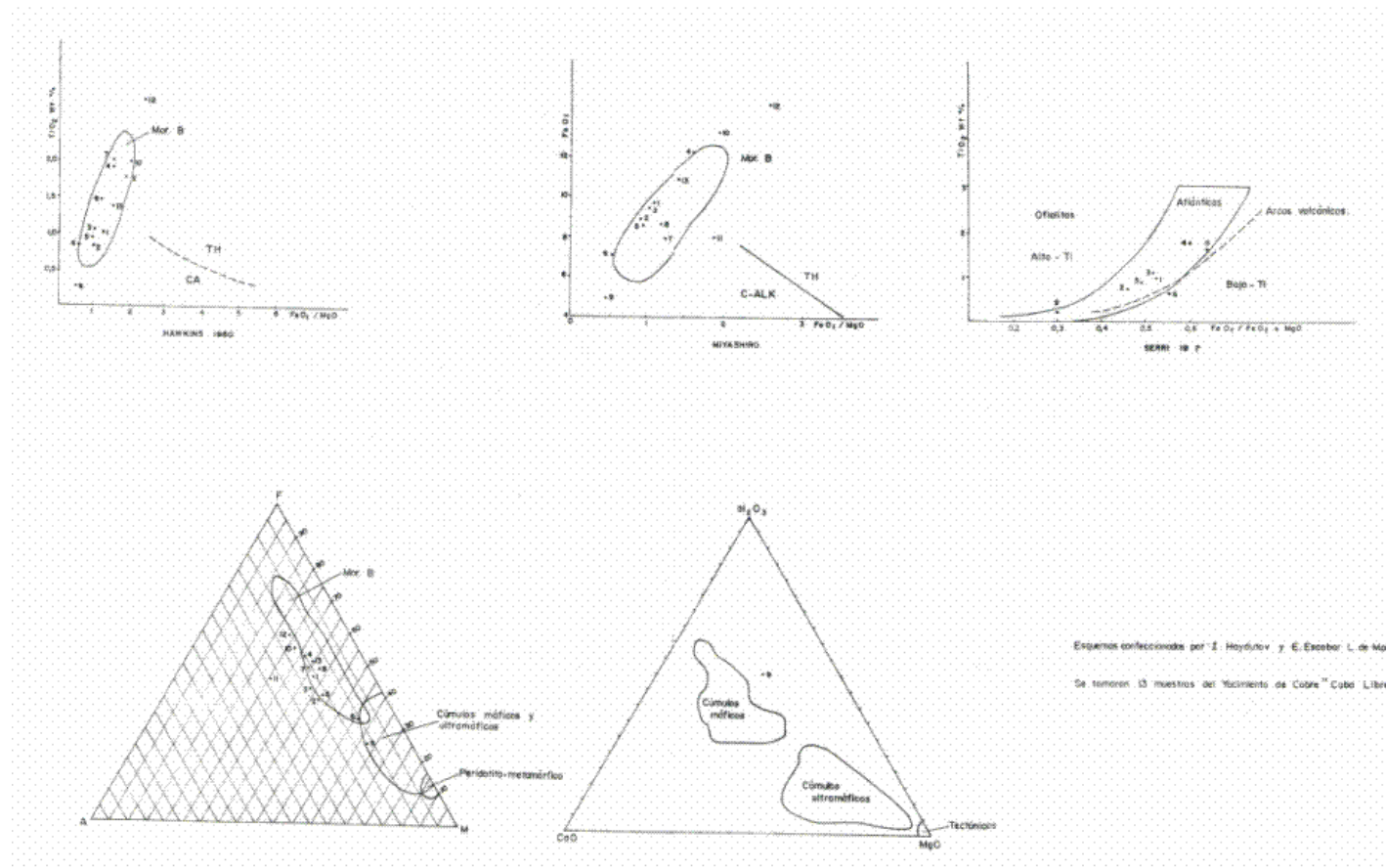


Figura 3. Diagramas de variación.

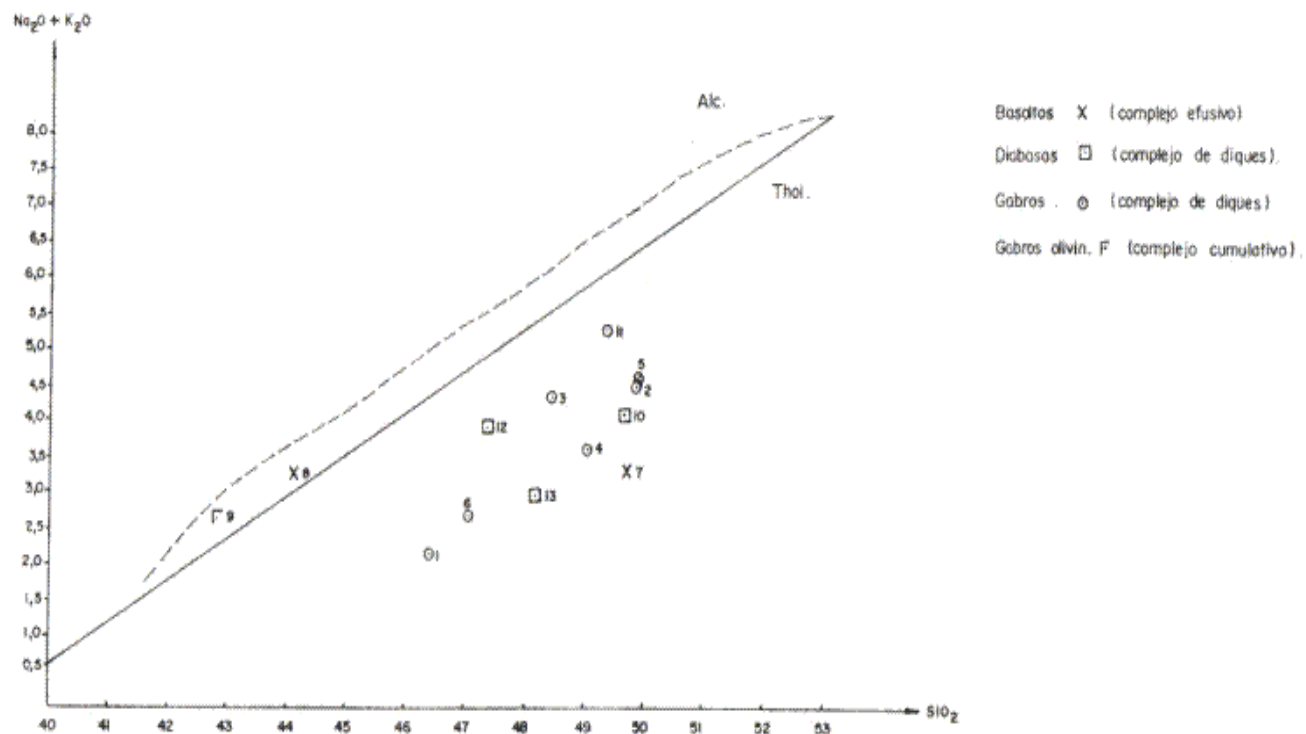


Figura 4. Diagrama de variación de SiO₂ / (Na₂O+K₂O).

NUEVAS PERSPECTIVAS PARA LA EXPLORACIÓN DE LOS DEPÓSITOS DE CROMO REFRACTARIO DE CAMAGÜEY

Rubén B. González Pontón ⁽¹⁾, Jorge Pérez Acosta ⁽¹⁾, Francisco Rodríguez Elías ⁽¹⁾, Eligio Eymil Romero ⁽¹⁾, Dania Rubante Martín ⁽¹⁾.

(1) Empresa Geominera Camagüey. Carretera Central Este, Km. 5½. Camagüey.

RESUMEN

La metalogenia del Complejo Ofiolítico de Camagüey es rica por la diversidad de mineralizaciones metálicas; la más importante se considera el cromo. La minería camagüeyana tuvo su apogeo irracional antes de la Revolución con la extracción de cromo refractario en cientos de manifestaciones. Su reapertura no ha sido posible. Sin embargo, Camagüey cuenta con gran cantidad de recursos cromíticos.

Nuevas perspectivas se abren por el agotamiento de reservas en Moa y la demanda de clientes, que hacen de estos depósitos, objetivos económicamente atractivos para nuevas inversiones.

La exploración detallada en "Mamina" conllevará al contorneo preciso de sus recursos. En 1989 se secó la cantera y se extrajeron unas 5000 t. de su piso, lo que constituye una ventaja con respecto a otros cuerpos que implican el escomboreo de grandes volúmenes de roca. Se propone como objetivo prioritario. Los recursos se incrementarán a más de 100 000 t.

"Victoria – I" prácticamente aflora. Dos cuerpos minerales generados por la tectónica a partir de uno primario, poseen recursos medidos + indicados superiores a 149 000 t. La exploración detallada complementaria definirá el contorneo y determinará la naturaleza de las intercalaciones estériles implicando un incremento de los recursos. Se prevé aumentar el grado de conocimiento hidrogeológico e ingeniero-geológico. Por la cercanía a "Victoria – I" se propone la exploración de "Victoria – II", cuerpo de buzamiento abrupto que aflora en trincheras, con recursos indicados que superan las 34 000 t.

El mayor depósito, "Camagüey- II", con más de 705 000 t. a 40 m. de profundidad se reserva para futuras proyecciones junto a otros prospectos de cromita.

ABSTRACT

The metallogeny of the Camagüey Ophiolite Complex is rich for the diversity of metallic mineralizations; the most important is considered the chromite. The mining had its irrational apogee before the Revolution by the extraction of refractory chromite in hundreds of occurrences. Its reopening has not been possible. However, Camagüey has great quantity of chromite resources.

New perspectives open up due to the exhaustion of reserves in Moa and the demand of clients that make of these deposits, economically attractive objectives for new investments.

The detailed exploration in "Mamina" will precise outlining of resources. In 1989 the quarry was dried off and were extracted some 5000 t. from the floor, what constitutes an advantage with regard to other bodies that imply the extraction of big volumes of rock. It's proposed as high-priority objective. The resources will be increased to more than 100 000 t.

"Victoria-I" practically outcrops. Two mineral bodies generated by a tectonic fault starting from one primary, have resources in categories measured + indicated superiors to 149 000 t. The complementary detailed exploration will define contouring and it will determine the nature of the dirt bands, implying an increment of resources. It's expected increasing of hydrogeologic and applied engineering knowledge. Due the proximity to "Victoria-I" it's suggested the exploration of "Victoria-II", body of abrupt dipping that outcrops in trenches, with resources that exceed 34 000 t. of category indicated.

The biggest deposit "Camagüey - II", with more than 705 000 t. at 40 m. depth, is seaved for future projections next to other chromite prospects.

INTRODUCCIÓN

La metalogenia del Complejo Ofiolítico de Camagüey es rica por la diversidad de mineralizaciones metálicas que en él se desarrollan. Son numerosos los yacimientos y manifestaciones de cromita refractaria que se localizan dentro del nivel de tectonitas mantélicas, en el nivel de los cúmulos máficos y en la zona de transición entre estos dos niveles. Asociadas a los cuerpos de cromita refractaria son potencialmente interesantes las mineralizaciones de los Elementos del Grupo del Platino y del Oro. Existen algunos prospectos y manifestaciones de cobre de tipo Chipre que están emplazados tectónicamente dentro del nivel cumulativo. En la corteza de intemperismo relíctica de las ultramafitas se ubican depósitos de lateritas níquelíferas.

La minería camagüeyana tuvo su apogeo mucho antes del triunfo de la Revolución con la extracción de cromo refractario en cientos de manifestaciones. La antigua minería se caracterizó por ser extremadamente irracional ya que la mayoría de los cuerpos de cromita fue explotada parcialmente obedeciendo a restricciones relativas a la profundidad de yacencia y afluencia de agua subterránea que encarecían la extracción. El Medio Ambiente recibió un impacto muy agresivo sobre todo en su paisaje, al abandonar las excavaciones realizadas en forma de oquedades y las pilas de escombros en toda la llanura.

La Minería llegó a ser una tradición en el seno de muchas familias de campo, pero poco después de 1959 las compañías norteamericanas y sus subsidiarias comenzaron a retirarse del país y cesaron sus actividades. Su reapertura no ha sido posible hasta el momento a pesar de que los estudios geológicos de prospección y exploración se prolongaron por muchos años. Gracias a estas investigaciones, Camagüey cuenta con gran cantidad de recursos cromíticos.

El cromo refractario cubano se extrajo por muchos años en yacimientos de la parte nororiental de la Isla y a pesar de que los volúmenes no eran significativos, sí fueron considerables. La creación de infraestructuras fuera de ese territorio no era factible, más aún cuando la demanda del material a nivel mundial comenzó a ceder por aspectos medio-ambientales y de sustitución del mismo por otros.

Nuevas perspectivas se abren para Camagüey que hacen posible el renacimiento de la minería en el territorio, debido a la cancelación de la extracción en Moa. La demanda de algunos clientes hace de estos depósitos, objetivos económicamente atractivos para nuevas inversiones. El relieve llano del distrito cromífero de Camagüey es muy favorable respecto al de Moa, así como la accesibilidad determinada por la red de carreteras, caminos y líneas de ferrocarril que conducen a un puerto cercano.

Los trabajos de investigación geológica realizados revelaron un grupo de prospectos que resultan interesantes para efectuar en ellos la exploración, los recursos de los cuales superan el millón de toneladas, distribuidos en cuerpos de dimensiones pequeñas a medianas, de poca profundidad de yacencia, con contenidos cerca de 30 % de Cr_2O_3 y 5-7 % de SiO_2 . A este grupo pertenecen "Mamina", "Victoria – II", "Rosita", "Ferrolana" y otros.

En "Victoria – I" la Exploración Detallada confirmó recursos medidos + indicados superiores a 149 000 ton. que no están sometidos a un Estudio de Factibilidad Económica.

La exploración detallada se culminó en el mayor depósito "Camagüey- II", con más de 705 000 t. a 40 m. de profundidad en 1987, considerándose que ya está listo para la extracción por el método subterráneo según su Estudio de Factibilidad Económica de ese mismo año.

MATERIALES Y MÉTODOS

Geominera Camagüey propuso un Programa de Desarrollo para el Cromo que consiste en la realización de un proyecto de Exploración Complementaria en “Victoria – I”, así como proyectos de Exploración Detallada en “Mamina” y en otros objetivos de menor grado de estudio.

La exploración detallada consistirá fundamentalmente en la perforación de pozos en un volumen de 1000 m. con su consiguiente muestreo y análisis de laboratorio, trabajos topográficos, hidrogeológicos e ingeniero-geológicos, etc.

DISCUSIÓN

Prospecto “Mamina”

“Mamina” es una cantera inundada que tiene unos 150 m. de largo, 50 m. de ancho y unos 10 – 15 m. de profundidad. Fue explotada antes de la Revolución. En el Informe Final de la Búsqueda Detallada de Cromita se calcularon recursos indicados en el orden de 97 000 t.

En 1989 se secó la cantera y se extrajeron unas 5000 t. de su piso, que no fueron utilizadas hasta el 2005 por “Cromo Moa”. La posibilidad de extraer el mineral ya destapado constituye una ventaja con respecto a otros cuerpos que implican el escombrecimiento de grandes volúmenes de roca. Se propone como objetivo prioritario.

El cuerpo mineral tiene rumbo noreste y se extiende por más de 60 m. Su buzamiento es abrupto y su potencia alcanza los 20 m. Las menas son masivas, de grano grueso, generalmente compactas, aunque existen intervalos pequeños cataclastizados. Las rocas de caja se caracterizan como dunitas serpentinizadas.

La morfología al parecer es sencilla, no obstante quedan dudas respecto a la presencia de un segundo cuerpo mineral. No se logró contornear definitivamente el cuerpo debido a la distancia de los pozos desde la orilla y el ángulo de inclinación que fue posible utilizar. Por tal motivo se propone la realización de pozos verticales dentro de la cantera, directamente sobre su piso, para lo cual se requiere el desagüe de la mina y la preparación de las condiciones favorables para el trabajo.

La exploración detallada en “Mamina” conllevará al contorneo preciso de sus recursos indicados. Los recursos se incrementarán a más de 100 000 t. con contenidos promedios de Cr_2O_3 : 29 - 30 %, SiO_2 : 5 - 6 %.

Prospecto “Victoria – I”

“Victoria – I” prácticamente aflora. Está constituido por dos cuerpos minerales generados por la tectónica a partir de uno primario. En el Informe Final de la Exploración en el yacimiento se estimaron recursos medidos + indicados superiores a 149 000 t.

Emplazados en la zona de transición hacia el nivel de cúmulos máficos, los dos cuerpos están constituidos por espinelas de tipo cromopicitita. Presentan textura masiva, grano medio a fino. Se observan intervalos cataclastizados que provocan empobrecimiento.

Las dimensiones de los cuerpos minerales alcanzan en conjunto por su rumbo 90 m; potencia de 15 m. y largo por el buzamiento de 70 m. Los contenidos promedios para el prospecto son: Cr_2O_3 : 29.18 % y SiO_2 : 6.57 %.

Las rocas encajantes están representadas por serpentinitas peridotíticas, lherzolitas y dunitas. En el área del prospecto yace un cuerpo de gabro olivínico perteneciente al nivel cumulativo de las ofiolitas.

La exploración detallada complementaria definirá el contorno y determinará la naturaleza de las intercalaciones estériles implicando un incremento de los recursos. Se prevé aumentar el grado de conocimiento hidrogeológico e ingeniero-geológico por la cercanía a una cantera inundada.

Prospecto “Victoria – II”

Por la cercanía a “Victoria – I” se propone la exploración de “Victoria – II”, cuerpo de buzamiento abrupto que aflora en trincheras, con recursos indicados que superan las 34 000 t. Presenta 5 m. de potencia, unos 40 m. por su rumbo y se extiende 35 m. por su buzamiento. Los contenidos promedios son: Cr_2O_3 : 29.04 % y SiO_2 : 6.81 %.

Las menas son de textura masiva a densamente diseminadas, de grano medio a fino. Las dunitas serpentinizadas forman la clásica camisa alrededor de los cuerpos minerales. Se desarrollan harzburgitas y gabros olivínicos del nivel cumulativo, todos serpentinizados.

El prospecto no está delimitado en su extensión por el rumbo ni por el buzamiento. El contorno más efectivo, con una red más densa de perforación tiene posibilidades de aumentar la cantidad de recursos estimados.

CONCLUSIONES

Camagüey cuenta con recursos cromíticos que superan el millón de t.

La exploración detallada definirá el contorno preciso de los recursos, aumentará las reservas y profundizará el conocimiento ingeniero –geológico e hidrogeológico.

Se requiere de Estudios de Factibilidad Económica en todos los prospectos para elevar los recursos a reservas de mineral.

El orden de prioridad para las exploraciones debe ser: “Mamina”, “Victoria – I”, “Victoria – II”, y otros.

El relieve llano, la poca profundidad de yacencia y la buena accesibilidad disminuirán los costos de extracción respecto a los yacimientos de Oriente.

El mayor depósito, “Camagüey- II”, con más de 705 000 t. se reserva para futuras proyecciones debido a su profundidad de yacencia superior a 40 m. junto a otros prospectos de cromita.

BIBLIOGRAFÍA

González R; W. Berger; J. Richter; D. Hanig; F. Galves; M. Padrón. 1989. Informe Final Búsqueda Detallada de Cromita. Archivo O.N.R.M. La Habana. 458 pp.

González R; J. Richter. 1990. Informe Final de la Exploración en el yacimiento de cromita "Victoria – I". Archivo O.N.R.M. La Habana. 63 pp.

MORFOLOGÍA, TEXTURA Y DISTRIBUCIÓN DE LAS PARTÍCULAS DE ORO EN EL PERFIL DEL SUELO DEL SECTOR CUATRO PALMAS, PROVINCIA DE HOLGUÍN

Ricardo Antonio Álvarez Alonso ⁽¹⁾, **Karen Leyva Félix** ⁽²⁾, **Ricardo Gilberto Álvarez Díaz** ⁽³⁾, **Yirismari Betancourt Urquiaga** ⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ *Unidad de Inversiones Costeras (CITMA)*

⁽²⁾ *Empresa de Perforación. Hidroeconomía. Camaguey*

⁽³⁾ *Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS)*

⁽⁴⁾ *GEOCUBA Holguín.*

RESUMEN

En el trabajo se hace un análisis minucioso de las partículas de oro en los diferentes horizontes del perfil del suelo en relación con sus rasgos morfológicos, texturales y su distribución en estos ambientes.

Se analizan las características texturales de los granos (superficie, porosidad, corrosión). Los resultados obtenidos evidencian los fenómenos de disolución del oro producidos por los agentes de la meteorización.

La mayoría de los granos observados presentan superficies rugosas, con numerosos poros y cavidades de corrosión. Estas texturas evidencian la disolución del oro producida fundamentalmente por los ácidos húmicos y otras soluciones que pudieron haber atacado el oro primario, disolviéndolo y volviendo a redepositarlo. Otro rasgo está dado por el entrecrecimiento con otros minerales, fundamentalmente cuarzo y carbonatos.

El oro se concentra significativamente en la parte superior del perfil del suelo (capa vegetal) predominando las partículas finas, por lo que este horizonte constituye un sitio primordial para la búsqueda y prospección de manifestaciones auríferas en estos ambientes.

Este trabajo puede servir de guía a otros investigadores, ya que el ambiente en que se desarrolla la mineralización en este sector, es muy parecido al de otros distritos auríferos del país.

ABSTRACT

In the work a meticulous analysis of the particles of gold is made in the different horizons of the profile of soil related with its features morphological, textural and its distribution in this environment.

The texture characteristics of the grains are analyzed (surface, porosity, corrosion). The obtained results evidence the phenomenon of break-up of the gold taken place by the agents of the weathering.

Most of the observed grains present rough surfaces, with numerous pores and cavities of corrosion. These textures evidence the break-up of the gold taken place fundamentally by the mould acid and other solutions that they could have attacked the primary gold, dissolving it and returning to deposit it. Another feature is given by the presence with other minerals, fundamentally quartz and carbonates.

The gold concentrates significantly on the superior part of the profile of the floor (layer cover soil) prevailing the fine particles, for what this horizon constitutes a primordial place for the search and prospecting of auriferous manifestations in this environment.

This work can serve from guide to other investigators, the environment in that the mineralization is developed in this sector, is very similar to other auriferous districts of the country.

INTRODUCCIÓN

El área de estudio se encuentra situada en el kilómetro 35 de la carretera que va desde Holguín a Guardalavaca, en la localidad de Cuatro Palmas, abarcando una superficie de aproximadamente 25 km². Comprendida en la hoja topográfica de Santa Lucía 5079-III.

El objeto de la investigación lo constituyen las partículas de oro presentes en el perfil del suelo. El objetivo es determinar la distribución del oro y sus principales rasgos morfológicos y textuales, utilizando las metodologías y técnicas analíticas tradicionales, con vista a establecer un debate sobre su comportamiento.

El estudio de la distribución, morfología y textura del oro surge como una necesidad de esclarecer y profundizar en aspectos relacionados con su origen y concentración en los diferentes horizontes.

Estudiando la distribución de las partículas de oro, así como sus rasgos morfológicos y textuales se puede elaborar un modelo genético acerca de la formación y mecanismos de migración, además de proponer posibles áreas para la búsqueda de nuevos sectores mineralizados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Trabajos preparatorios

Se acopiaron los materiales de campo necesarios para la toma, lavado y almacenaje de las muestras, ellos son: Bateas de aluminio de sección circular, tipo sombrero vietnamita; Tamices de acero; Piqueta; Libreta de campo; Palas; Pico; Bolsas plásticas; Marcadores; Lápices y GPS Marca Maguellan.

Se realizó una extensa búsqueda bibliográfica en diferentes revistas, libros y artículos existentes en el Centro de Información Científico Técnica del ISMMM. Todos los materiales utilizados aparecen reflejados en la referencia bibliográfica de este trabajo.

Trabajos de campo

Los trabajos de campo consistieron en la realización de itinerarios geológicos de reconocimiento y en la aplicación del "Método de los Concentrados Pesados", conocido en Cuba como "método de jagua", para la obtención de la fracción pesada. El reconocimiento geológico tuvo como objetivo principal mapear las diferentes litologías presentes, permitiendo elaborar un esquema geológico de la zona; además de identificar los lugares idóneos para el muestreo.

El método de los concentrados se empleó con la finalidad de revelar el oro existente en los suelos muestreados, las saprolitas y el material carbonatado que se desarrolla dentro de las serpentinitas.

El método de muestreo empleado fue el de surco continuo. El surco tuvo una sección de 20 cm de ancho por 10 cm de profundidad, y el largo dependió del espesor de las capas. El volumen de material a lavar fue de 4 litros. Las muestras fueron envasadas directamente en bolsas de nylon, y enumeradas en la parte exterior.

Se tomaron 19 muestras con las siguientes características:

Tabla I: Tabla de ubicación de las muestras de material.

N/O	No. muestra	Coordenadas		V.(l)	Peso del concentrado	Observaciones
		X	Y			
1	CP - 15 a	597162,2596	268953,7353	4	35,36	Suelo
2	CP - 15 b			4	47,44	Suelo
3	CP - 15 c			4	33,76	Saprolita diorítica
4	CP - 16 a	597051,2306	268184,2704	4	14,91	Suelo
5	CP - 16 b			4	32,04	Saprolita diorítica
6	CP - 16 c			4	36,52	Material arcilloso, carbonatado
7	CP - 16 d			4	81,02	Material carbonatado
8	CP - 17 a	597107,5448	268430,6189	4	64,69	Suelo
9	CP - 17 b			4	65,76	Diorita alterada, con óxidos
10	CP - 18 a	597079,3879	268307,4446	4	102,42	Suelo
11	CP - 18 b			4	39,3	Saprolita sobre diorita
12	CP - 19 a	597167,9404	267969,6732	4	71,3	Serpentinita alterada y silicificada
13	CP - 19 b			4	24,47	Material carbonatado
14	CP - 20			4	148,16	Material serpentinitico silicificado
15	CP - 21 a	597081,1616	267999,9254	4	75,3	Suelo
16	CP - 21 b			4	69,16	Serpentinita carbonatada
17	CP - 22	597222,1222	268585,0452	4	19,85	Saprolita diorítica
18	CP - 23	597137,831	268184,77	4	14,9	Suelo
19	CP - 24	597079,5653	268276,6927	4	10,72	Suelo sobre serpentinita

Antes de proceder al lavado del material este fue tamizado, utilizando dos tamices de acero con abertura de 1 y 0,5 cm respectivamente. El objetivo de esta etapa intermedia fue eliminar los fragmentos de rocas y restos vegetales que retardan el propio proceso de lavado.

La batea se introdujo en el agua y aplicando un movimiento de vaivén por decantación se fueron eliminando las partículas ligeras, quedando en el fondo las pesadas y gruesas. El resultado al final es la acumulación en el fondo de la batea del sedimento más pesado de la muestra, y entre este el oro.

Cabe destacar que durante el lavado de las muestras en el campo, se presentó como limitación, la carencia de agua en los cursos de los arroyos. Los cauces se encontraban totalmente secos debido a la intensa sequía que azotaba a la provincia de Holguín y muy en particular al municipio Rafael Freyre. Esta dramática situación climática imposibilitó realizar el lavado en condiciones normales de campo, por lo que se procedió a tomar el agua de los pozos de los campesinos de la zona. Lo antes expuesto incidió en la baja recuperación del oro si se tiene en cuenta que en condiciones normales con el método empleado es de tan solo el 30 %.

Una vez obtenido el concentrado pesado se colocó en una bolsa de plástico debidamente limpia, y luego se marca con la misma nomenclatura utilizada en la libreta de campo, además de colocar la etiqueta dentro de la muestra.

Trabajos de laboratorios

Las muestras de concentrados pesados obtenidas durante los trabajos de campo, fueron enviadas a los laboratorios de la Facultad de Geología del ISMM de Moa y se sometieron a un proceso de preparación, con el fin de obtener fracciones pesadas en las cuales se concentrara el oro. Se siguió un método secuencial (Fig. 1) de secado, pesaje, separación granulométrica, separación magnética, electromagnética y densimétrica.

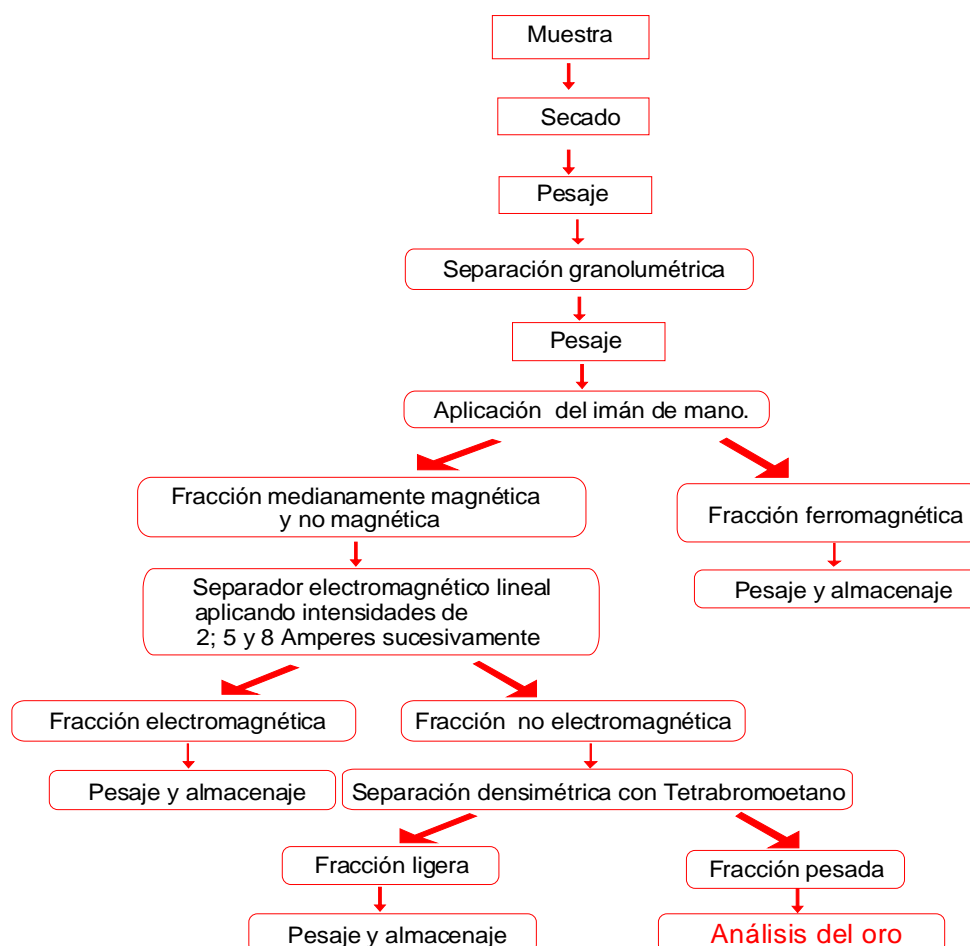


Figura 1. Esquema secuencial de preparación de muestras.

El primer secado de las muestras se efectúa por medio de una estufa de fabricación alemana marca MEMMERT y el tiempo de exposición fue de dos horas a una temperatura de 60 °C. En el segundo y último se empleó un tiempo de treinta minutos, ya que el volumen de las muestras era menor y se secaban más rápido.

El pesaje inicial de las muestras se efectuó con la ayuda de la balanza analítica OWA LABOR de fabricación alemana, la cual realiza mediciones con un error de 0,1 g y tiene capacidad máxima de 1000g.

La separación granulométrica se realizó empleando un juego de tamices de fabricación inglesa con las aberturas (en mm) siguientes: 0,5 ; 0,21 y 0,1. Como resultado final de esta separación se obtuvieron 4 fracciones clases o clases granulométricas :

- 1- Fracción +0,5 mm.
- 2- Fracción -0,5 +0,21 mm.
- 3- Fracción -0,21 +0,1 mm.
- 4- Fracción -0,1 mm.

Seguidamente las fracciones fueron sometidas a un proceso de separación magnética el cual consiste en someter cada fracción granulométrica a la acción de un campo magnético. Esta separación se le realizó a todas las clases granulométricas y para ello se empleó un imán de mano, marca Sochnev-5, de fabricación rusa. La metodología consistió en verter la muestra sobre una hoja de papel logrando crear una superficie plana monogranular por encima de la cual se hace pasar uno de los polos del imán, los minerales atraídos son separados y colocados en un sobre de papel. Como resultado de esta operación en cada muestra de concentrado pesado se obtuvieron dos fracciones: una fracción ferromagnética (FM) y una fracción no magnética (FNM).

La fracción no magnética fue sometida a una separación electromagnética con la ayuda de un separador de inducción del tipo "Rodillo", de fabricación rusa, teniendo en cuenta la intensidad del campo y el ángulo de inclinación del canal vibrante. Esta separación se le practicó a las fracciones con un peso mayor o igual de 10g, (excluyendo las fracciones +0,5mm, ya que la extracción del oro en las mismas se podía hacer a simple vista). El mismo consistió en hacer deslizar la muestra de forma continua a través de un campo electromagnético que opera al final de una canal vibratoria, el cual se divide en dos partes terminales. Los minerales paramagnéticos o electromagnéticos son atraídos por el campo, mientras que los diamagnéticos son rechazados y pasan a la parte inferior de la canal. La separación se realizó utilizando intensidades de 2; 5 y 8 A, (12,5 ; 28 ; 46,5 V), pasando la muestra tres veces por el equipo, y aumentando la intensidad paulatinamente, obteniéndose al final una fracción electromagnética(FE), y una fracción no electromagnética(FNE)

Las fracciones no atraídas con intensidad de campo de 8 Amperios (FNE) , conjuntamente con las que no fueron sometidas al proceso de separación electromagnética, porque su peso era inferior a 10 g, fueron a un proceso de separación densimétrica, (excluyendo las fracciones +0,5 mm), el cual se efectuó mediante la inmersión de las muestras en un líquido de densidad conocida, en nuestro caso se empleó el tetrabromoetano ($2,98 \text{ g/cm}^3$). Como resultado de esta operación los minerales de densidad mayor que el líquido se hunden, mientras que los de menor densidad permanecen flotando obteniéndose la fracción no electromagnético ligera (FNEML), y la fracción no electromagnética pesada (FNEMP), las cuales se secaron con la ayuda de la estufa.

Los reactivos y materiales utilizados para la obtención de las fracciones densimétricas fueron los siguientes: Agitador, alcohol etílico, cápsula de porcelana, embudo de cristal embudo separador, erlenmeyer, papel de filtro, tetrabromoetano ($d=2.8 - 2.9 \text{ g/cm}^3$). La metodología seguida para la obtención de las fracciones no electromagnéticas pesada y ligera es la común utilizada para estos fines y aparece en numerosos manuales y normas.

Todo este proceso de separación permitió obtener las fracciones siguientes:

- Fracción magnética (FM).

- Fracción electromagnética (FEM).
- Fracción no electromagnética ligera (FNEML).
- Fracción no electromagnética pesada (FNEMP).

Una vez obtenida la fracción no electromagnética pesada se procedió a la separación del oro del resto de los minerales pesados. Las muestras fueron colocadas en portaobjetos y observadas bajo el microscopio estereográfico marca Tehnival-2; posteriormente con la ayuda de agujas de cobre se extrajeron todos los granos de oro visibles, los cuales se fueron midiendo y describiendo al mismo tiempo, para luego colocarlos en bolsas de papel, y almacenarlos.

Después de haber medido el largo(a), ancho(b) y grosor (c) de cada partícula de oro pudimos calcular algunos parámetros morfométricos importantes como el diámetro equivalente (Deq), el índice de aplastamiento de los granos (lap), y el índice de esfericidad (S).

La siguiente expresión fue la que se utilizó para el cálculo del *diámetro equivalente*:

$$D_{eq} = \sqrt[3]{\left(\frac{6}{\pi}\right) a * b * c}$$

Donde: D_{eq}- Diámetro equivalente del grano de oro

a- largo

c- grosor

b- ancho

El *índice de aplastamiento* de los granos es un parámetro que se utiliza para clasificar morfológicamente los granos de oro y se calculó con la siguiente expresión:

$$lap = a+b/2c$$

Donde: a- largo

c- grosor

b- ancho

El *índice de esfericidad* se calcula mediante la expresión:

$$S = \sqrt[3]{\frac{c^2}{a * b}}$$

Donde a, b, c son los mismos parámetros empleados en las expresiones anteriores.

La representación gráfica de los resultados se realizó utilizando los programas Surfer, versión 8, Mapinfo, Autocad 2000, Excel y Word.

RESULTADOS

Teniendo en cuenta que la recuperación del oro fino durante el lavado con bateas tradicionales, canaletas u otros equipos de concentración gravitacional es muy baja, y que el oro presente en la zona de estudio es fino, consideramos que el trabajo de campo fue satisfactorio con 90 granos de oro recuperados en solo 76 litros de material (Tabla II).

Tabla II. Cantidad de granos de oro en cada punto de muestreo

No	No. Mtra	Coordenadas		Granos por muestras
		X	Y	
1	CP-15	597162,2596	268953,735	46
2	CP-16	597051,2306	268184,27	8
3	CP-17	597107,5448	268430,619	2
4	CP-18	597079,3879	268307,445	8
5	CP-19	597167,9404	267969,6732	6
6	CP-20			0
7	CP-21	597081,1616	267999,9254	1
8	CP-22	597222,1222	268585,0452	7
9	CP-23	597137,8310	268184,7700	12
10	CP-24	597079,5653	268276,6927	0
		Total de granos		90

Como se observa en la tabla anterior la CP-15 fue la que mayor cantidad de oro tuvo, con 46 partículas para un 51,1% del total de granos detectados. Esta muestra correspondió al material del suelo desarrollado encima de la roca diorita alterada. Le sigue en orden de abundancia la muestra CP-23 con 12 granos representando el 13,3 % del total de granos detectados.

En la tabla III se observa que la mayor cantidad de partículas se encuentra en el rango menor de 0,1 mm, y mayor de 0,5 mm solo tenemos un grano en el punto CP-15a.

Tabla III: Distribución de las partículas de oro por clases granulométricas.

No.Mtra	Clases Granulométricas				Total de Granos
	-0,1	+0.1 –0.21	+0.21 –0.5	+0.5	
CP-15a	2	7	3	1	13
CP-15b	17	11	2	-	30
CP-15c	2	1		-	3
CP-16a	7	1		-	8
CP-16b	-	-	-	-	0
CP-16c	-	-	-	-	0
CP-16d	-	-	-	-	0
CP-17a	-	-	-	-	0
CP-17b	1	1	-	-	2
CP-18a	5	-	-	-	5
CP-18b	2	1	-	-	3
CP-19a	-	-	-	-	0
CP-19b	3	-	3	-	6

CP-20	-	-	-	-	0
CP-21a	1	-	-	-	1
CP-21b	-	-	-	-	0
CP-22	5	2	-	-	7
CP-23	10	2	-	-	12
CP-24	-	-	-	-	0
Total	55	26	8	1	90

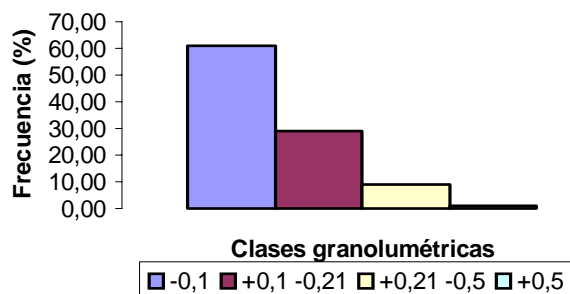


Figura 2. Distribución de los granos de oro por clases granulométricas.

Rasgos morfológicos

Para hacer los análisis de los parámetros morfológicos se utilizaron 68 granos de los 90, para un 75,55%. En la tabla IV se dan los valores de los parámetros calculados.

Tabla IV: Datos morfológicos de 68 granos de oro del sector Cuatro Palmas.

No. De Muestra	Granulometría	No. de granos	Largo	Ancho	Grosor	Deq	lap	S
CP-15a	(+0,1-0,21mm)	1	0,2	0,12	0,1	0,4	1,6	0,7
		2	0,28	0,16	0,12	0,2	1,8	0,7
		3	0,32	0,24	0,18	0,3	1,5	0,7
		4	0,5	0,24	0,12	0,3	3,1	0,5
		5	0,32	0,24	0,12	0,3	2,3	0,6
CP-15a	(+0,21-0,5mm)	1	0,44	0,41	0,28	0,5	1,5	0,8
		2	0,72	0,48	0,18	0,6	3,3	0,4
		3	0,76	0,68	0,24	0,6	3,0	0,5
CP-15a	(+0,5mm)	1	4,1	1,7	1,1	2,4	2,6	0,6
CP-15b	(-0,1mm)	1	0,2	0,12	0,04	0,1	4,0	0,4
		2	0,12	0,08	0,02	0,1	5,0	0,3
		3	0,06	0,06	0,04	0,1	1,5	0,8
		4	0,14	0,1	0,04	0,1	3,0	0,5
		5	0,16	0,16	0,1	0,2	1,6	0,7

		6	0,12	0,08	0,02	0,1	5,0	0,3
		7	0,18	0,14	0,08	0,2	2,0	0,6
		8	0,2	0,12	0,12	0,2	1,3	0,8
		9	0,14	0,12	0,1	0,1	1,3	0,8
		10	0,26	0,08	0,04	0,1	4,3	0,4
		11	0,24	0,08	0,08	0,1	2,0	0,7
CP-15b	(+0,21-0,5mm)	1	0,54	0,44	0,26	0,5	1,9	0,7
		2	0,68	0,54	0,36	0,6	1,7	0,6
CP-15b	(+0,1-0,21mm)	1	0,4	0,28	0,28	0,4	1,2	0,9
		2	0,36	0,21	0,12	0,3	2,4	0,6
		3	0,48	0,32	0,24	0,4	1,7	0,7
		4	0,33	0,24	0,12	0,3	2,4	0,6
		5	0,24	0,12	0,06	0,1	3,0	0,5
CP-15c	(-0,1mm)	1	0,19	0,1	0,08	0,1	1,8	0,7
		2	0,15	0,13	0,02	0,1	7,0	0,3
CP-15c	(+0,1-0,21mm)	1	0,6	0,32	0,12	0,4	3,8	0,4
CP-16a	(-0,1mm)	1	0,28	0,044	0,04	0,1	4,1	0,5
		2	0,12	0,048	0,024	0,1	3,5	0,5
		3	0,22	0,08	0,04	0,1	3,8	0,4
		4	0,18	0,08	0,02	0,1	6,5	0,3
		5	0,14	0,11	0,04	0,1	3,1	0,5
		6	0,12	0,06	0,02	0,1	4,5	0,4
CP-16a	(+0,1-0,21mm)	1	0,3	0,22	0,14	0,3	1,9	0,7

Tabla IV: Datos morfológicos de 68 granos de oro.....continuación.

No. De Muestra	Granulometría	No. de granos	Largo	Ancho	Grosor	Deq	lap	S
CP-17b	(-0,1mm)	1	0,16	0,14	0,06	0,1	2,5	0,5
CP-17b	(+0,1-0,21mm)	1	0,36	0,2	0,12	0,3	2,3	0,6
CP-18b	(-0,1mm)	1	0,16	0,1	0,02	0,1	6,5	0,3
CP-18b	(+0,1-0,21mm)	1	0,188	0,12	0,1	0,2	1,5	0,8
CP-19b	(-0,1mm)	1	0,1	0,08	0,08	0,1	1,1	0,9
		2	0,12	0,08	0,04	0,1	2,5	0,4
		3	0,12	0,1	0,06	0,1	1,8	0,7
CP-19b	(+0,21-0,5mm)	1	0,46	0,44	0,3	0,5	1,5	0,8
		2	0,3	0,21	0,184	0,3	1,4	0,8
		3	0,44	0,4	0,4	0,5	1,1	1,0
CP-21a	(-0,1mm)	1	0,2	0,08	0,07	0,1	2,0	0,7
CP-22	(-0,1mm)	1	0,07	0,06	0,02	0,1	3,3	0,5
		2	0,1	0,08	0,06	0,1	1,5	0,8

		3	0,13	0,06	0,04	0,1	2,4	0,6
		4	0,12	0,1	0,1	0,1	1,1	0,9
		5	0,16	0,08	0,07	0,1	1,7	0,7
CP-22	(+0,1-0,21mm)	1	0,28	0,13	0,09	0,2	2,3	0,6
		2	0,38	0,13	0,1	0,2	2,6	0,6
CP-23	(-0,1mm)	1	0,04	0,03	0,03	?	1,2	0,9
		2	0,07	0,04	0,02	0,0	2,8	0,5
		3	0,14	0,08	0,06	0,1	1,8	0,7
		4	0,16	0,09	0,024	0,1	5,2	0,3
		5	0,16	0,16	0,082	0,2	2,0	0,6
		6	0,14	0,08	0,04	0,1	2,8	0,5
		7	0,18	0,08	0,06	0,1	2,2	0,6
		8	0,14	0,1	0,04	0,1	3,0	0,5
		9	0,13	0,12	0,04	0,1	3,1	0,5
		10	0,31	0,14	0,12	0,2	1,9	0,7
CP-23	(+0,1-0,21mm)	1	0,3	0,26	0,12	0,3	2,3	0,6
		2	0,28	0,18	0,16	0,2	1,4	0,8
		3	0,34	0,25	0,2	0,3	1,5	0,8
		Promedio	0,309	0,19	0,118	0,2	2,6	0,6

El *índice de aplastamiento* es un indicador del grado de aplastamiento de un grano. Grande valores de este índice significa granos muy aplastados. El valor promedio de este índice es de 2,6 alcanzando el valor máximo de 7 y el mínimo de 1,1, lo cual indica un elevado índice de aplastamiento. Al analizar este parámetro por clases granulométricas se observa que los granos con granulometría menor de 0,1 mm alcanzan los mayores valores.

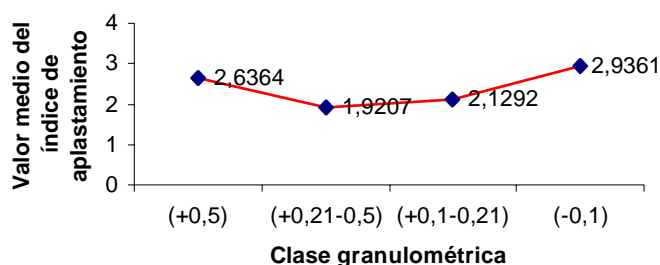


Figura 3: Relación del índice de aplastamiento con la clase granulométrica.

El *diámetro equivalente* es una medida del tamaño real del grano cuando se analizan sus tres ejes (a, b y c). Como se observa en la figura 4 el oro correspondiente a las clases granulométricas más pequeñas son los que poseen un menor diámetro equivalente. Podemos decir que el diámetro equivalente de los granos en la zona estudiada es de valores bajos siendo su valor mínimo 0.047 y su máximo 2.44.

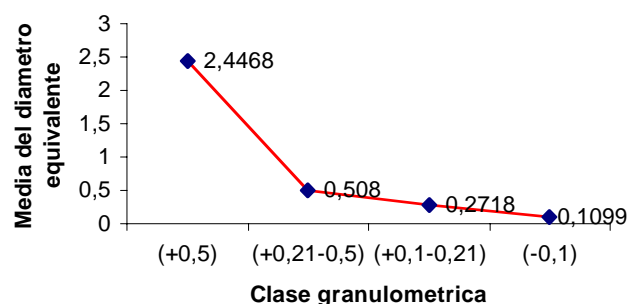


Figura 4: Relación del diámetro equivalente con la clase granulométrica.

El oro presente en la zona de estudio al parecer está asociado a zonas de cizallas, y no a sufrido un intenso mecanismo de transporte, ya que en la mayoría de los granos la esfericidad es baja.

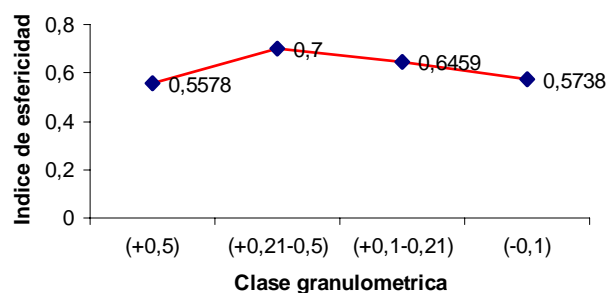


Figura 5: Relación del índice de esfericidad según las clases granulométricas.

Rasgos texturales

La mayoría de los granos observados presentan superficies rugosas, con numerosos poros y cavidades de corrosión que en ocasiones están rellenos de un material de coloración rosado o blancuzco. Estas texturas evidencian los fenómenos de disolución del oro producido por los agentes de la meteorización, principalmente los ácidos húmicos y otras soluciones que pudieron haber atacado el oro primario, disolviéndolo y volviendo a redepositarlo. El aspecto globular en las aristas y los contornos ovalados y sinuosos hacen pensar en un transporte por vía química a pequeña escala y en espacios muy restringidos. También se presentan granos con texturas primarias poco corroídas, con superficie lisa, pulida. Estas texturas se conservan muy bien en las caras de los pequeños cubos de granos con morfología estrellada, piramidal y octaedros. Otro rasgo textural está dado por la presencia de entrecrecimientos con otros minerales, fundamentalmente cuarzo y carbonatos.

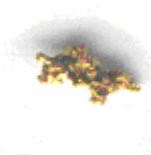


Figura 6: Grano de oro del punto CP-15 a mayor de 0.5 mm

Distribución de las partículas de oro en los diferentes horizontes

La mayor cantidad del oro obtenido proviene de las muestras de suelo (Figura 7 y 8), con 69 granos de un total de 90 encontrados, lo cual representa el 76,66 %.

Tabla V: Distribución del oro por cada tipo de material.

No	No.Mtra	Tipo de material	Total de Granos
1	CP-15a	Suelo	13
	CP-15b	Suelo	30
	CP-15c	Saprolita diorítica	3
2	CP-16a	Suelo	8
	CP-16b	Saprolita diorítica	0
	CP-16c	Material carbonatado, arcilloso	0
	CP-16d	Material carbonatado	0
3	CP-17a	Suelo	0
	CP-17b	Saprolita diorítica con óxidos	2
4	CP-18a	Suelo	5
	CP-18b	Saprolita diorítica con óxidos	3
5	CP-19a	Serpentinita carbonatizada	0
	CP-19b	Material carbonatado	6
6	CP-20	Serpentinita alterada	0
7	CP-21a	Suelo	1
	CP-21b	Serpentinita carbonatizada	0
8	CP-22	Saprolita diorítica	7
9	CP-23	Suelo	12
10	CP-24	Suelo	0

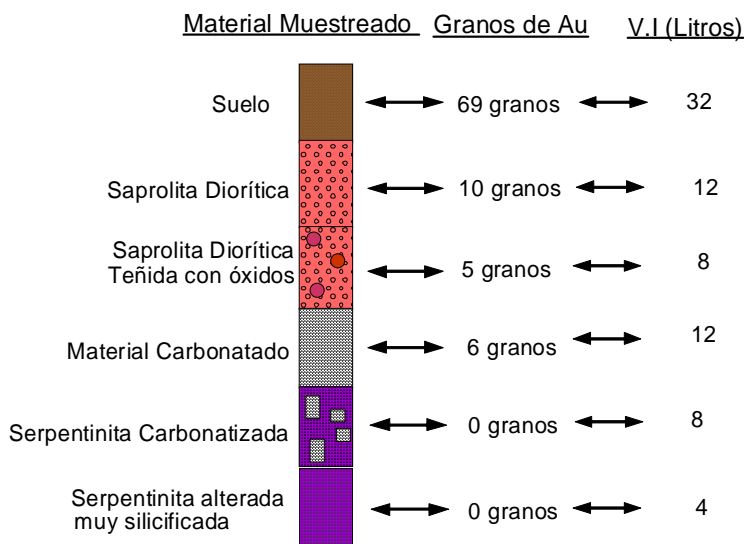


Figura 7: Distribución del oro presente en todos los horizontes muestreados en la zona, sumando el resultado de todos los puntos.

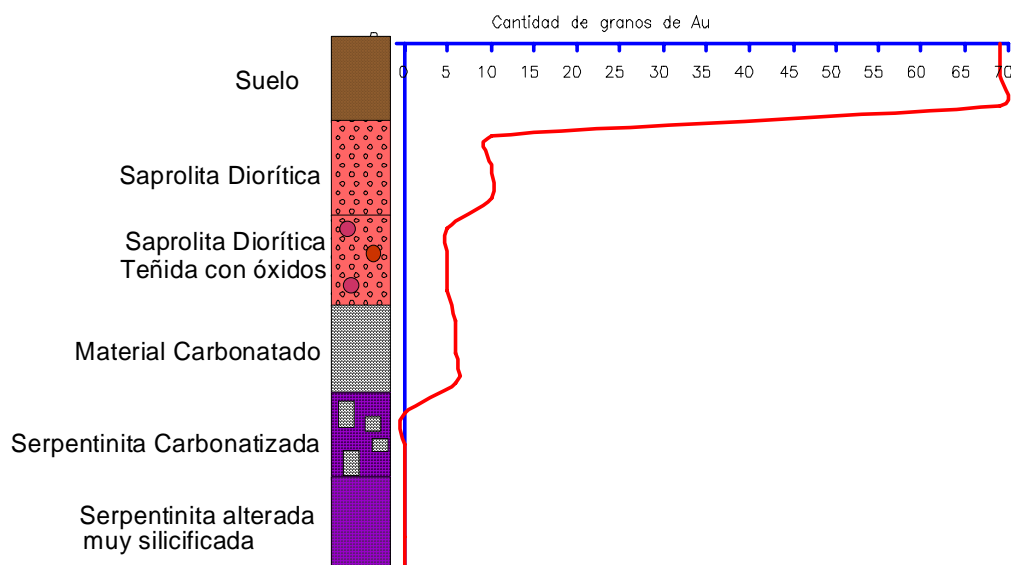


Figura 8: Representación grafica del oro presente en todas los horizontes muestreados, sumando el resultado de todos los puntos.

DISCUSIÓN

El contenido medio del oro en los suelos a nivel mundial por lo general es bajo (Viladevall, 1995), aunque estos se hayan enriquecidos en zonas aledañas a yacimientos o anomalías auríferas, como resultado de la alteración de estos, y luego adsorbidos por los suelos ricos en óxidos e hidróxidos de Fe y Mn (fenómeno de absorción o co-precipitación) ya que los mismos actúan como filtros naturales que provocan la deposición de las partículas de oro que vienen en suspensión al paso de los fluidos. Todo esto unido a la capacidad de retención del oro por la materia orgánica puede ser la causa de que los suelos en la zona de estudio se encuentren enriquecidos, ya que en los mismos se evidencia una marcada presencia de óxidos de Fe (corroborado por la gran cantidad de magnetita presente en las muestras), así como una abundante materia orgánica.

CONCLUSIONES

- El oro se concentra principalmente en el suelo (capa vegetal), predominando las partículas finas.
- El horizonte de suelo rico en materia orgánica, constituye un sitio primordial para la búsqueda y prospección del oro en la zona, y en otros distritos auríferos del país.
- El oro presente en la zona de estudio al parecer está asociado a zonas de cizallas, y no ha sufrido un intenso mecanismo de transporte.

BIBLIOGRAFÍA

- Díaz-Martínez, R. (1996). Particularidades de la distribución del oro, platinoides y otros minerales pesados en el noreste de Cuba oriental. Tesis doctoral. ISMM. Moa. Departamento de Geología.
- Díaz Martínez, R. Sobre la existencia de placeres laterales en el noreste de Cuba Oriental. Segundo Congreso Cubano de Geología y Minería. Resumen. 1994.

- Haynes, S. (1994). La aplicación de la metalotectónica al análisis de terrenos y la metalogénesis: Terrenos Jurásico - Cretácico de Cuba Occidental. Conferencia magistral. Segundo Congreso Cubano de Geología y Minería..
- Iturralde-Vinent, MA. (1998). Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. Acta geológica Hispánica. Vol. 33, No. 1-4, p. 9-56.
- Jorge, C. (1995). Proyecto Oro, Placer Holguín (Mapa Geológico Regional escala 1: 100000). Fondo geológico Facultad de Geología. ISMMM.
- Kesler, S. E. La evolución metalogénica de la región del Caribe.
- Leblanc, M. Platinum Group Elements and Gold in ophiolite. Economic Geology. 1995.
- Mitchell, A. H. L. Tectonic settings for emplacement of subduction related magma and associated mineral deposits. In Metallogenic and Plate tectonic. Edited by D. F. Strong. 1976.
- Rodríguez vega, A., Díaz-Martínez, R. (2001) La mineralización aurífera en Cuba". EN: José Antonio Espí: Libro de la minería del oro en Iberoamérica. Red XIII-B, CYTED. Amanuel 4, Madrid, España.: 249-264.
- Thayer, T. P. Metallogenic contrasts in the plutonic and volcanic rocks of the ophiolite assemblage. In Metallogenic and Plate tectonic. Edited by D. F. Strong. 1976.
- Viladevall M. Sole. (1998). La Geoquímica del oro como herramienta de prospección de menas auríferas. Boletín Geológico y Minero, Vol. 109- 5 y 6, (521-534).

Información de Internet

- A. Rodríguez Vega, R. Díaz Martínez. Distribución de la mineralización aurífera en Cuba.
<http://www.concytec.gob.pe/cyted/Barra/articulos/53.html>
- Alexandr Fersman. Geoquímica Recreativa
Capítulo XXIV .EL ORO, REY DE LOS METALES
<http://eureka.ya.com/geoquimica/tema24.html>
- José Antonio Cornejo Ramírez
YACIMIENTOS DE TIPO PLACER
<http://www.uclm.es/users/higuera/yymm/Placeres.htm>
- Ricardo Gascó. Buscando nuestro arroyo de ORO
<http://www.buscatesoros.net/Informacion/Mineria/buscandoarroyo.htm>
- Susanne Griem-Klee - Geóloga titulada en la Universidad de Münster (Alemania)
Exploraciones mineras CPT 3. Método geoquímico de exploración
<http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/EXPLORAC/TEXT/00000c~1.htm>

TELEDETECCIÓN DE ÓXIDOS DE HIERRO EN PRESENCIA DE VEGETACIÓN UTILIZANDO LOS MÉTODOS CRÓSTA Y DEFOLIACIÓN EN SOFTWARE: DISTRITO MINERAL VMS BAHÍA HONDA, CUBA

Jesús MOREIRA MARTINEZ,⁽¹⁾ Elmidio Estévez Cruz,⁽²⁾ y Reinaldo Barbón⁽³⁾

(1) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril S/N, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: moreira@igp.minbas.cu

(2) Universidad de Pinar del Río, Calle Martí 270, Pinar del Río, Cuba, E-mail: estevez@geo.upr.edu.cu

(3) Empresa Geominera Pinar del Río, Calle Martí No. 141, Pinar del Río, CP 20100.

RESUMEN

Diferentes metodologías para el procesamiento de imágenes obtenidas del Landsat TM fueron experimentadas en el Distrito Mineral Bahía Honda, para cartografiar posibles zonas de alteración hidrotermal relacionadas con depósitos Vulcanógenos de Sulfuros Masivos (VMS) en presencia de vegetación. Las técnicas, Crósta y defoliación en software fueron empleadas con el fin de realzar y discriminar áreas impregnadas de óxidos de hierro, alteración más significativa. El análisis de componentes principales (CP) utilizando la técnica Crósta mostró que para cada caso los valores de los autovectores indican que la CP1 representa el albedo y la información topográfica, la CP2 la vegetación y la CP3 el contraste entre los datos espectrales de las regiones visible- infrarrojo cercano (VNIR) e infrarrojo de onda corta (SWIR). La CP4 de los datos de las bandas 1, 3, 4 y 5 indicó los óxidos de hierro. El análisis de las principales componentes de las relaciones de bandas 3:1 y 4:3 utilizando la técnica de defoliación en software mostró que la CP1 representa zonas donde la respuesta espectral de la vegetación y los óxidos de hierro no puede ser diferenciada. La CP2 mostró el contraste entre las zonas que contienen óxidos de hierro y aquellas que contienen vegetación, realzando los óxidos de hierro. El coeficiente de Taylor permitió comparar la efectividad entre ambas técnicas para realzar y discriminar las áreas impregnadas de óxidos de hierro, concluyendo que la técnica Crósta exhibió los mejores resultados para la cartografía de las alteraciones hidrotermales en la región.

ABSTRACT

Different methodologies, which involve processing of Landsat TM images, were tested in the Bahia Honda Mineral District to map hydrothermally altered zones related to VMS type of deposits in presence of vegetation. The Crósta and the software defoliant techniques were used for the enhancement and discrimination of iron oxide stained areas, the most significant alteration. The principal component analysis using the Crosta technique showed that in each case the eigenvectors loading indicates that the PC1 represent albedo and topographic information, PC2 indicates vegetation and PC3 indicates the contrast between the spectral data in the visible and near-infrared (VNIR) and short wave infrared (SWIR) regions. PC4 of data transformation of bands 1, 3, 4 and 5 indicated iron oxides. The principal component analysis on band ratio images 3:1 and 4:3 using the software defoliant technique showed that CP1 represent zones where the spectral responses due to vegetation and iron oxides can not be differentiated. The PC2 showed the contrast between zones that contain iron oxides from those that contain vegetation, enhancing the iron oxides. The Taylor coefficients lead the comparison between the different techniques used for the enhancement and discrimination of iron oxides, concluding that the Crósta technique exhibited the best results for hydrothermal alteration mapping in the region.

INTRODUCCIÓN

Los datos del Landsat TM han sido utilizados durante varios años en ambientes áridos y semiáridos para la detección de áreas enriquecidas en óxidos e hidróxidos de hierro y/o minerales arcillosos (Abrams et al., 1983; Conradsen & Harpøth, 1983; Tanaka y Segal, 1989; Fraser, 1991; Barniak et al., 1996; Hashemi Tangestani & Moore, 2000; Torres-Vera y Prol-Ledesma, 2000; Ramos et al., 2003)

las cuales podrían estar asociadas a zonas de alteraciones hidrotermales relacionadas con depósitos minerales. Sin embargo, en regiones de clima tropical la alta densidad en la vegetación puede limitar sustancialmente la aplicación con éxito de la información que brinda el Landsat TM para la detección y cartografía de las rocas hidrotermalmente alteradas (Spatz, 1997; Capote, 1999). La razón principal que impide la cartografía de las alteraciones hidrotermales utilizando los datos del Landsat TM en zonas de vegetación intensa lo constituye la propia vegetación que obstruye la reflectancia del substrato subyacente.

En áreas de vegetación abundante los píxeles del Landsat TM 30 m x 30 m pueden representar espectros de pura vegetación. Cuando la vegetación no es lo suficiente densa y la resolución espacial del Landsat TM es inadecuada para de forma clara 'ver entre los árboles', los píxeles representan una mezcla de espectros de diferentes materiales. En este último caso las técnicas para el procesamiento de imágenes del Landsat TM para detectar y cartografiar rocas hidrotermalmente alteradas tratan de separar o reducir los efectos espectrales de la vegetación de los efectos espectrales del substrato subyacente (Adams & Adams, 1984; Fraser & Green, 1987; Almeida-Filho & Vitorello, 1997; Carranza & Hale 2002; Suárez & Moreira, 2004). Las similitudes en el espectro de reflectancia de los materiales traen consigo que la teledetección de las zonas con minerales arcillosos y óxidos de hierro en presencia de vegetación sea dificultoso (Figura 1).

Los óxidos de hierro y la vegetación tienen una reflectancia espectral similar en los intervalos de longitudes de onda cubiertos por las bandas 1 y 2 del Landsat TM. Estas bandas juntas por lo tanto no son muy utilizadas en la distinción de los óxidos de hierro en zonas con vegetación. Los minerales arcillosos tienen una reflectancia fuerte en la región espectral cubierta por la banda 5 del Landsat TM y un rasgo de absorción en la región espectral cubierta por la banda 7. Las bandas 5 y 7 del Landsat TM son así potencialmente útiles en la detección de zonas con minerales arcillosos. Sin embargo, algunas semejanzas en la forma e intensidades relativas de las curvas de reflectancia de la vegetación y los minerales arcillosos en las regiones espectrales cubiertas por las bandas 5 y 7 del Landsat TM hacen su diferenciación compleja. En la región espectral cubierta por la banda 3 del Landsat TM los óxidos de hierro y las arcillas tienen una reflectancia alta mientras que la vegetación tiene una fuerte absorción. En la región espectral cubierta por la banda 4 del Landsat TM la vegetación tiene una reflectancia fuerte mientras que los óxidos de hierro y las arcillas muestran rasgos de absorción. Por lo tanto, las bandas 3 y 4 del Landsat TM pueden ser utilizadas para diferenciar áreas con óxidos de hierro y/o minerales arcillosos de áreas de vegetación. De esta manera, para zonas con presencia de vegetación la teledetección de rocas con posibles alteraciones hidrotermales se realiza generalmente empleando las bandas 3, 4, 5 y 7 del Landsat TM. Estas bandas son utilizadas a través de diferentes técnicas que pueden localizar o al menos sugerir posibles zonas mineralizadas. La razón entre bandas (Segal, 1983), análisis de principales componentes (Crósta y Moore, 1989), o una combinación de ambas (Fraser y Green, 1987) y la mineralogía de imágenes (Carranza y Hale, 2002) constituyen un ejemplo de algunas de estas técnicas que han demostrado ser útiles en zonas con presencia de vegetación.

Este artículo presenta la aplicación de la ya popular técnica de las principales componentes (PC), conocida como técnica "Crósta" (TC), (Crósta y Rabelo, 1993) y la "defoliación en software" (TDS), (Fraser y Green, 1987) para la cartografía de áreas impregnadas con óxidos de hierro, alteración más significativa y mapeable por su extensión. Se mostrará como el método Crósta es el más adecuado para la detección de posibles zonas de alteración hidrotermal relacionadas con depósitos VMS en el área.

MATERIALES Y METODOS

Región Bahía Honda

Localización, relieve, clima y vegetación

El área de estudio se localiza aproximadamente a 90 Km. al noreste de la ciudad de Pinar del Río, situada dentro de las coordenadas E: 235 000 -310 000 y N: 330 000 -355 000 según el Sistema de Proyección de Coordenadas Lambert.

El relieve es accidentado con alturas promedio que oscilan entre 100 y 150 m y una elevación máxima de 465 m en la parte Oeste del área, el macizo de Cajálbana. El clima como en el resto del país es tropical con un promedio de precipitaciones anual de alrededor de 1200 mm. Debido a condiciones locales en la región de Bahía Honda se presentan precipitaciones por debajo de la media y un crecimiento limitado de la vegetación (Vázquez, 2002). En la parte central y Sur la vegetación consiste principalmente de arbustos y tierras cultivables donde se destaca la caña de azúcar, café y cultivos varios, mientras que a lo largo de la línea de costa la vegetación es dominada por manglares. La inspección visual de la composición a color natural 321 en Red-Green-Blue (RGB) y la imagen del Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación (NDVI) calculado como $(TM4-TM3)/(TM3+TM4)$, basados en la imagen del Landsat TM utilizada en este estudio, condujo a la obtención de un mapa de NDVI clasificado para la región Bahía Honda (Figura 1). El mapa indica que el 42% del área presenta una vegetación densa (ej. los píxeles contienen vegetación pura), 50% vegetación pobre (ej. mezcla de vegetación y suelos) y un 8% de suelos y agua.

Marco geológico

Según García et al. (2003) la Zona Bahía Honda se caracteriza por presentar exposiciones de rocas ofiolíticas, así como de secuencias cretácicas de una probable cuenca de retroarco y de la parte axial del arco volcánico (Formaciones Geológicas Orozco, Quiñones y Encrucijada); formando un conjunto rocoso muy dislocado y desmembrado tectónicamente. Afloran además depósitos terrígenos orogénicos deformados (Fm. Vía Blanca) 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 Paleógeno Inferior (Grupo Mariel), depositados discordantemente sobre los complejos anteriores en una cuenca de piggy back (Iturralde-Vinent 1998). Datos geoquímicos y edades absolutas de 129.8 ± 1.9 Ma. obtenidos según el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ indican que las ofiolitas de Bahía Honda (macizo de Cajálbana) fueron generadas en un ambiente de suprasubducción (García-Casco et al., 2003), sugiriéndose 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

Modelos de depósitos minerales

En la región son conocidos alrededor de 35 depósitos y manifestaciones minerales distribuidas a lo largo de un cinturón relativamente estrecho, de unos 50 Km. de longitud, por la parte central de la región, a los que se le atribuye el modelo VMS de tipo Chipre (Russel et al., 2000), con presencia de mineralización cuprífera sulfurosa con Zinc.

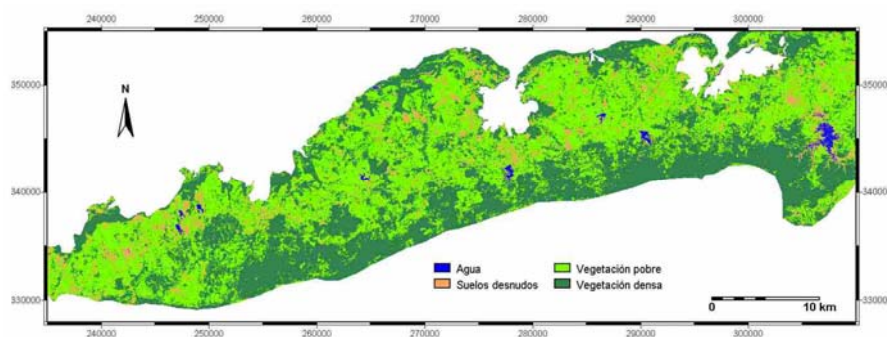


Figura 1. Mapa de NDVI clasificado

Los depósitos se encuentran distribuidos principalmente a lo largo de la Formación Encrucijada, asociados a los basaltos y sus sedimentos como cuerpos estratiformes y de stockworks. Es común la presencia de procesos secundarios de alteración sobre ellos, estando expresados fundamentalmente por la presencia de amplias zonas con predominio de la limonitización y hematización (Vázquez, 2002) que en la mayoría de los casos pueden ser mapeadas en superficie. También se desarrollan áreas con fuerte silicificación, cloritización y en mucho menor grado sericitización, estas últimas alteraciones no forman grandes aureolas y poseen un desarrollo muy local.

Depósitos de tipo lateritas-saprolitas ferro-niquelíferas son reportados en el Macizo de Cajalbana, desarrollados como resultado de los procesos de intemperismo sobre la secuencia ultramáfica, así como depósitos sedimentarios ferro-niquelíferos redepositados al Norte del macizo (Moreira et al., 2005).

Datos del Landsat TM

En el estudio fue utilizada una subescena de 902 líneas y 2506 columnas tomada de la imagen del Landsat TM con posición 16 (Path) y columna 044 (Row) adquirida el 11 de Enero del año 2000. La subescena cubre la totalidad del distrito mineral Bahía Honda. La subescena fue georeferenciada utilizando el método de transformación "affine" utilizando 12 puntos de control. Las coordenadas Lambert fueron tomadas del mapa topográfico a escala 1:50 000. El error medio cuadrático (sigma) de la georeferenciación es 0.632.

El procesamiento de imágenes es implementado en el ILWIS 3.2.1 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.

El pre-procesamiento de los datos del Landsat TM incluyó solamente la corrección radiométrica por el efecto del "haze" utilizando el método simple de sustracción de objeto-oscuro (Richards, 1999). El "haze" se debe a la presencia de partículas muy finas de polvo o de sal en la atmósfera, las cuales enmascaran la respuesta espectral de los objetos en la tierra y tienen un efecto aditivo sobre toda la imagen.

La estadística elemental de las bandas espectrales del Landsat TM se muestran en la Tabla I. Teniendo en cuenta el espectro de reflectancia de la vegetación en la Figura 1, el menor valor máximo de la banda 2 comparado con el mayor valor máximo de la banda 3 podría ser una indicación de stress en la vegetación, debido probablemente a la presencia de mineralización y alteraciones en el área. La banda 4 presenta la mayor desviación estándar debido a grandes variaciones en la respuesta espectral de los distintos materiales que contiene la imagen. La banda 1 tiene la menor desviación estándar debido a su bajo contraste.

Tabla I. Estadística elemental de los datos de las bandas espectrales del Landsat TM, Región Bahía Honda

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
Mínimo	0	0	0	0	0	0
Máximo	162	188	238	196	199	251
Media	13.91	16.84	17.28	62.04	42.54	22.48
Desv. standard	6.38	7.79	10.24	38.03	28.24	14.41

Los datos espectrales que se muestran en la Tabla II revelan que la mejor correlación existe entre las bandas 5 y 7, por lo tanto no son útiles en la distinción entre áreas de vegetación y rocas alteradas, porque como se indica en la Figura 2, la relación entre las bandas 5:7 son similares para la vegetación y los materiales arcillosos/ limoníticos.

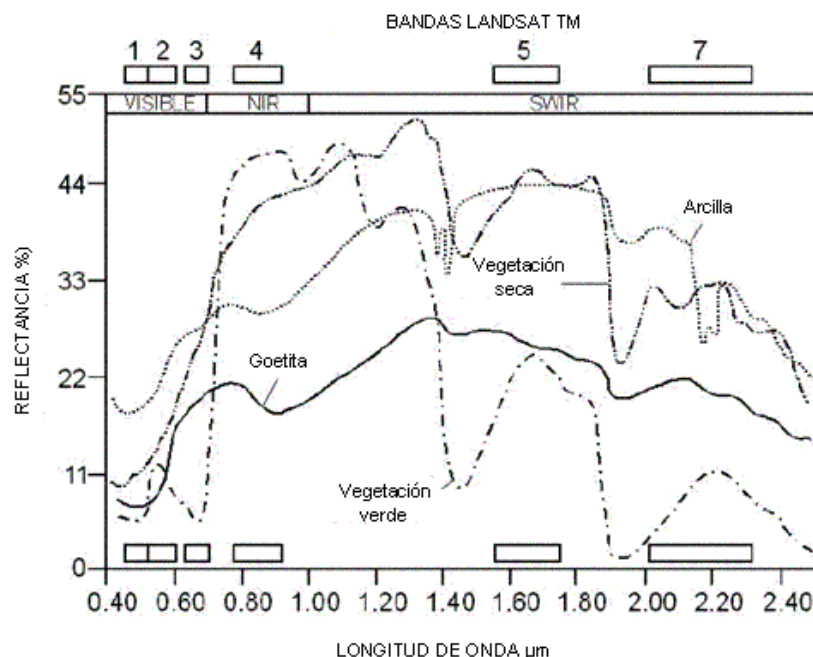


Figura 2. Espectro de reflectancia generalizado de la vegetación, óxidos de hierro y arcillas (tomado de Fraser y Green, 1987)

No existe una buena correlación de los datos de la banda 4 con las bandas 1, 2 y 3. Teniendo en cuenta lo anterior las bandas 1, 2, 3 y 4 pueden ser utilizadas para discriminar áreas que contienen vegetación de aquellas que contienen suelos porque, como se observa en la Figura 2, las relaciones de la banda 4 con la banda 1, con la banda 2 o con la banda 3 son mayores para la vegetación que para los materiales arcillosos/limoníticos. Los datos de las bandas 4 y 7 presentan cierta correlación por lo que su utilización debe ser muy cuidadosa para diferenciar áreas que contienen hidroxilos de aquellas que contienen vegetación. Como se observa en la Figura 2, la relación de la banda 4 con la banda 7 son menores para las áreas que contienen minerales arcillosos que para las que tienen vegetación.

Tabla II. Matriz de correlación de los datos de las bandas espectrales del Landsat TM, Región Bahía Honda

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
Banda 1	1.00					
Banda 2	0.66	1.00				
Banda 3	0.38	0.83	1.00			
Banda 4	-0.32	0.38	0.49	1.00		
Banda 5	-0.03	0.60	0.80	0.82	1.00	
Banda 7	0.11	0.64	0.87	0.65	0.95	1.00

Técnica Crósta

La TC (Crósta y Rabelo, 1993) está basada en el análisis de la contribución de las CP a través de sus autovectores para seleccionar cual de las CP concentrara mayor información relacionada directamente con la señal espectral teórica de materiales específicos.

La técnica es capaz de predecir si el tipo de material que se quiere resaltar es representado por píxeles brillantes en la CP de acuerdo a la magnitud y el signo de los autovectores. Las zonas de alteración limonítica son cartografiadas utilizando las bandas 1, 3, 4 y 5 del Landsat TM y la alteración arcillosa por las bandas 1, 4, 5 y 7 del mismo sensor (Crósta y Rabelo, 1993, Ruiz-Armenta y Prol-Ledesma, 1998).

La alteración limonítica puede ser diferenciada de la vegetación porque (a) los óxidos de hierro tienen una reflectancia fuerte en la región espectral de la banda 3 y una absorción fuerte en la región espectral de la banda 1 mientras que la vegetación tiene rasgos de absorción en estas regiones espectrales y (b) los óxidos de hierro tienen un rasgo de absorción en la región espectral de la banda 4 y rasgos de reflectancia en las regiones espectrales de las bandas 7 y 5 mientras que la vegetación tiene fuertes rasgos de reflectancia en estas regiones espectrales.

Técnica defoliación en software

La TDS constituye un método de mejoramiento de imágenes basado en el análisis de las CP de la división simple entre dos bandas de una imagen (Fraser and Green, 1987). Las imágenes de entrada son representadas por la división simple entre dos bandas. La selección de las mismas se realiza sobre la base de que una debe contener información del componente de interés (ej. alteración hidrotermal), mientras que la segunda debe entonces contener información acerca del componente que interfiere espectralmente (ej. vegetación). La CP que tiene una contribución de igual signo en ambas imágenes de entrada, explica la varianza debido a las similitudes en la respuesta espectral del componente que interfiere y el componente de interés. La otra CP, cuya contribución es de diferentes signos resalta las contribuciones únicas de cada uno de los componentes. El signo de las contribuciones de los autovectores determina si el componente de interés es representado como píxeles brillantes u oscuros en la CP. Una contribución positiva implica píxeles brillantes mientras que una contribución negativa implica píxeles oscuros. Basado en las curvas de reflectancia generalizada de algunos tipos de cobertura, la relación entre las bandas 4:3 sirve como un excelente indicador de vegetación mientras que la relación entre las bandas 3:1 son comúnmente usadas para realzar los óxidos de hierro (Fraser and Green, 1987).

RESULTADOS

Aplicación de la técnica Crósta

Alteración limonítica

El resultado del análisis de las CP de las bandas 1, 3, 4 y 5 para la detección de la alteración limonítica se presenta en la Tabla III. La magnitud y signo de los autovectores indican una contribución positiva de las bandas 3, 4 y 5 y una contribución negativa de la banda 1 pero de muy baja magnitud. La CP1 contiene el 88.14 % de la varianza de los datos por lo tanto representa fundamentalmente información topográfica y albedo. La CP2 es representativa de la vegetación, teniendo en cuenta la contribución positiva de la banda 4; el signo positivo indica que los píxeles brillantes representan áreas donde predomina la vegetación. La CP3 representa el contraste entre los datos espectrales de las regiones VNIR y SWIR del espectro electromagnético.

Tabla III. Análisis de principales componentes para la alteración limonítica utilizando la técnica de Crósta

Componentes principales	Autovectores				Autovalores %
	Banda 1	Banda 3	Banda 4	Banda 5	
CP1	-0.030	0.143	0.808	0.570	88.14
CP2	-0.255	-0.443	0.541	-0.668	9.85
CP3	-0.715	-0.508	-0.233	0.421	1.50
CP4	-0.651	0.725	0.008	-0.226	0.51

La alteración limonítica caracterizada por una reflectancia alta en la banda 3 y una reflectancia baja en la banda 1 es reflejada en la CP4, basada en las altas contribuciones con signos opuestos de las bandas 1 y 3. El signo positivo de la contribución de la banda 3 y el signo negativo de la contribución

de la banda 1 indican que la alteración limonítica es mapeada a través de los píxeles brillantes (Figura 3).

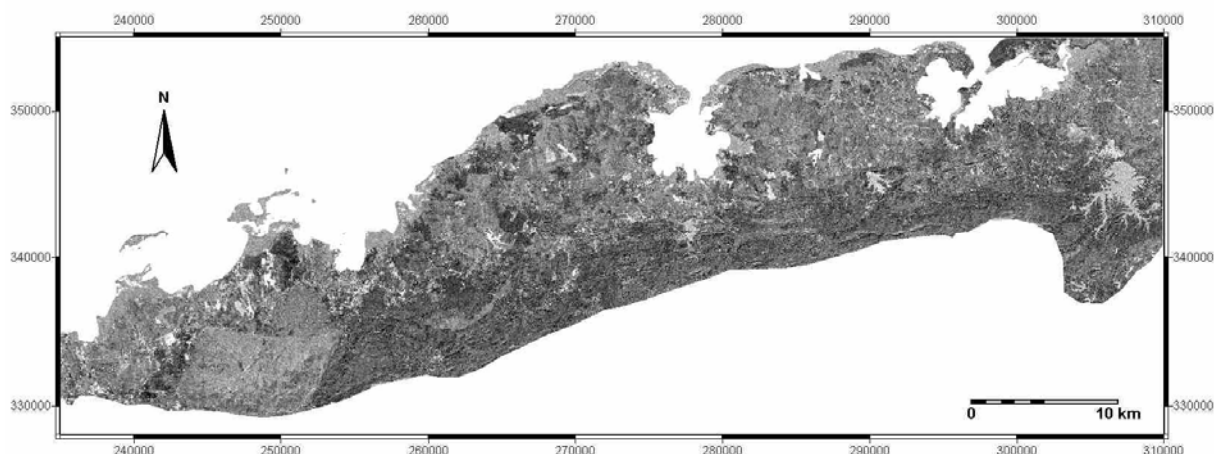


Figura 3. Imagen "óxidos de hierro", según técnica Crósta

Aplicación de la técnica defoliación en software

Alteración limonítica

El análisis de las CP de las relaciones de bandas 3:1 y 4:3 para el mapeo de la alteración limonítica se muestra en la Tabla V. La CP1 representa zonas donde la repuesta espectral de la vegetación y los óxidos de hierro no puede ser diferenciada. La CP2 muestra el contraste entre las zonas que contienen óxidos de hierro de aquellas que contienen vegetación, por lo que debe realzar la alteración limonítica.

Tabla IV. Análisis de los CP de las divisiones de bandas de las imágenes del Landsat TM para la detección de alteración limonítica en la Región de Bahía Honda. La CP con la magnitud de la contribución de los autovectores en negrita representa la alteración limonítica

Componentes principales	Autovectores		Autovalores (%)
	Banda3/Banda1	Banda4/Banda3	
CP1	0.092	0.996	96.60
CP2	0.996	-0.092	3.40

El signo positivo de la contribución de la relación 3:1 indica que la CP2 representa las zonas de alteración limonítica como píxeles brillantes (Figura 4).

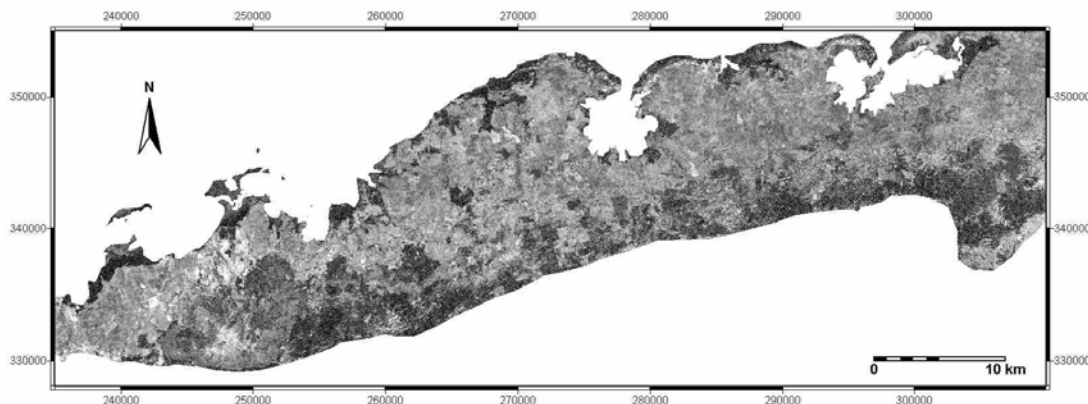


Figura 4. Imagen “óxidos de hierro”, según técnica defoliación en software.

Depósitos VMS y evidencia de alteración hidrotermal

Dos métodos fueron empleados anteriormente para detectar posibles zonas de alteraciones hidrotermales relacionadas a depósitos VMS en la región Bahía Honda. Zonas de alteración limonítica fueron delimitadas utilizando la TC y la TDS. Cada una de las imágenes logradas se consideran indicaciones de la abundancia relativa de los óxidos de hierro, por lo que para determinar la utilidad de las posibles zonas hidrotermalmente alteradas detectadas por la teledetección se debe escoger un valor de corte para reclasificar la imagen. Para calcular este valor se ha empleado el método de ponderación de evidencias y se escoge aquel valor que maximice la asociación espacial entre los depósitos conocidos y el rasgo geológico estudiado (Carranza, 2002; Suárez y Moreira, 2003).

Las imágenes obtenidas tanto por el método Crósta como por el método defoliación en software fueron utilizadas para determinar los valores de corte de las zonas de interés y realizar el análisis comparativo de los resultados obtenidos por ambos métodos.

Ambas imágenes fueron clasificadas en 10 clases de percentil (Tabla V y VI) para determinar la clase que muestra la asociación espacial óptima con los depósitos minerales conocidos y confeccionar un mapa de alteración binario basado en cada método y la posterior selección del mejor para ser utilizado como evidencia.

El método estadístico utilizado para cuantificar la asociación espacial entre los depósitos VMS y las posibles zonas de alteraciones hidrotermales delimitadas lo constituyó el método de ponderación de evidencias (Bonham-Carter et al., 1988, 1989). El método de ponderación de evidencias emplea la probabilidad condicional Bayesiana para determinar el patrón binario óptimo de un rasgo geológico que muestra asociación espacial con un conjunto de depósitos minerales. Las variaciones en el contraste C para las clases de percentil de los valores de la CP que representa la alteración “óxidos de hierro” obtenida por el método Crósta con respecto a los depósitos VMS conocidos se muestran en la Tabla V. Los contrastes son estadísticamente significantes a partir de la clase de percentil 30-40 lo cual indica una asociación espacial positiva. La asociación espacial positiva es óptima y estadísticamente significativa en la clase de percentil 60-70.

Las variaciones en el contraste C para las clases de percentil de los valores de la CP que representa la alteración “óxidos de hierro” obtenida por el método defoliación en software respecto a los depósitos VMS conocidos se muestran en la Tabla VI.

A partir de la clase de percentil 40-50 los contrastes son de forma significativa mayor que cero, lo cual indica una asociación espacial positiva. El valor más alto de C de Student muestra que la asociación espacial positiva es óptima, pero no estadísticamente significativa, en la clase de percentil 60-70. Idealmente, solo una C de Student mayor que 2 sugiere una asociación espacial estadísticamente significativa (Bonham-Carter, 1994).

Tabla V. Variación de los pesos y contrastes para las clases de percentiles con respecto a los depósitos VMS en la región Bahía Honda, imagen (F) método Crósta.

Clases de percentiles	No. pixels en Dp	No. sm en Dp.	W+	sW(+)	W-	sW(-)	C	S(C)	C/s(C)
0-10	3570	3	0.8070	0.5780	-0.0506	0.1768	0.8575	0.604053	1.4196
10-20	9750	4	0.3370	0.3780	-0.0691	0.1890	0.4063	0.422706	0.9612
20-30	9018	5	0.3590	0.2890	-0.1462	0.2085	0.5054	0.356199	1.4189
30-40	11900	7	0.3920	0.2300	-0.3256	0.2500	0.7173	0.339367	2.1136
40-50	10540	4	0.3140	0.2090	-0.4167	0.2887	0.7310	0.356176	2.0524
50-60	10623	5	0.2980	0.1890	-0.7086	0.3780	1.0067	0.422617	2.3821
60-70	11047	4	0.2500	0.1770	-1.2113	0.5774	1.4611	0.603862	2.4196
70-80	10747	2	0.1610	0.1720	-1.7986	1.0000	1.9591	1.014600	1.9309
80-90	8673	1	0.0830	0.1690					
90-100	7424	0	0.0000	0.1690					

Las entradas a la tabla en negrita pertenecen a la asociación espacial óptima. Dp=dominio está presente, sm= depósitos VMS

Para la selección del mejor mapa binario que represente las zonas de alteración fue utilizado el coeficiente de alteración areal (Taylor, 1977). Se compararon los mapas obtenidos por ambos métodos. Las píxeles negativos y positivos que coincidieron entre los mapas obtenidos por cada método y los depósitos VMS, así como los coeficientes de alteración areal, se muestran en la Tabla VII.

Tabla VI. Variación de los pesos y contrastes para las clases de percentiles con respecto a los depósitos VMS en la región Bahía Honda, imagen (F) método defoliación en software.

Clases de percentiles	No. pixels en Dp.	No. sm en Dp.	W+	sW(+)	W-	sW(-)	C	S(C)	C/s(C)
0-10	11197	7	0.5110	0.3780	-0.0950	0.1890	0.6060	0.422706	1.4341
10-20	9412	3	0.2570	0.3160	-0.0870	0.2000	0.3440	0.374227	0.9200
20-30	5972	2	0.1850	0.2890	-0.0850	0.2090	0.2700	0.356176	0.7572
30-40	6930	2	0.1080	0.2670	-0.0660	0.2180	0.1730	0.345115	0.5024
40-50	17154	9	0.1910	0.2090	-0.2870	0.2890	0.4780	0.356176	1.3420
50-60	0	0	0.1910	0.2090	-0.2870	0.2890	0.4780	0.356176	1.3420
60-70	18110	7	0.1510	0.1830	-0.6100	0.4470	0.7610	0.483136	1.5741**
70-80	7779	1	0.0760	0.1800	-0.4510	0.5000	0.5280	0.531372	0.9927
80-90	9975	2	0.0160	0.1740	-0.2380	0.7070	0.2540	0.728315	0.3493
90-100	6763	2	0.0000	0.1690					

Las entradas a la tabla en negrita pertenecen a la asociación espacial óptima. Dp=dominio está presente, sm= depósitos VMS

** estadísticamente no significativo.

El mapa binario que representa las zonas de alteración limonítica basado en la TC presenta el coeficiente de asociación areal más alto con el mapa binario que representa los depósitos VMS.

Tabla VII. Coeficientes de Taylor para las zonas de alteración limonítica/hematítica cartografiadas utilizando la técnica Crósta y defoliación en software.

Técnicas	Píxeles coincidentes (positivos+negativos)	Coeficiente
Crósta	4+82214	0.88
Defoliación en software	7+75140	0.80

Este resultado indica que las zonas impregnadas en óxidos de hierro son mejor cartografiadas utilizando la TC. Por lo tanto, las zonas delineadas a través de esta técnica como zonas

hidrotermalmente alteradas son las que presentan una relación espacial mayor con la mineralización vulcanógena de sulfuros masivos, constituyendo el mapa de evidencia hidrotermal en el área de estudio (Figura 5). Este mapa resultante se blanqueo con el área que ocupan las formaciones Encrucijada y Orozco según el mapa 1:100 000 confeccionado por García et al. (2003) pues constituyen las formaciones geológicas permisibles hospederas de la mineralización VMS, según se evidencia en el modelo conceptual de exploración para este tipo de depósitos en la región.

CONCLUSIONES

Como se ha señalado en trabajos previos, la teledetección también puede proporcionar información útil para la cartografía del potencial mineral en áreas con presencia de vegetación. La teledetección de posibles zonas de alteración hidrotermal en la región de Bahía Honda es realmente difícil utilizando solo la información derivada del TM, teniendo en cuenta que la vegetación enmascara las características de los valores de reflectancia del substrato subyacente. Sin embargo algunas técnicas han demostrado ser útiles para lograr reducir los efectos de la vegetación existente. La TC y TDS mostraron la posibilidad de detectar zonas de alteración limonítica/hematítica en la región Bahía Honda asociadas a depósitos VMS. Este tipo de alteración fue la más significativa empleada durante el análisis por ser la predominante y con posibilidades de su cartografía a la escala del trabajo.

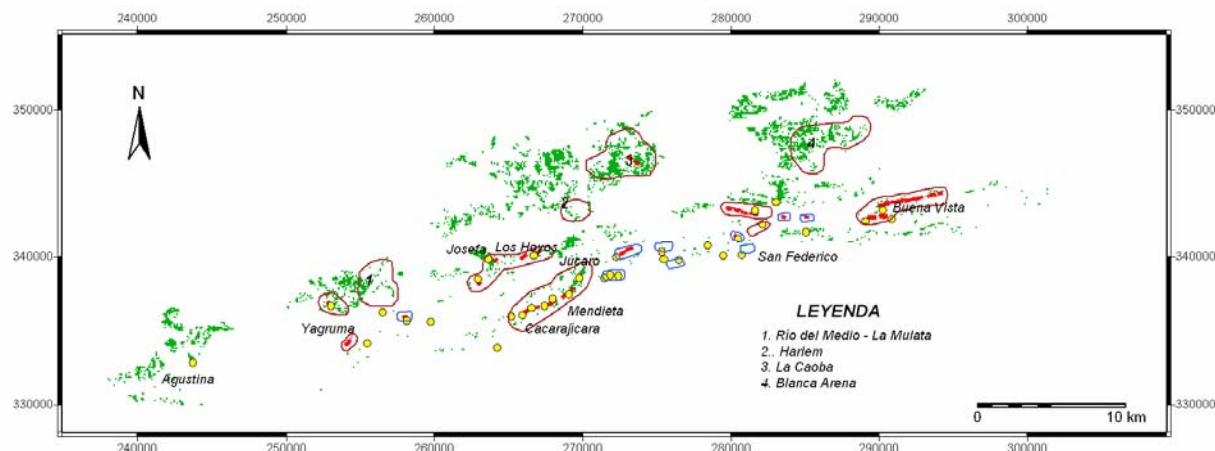


Figura 5. Mapa de alteración hidrotermal, en color verde, según los datos del Landsat TM. Los puntos amarillos representan yacimientos, manifestaciones o puntos de mineralización conocidos. Delimitadas en carmelita aparecen zonas que garantizan trabajos de exploración, prospección o reconocimiento, mientras que en azul se representan áreas exploradas sin perspectivas (Barbón et al., 1993). En rojo se muestran las áreas hidrotermalmente alteradas cartografiadas por trabajos anteriores.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos por el coeficiente de asociación areal o de Taylor calculado y comparado para ambas técnicas, las zonas de alteración limonítica detectadas según el empleo de la TC proporcionaron los mejores resultados para la cartografía de las rocas hidrotermalmente alteradas en el área de los trabajos.

Se puede concluir que en el área de Bahía Honda, la técnica Crósta puede ser utilizada para la cartografía de posibles zonas con presencia de alteraciones hidrotermales y como una herramienta rápida y barata en la prospección de depósitos VMS.

RECOMENDACIONES

Se recomienda la integración de la información obtenida del Landsat TM con otras fuentes de datos que proporcionen criterios favorables para la presencia de alteraciones hidrotermales (ej.

aerogeofísica) utilizando un Sistema de Información Geográfica. Esto permitirá una delimitación más confiable del conjunto de alteración hidrotermal favorable indicador de depósitos tipo VMS.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las discusiones de trabajo sostenidas con el Dr. Carbeny Capote y Dr. Manuel Pardo cuyas observaciones e ideas han sido fuentes de estimulación. Las revisiones detalladas del manuscrito y sugerencias aportadas por el M.Sc. Enrique Castellanos, Dr. Carlos Pérez y el Ing. Jorge L. Torres Zafra han contribuido de forma inapreciable al mejoramiento del mismo. A todos, la gratitud de los autores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrams, M.J., D. Brown, L. Lepley and R. Sadowki, 1983. Remote sensing of porphyry copper deposits in Southern Arizona. *Economic Geology* 78: pp. 591-604.
- Adams, J.B, and J.D. Adams, 1984. Geologic mapping using Landsat MSS and TM images: removing vegetation by modelling spectral mixtures. *Proceedings of the 3rd International Symposium of Remote Sensing for Exploration Geology*, Colorado Springs, Colorado, 16-19 April 1984, pp.615-622.
- Almeida-Filho, R. and I. Vitorello, 1997. Remote sensing and field data integration in the definition of hydrothermally altered areas in vegetated terrain, central Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 18, no. 8, pp. 1835-1842.
- Barniak, V.J., R.K. Vincent, J.S. Mancuso and T.J. Ashbaugh, 1996. Comparison of a gold prospect in Churchill County, Nevada with a known gold prospect in Mineral County, Nevada from laboratory measurements and Landsat TM images. *Proceedings of the 11th Thematic Conference on Geologic Remote Sensing*, Las Vegas, Nevada 27-29 February 1996, pp.1188-1197.
- Bonham-Carter, G.F., 1994. *Geographic Information System for Geoscientists, Modelling with GIS*. Pergamon, Ontario, 398 p.
- Bonham-Carter, G.F., F.P., Agterberg and D.F., Wright, 1988. Integration of geological datasets for gold exploitation in Nova Scotia. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54, No. 11, pp.1585-1592.
- Bonham-Carter, G.F., F.P., Agterberg and D.F., Wright, 1989. Weight of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential. In F.P Agterberg and G.F. Bonham-Carter (Eds.), *Statistical Applications in the Earth Sciences*, Geological Survey of Canada, Paper 89-9, pp. 171-183.
- Capote, C., 1999. Análise do controle estrutural metalogênico em Cuba Centro-Oriental, com base em dados integrados. Tese de doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de Sao Paulo, Brazil, 220 p.
- Carranza, M.J. and M. Hale, 2000. Geologically Constrained Probabilistic Mapping of Gold Potential, Baguio District, Philippines. *Natural Resources Research*, Vol. 9(No. 3): pp. 237-253.
- Carranza, E.J.M., 2002. Geologically - constrained mineral potential mapping: examples from the Philippines. PhD thesis Technical University of Delft, 480 p.
- Carranza, M.J. and M. Hale, 2002. Mineral imaging with Landsat Thematic Mapper data for hydrothermal alteration mapping in heavily vegetated terrane. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 23, no.22, pp. 4827-4852.
- Clark, R.N., G. A Swayze, A. Gallagher, T. V. V. King, and W. M. Calvin, 1993. The U.S. Geological Survey Digital Spectral Library, Version 1: 0.2-3.0 μm , U.S. Geological Survey Open File Report 93-592, 1326 pp.
- Conradsen, K. and O. Harpøth, 1983. Use of landsat multispectral scanner for detection and reconnaissance mapping of iron oxide staining in mineral exploration, central east Greenland. *Economic Geology*, Vol.79(No.6): pp. 1229-1243.
- Crósta, A.P., and A. Rabelo 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.
- Crósta, A. P. and McM. John Moore, 1989. Enhancement of landsat thematic mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais state, Brazil: A prospecting case history in greenstone belt terrain. *Proceedings of the Seventh Conference on Remote Sensing for Exploration Geology*, pages 1173-1187, October 2-6 1989. Calgary, Alberta, Canada

- Fraser, S. J., 1991. Discrimination and identification of ferric oxides using satellite Thematic Mapper data: a Newman case study. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 12, pp.635-641.
- Fraser, S.J and A. A. Green, 1987. A software defoliant for geological analysis of band ratios. *International Journal of Remote Sensing*, 8, 525-532.
- 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 a escala 1:100 000. IGP, Inédito.
- 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. *Memorias GEOMIN 2003*, La Habana, 24-28 de Marzo, p. TPICG 1-9, ISBN 959-7117-11-8. CD-ROM.
- Hashemi Tangestani, M. & F. Moore, 2000. Iron oxide and hydroxyl enhancement using the Crosta Method: a case study from the Zagros Belt, Fars Province, Iran. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 2, issue 2, pp. 140-146.
- Iturralde-Vinent, M.A., 1998. Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. *Acta Geol. Hispánica*, Vol. 33, n. 1-4, p. 9-56
- Loughlin, W.P., 1991. Principal Component Analysis for Alteration Mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57(No.9):p.1163-1169.
- Ramos, W., D. Marchionni, E. Baldellón, R. Fernández y L. Tamayo, 2003. Procesamiento-interpretación de imágenes LANDSAT-TM en la prospección minera del suroeste de Bolivia: control litológico y estructural en la distribución espacial de los depósitos minerales. *Revista SELPER*, vol. 19, No 1, pp. 28-38.
- Ruiz-Armenta and Prol-Ledesma, R.M., 1998. Techniques for enhancing the spectral response of hydrothermal alteration minerals in Thematic Mapper images of Central Mexico. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 19, no. 10, pp 1981-2000.
- Russell, N., J. Moreira & R. Sánchez, 2000. Volcanogenic massive sulphide deposits of Cuba. In *Volcanogenic massive sulphide deposits of Latin America*. Edited by R. L. Sherlock and M. A.V. Logan, Mineral Deposit Division, Geological Association of Canada Publication, p. 241-258.
- Moreira Martínez, J., J. L. Kramer y R. Martín, 2005. Utilización de los modelos de exploración mineral y los SIG en la evaluación del potencial de recursos minerales níquelíferos. Macizo de Cajalbana, Cuba. *Memorias GEOMIN 2005*, La Habana, 24-28 de Marzo, p. TPICG 1-9, ISBN 959-7117-11-8. CD-ROM.
- Spatz, D.M., 1997. Remote sensing characteristics of the sediment- and volcanic-hosted precious metal systems: imagery selection for exploration and development. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 18, pp 1413-1438.
- Suárez, A and J. Moreira Martínez, 2003. Remote detection of mineralization indication in a heavily vegetated terrain using Landsat TM Data, Escambray massif, Cuba. *Proceedings of VI International Workshop "Informatics and Geosciences" GEOINFO 2003*, Havana City, Cuba, 24-27 November. ISSN 1028-8961. CD-ROM.
- Tanaka, S.M., and D.B. Segal, 1989. Integrated remote sensing /vectors based GIS technology for gold exploration, Round Mountain District, Nevada. *Proceedings of the 7th Thematic Conference for Exploration Geology*, Calgary, Alberta, pp. 1269-1283.
- Torres-Vera, M.A. and R.M. Prol-Ledesma, 2000. Spectral enhancement of TM images of the Guanajuato District (Mexico) to identify hidrothermally altered rocks. *Proceedings of the Fourteen International Conference on Applied Geologic Remote Sensing*, pages 354-360, 6-8 November 2000. Las Vegas, Nevada.
- Vazquez Torres, M., 2002. Identification of VMS Prospecting Targets in the Bahia Honda Ophiolites of Western Cuba. Application of Spatial Data Analysis to Mineral Exploration. Research Proposal Project, EGPR, 15p.

MAPA LITOGEOQUÍMICO A ESCALA 1:50 000 DEL TERRENO GUANIGUANICO. PRINCIPALES RESULTADOS

Jorge Luis Torres Zafra, Jesús Moreira Martínez.

Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca 1001, e/ Prolongación Carretera Central y Línea de FFCC., Virgen del Camino, San Miguel del Padrón, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Eléct: zafra@igp.minbas.cu

RESUMEN

El mapa litogeoquímico digital del Terreno Guaniguanico (4257,5 km²) consta de once cartas monoelementales para los elementos Cu, Pb, Zn, Ag, Co, Ba, Mo, Ni, Cr, V y Zr. Las siete primeras abarcan la totalidad del área de estudio y las cuatro restantes el 60 % de la misma. Este es el resultado de la unificación, realizada por primera vez, de la información geoquímica obtenida durante la ejecución de la cartografía geológica compleja a escala 1:50 000 de Cuba Occidental realizada entre 1975 y 1991. El mismo fue alcanzado considerando las particularidades de la mayoría de las unidades litoestratigráficas presentes en el objeto de estudio, aspecto en que también resulta novedoso. En su confección se utilizó con preferencia la información primaria, usándose la extraída de otras fuentes solo cuando esta no podía ser obtenida.

Entre los principales resultados figuran: 1) Determinación de los parámetros geoquímicos básicos para la mayoría de las unidades litoestratigráficas del Terreno Guaniguanico. 2) Establecimiento del carácter metalífero de las secuencias ricas en materia orgánica de las formaciones Esperanza (Co), Guasasa (Co y Ba), Artemisa (Co y Ba), San Cayetano (Co y Zr) y de su miembro Castellano (Co). Estas unidades (así como la Fm. Arroyo Cangre y la Fm. Jagua) también presentan concentraciones medias anormalmente elevadas de Ag. 3) Se identificó la existencia de dos variaciones geoquímicas regionales dentro del objeto de estudio: a) Tendencia a la sustitución de la asociación Zn - Pb - Cu - Co - Ag - Ni, predominante en el NW, por la asociación Cr - Zr - V - Ba hacia su parte SE. b) Cambio de la concentración regional de Co, de sobreelevada en la parte occidental a normal o ligeramente baja en la oriental. 4) Las relaciones multiplicativas Pb*Zn*Ag, Cu*Ag y Cu*Co están genéticamente vinculadas con la mineralización pirítico - polimetálica, cuprífera y pirítico - cobaltífera. Esto permite su empleo en la delimitación de áreas perspectivas para depósitos de metales básicos y preciosos en el Terreno Guaniguanico.

ABSTRACT

The Guaniguanico Terrain litho geochemical digital map (4257,5 km²) consists of eleven monoelemental charts for Cu, Pb, Zn, Ag, Co, Ba, Mo, Ni, Cr, V and Zr elements. The seven first embrace entirety study area and the four remaining 60 % of the same one. This is the result of the unification, carried out for the first time, of the geochemical information obtained during the execution from the complex geologic cartography to scale 1:50 000 of Western Cuba, carried out between 1975 and 1991. The same one was reached considering the particularities of most of the litoestratigraphic units present in the study object, aspect in that it is also novel. In their making was used with preference the primary information, being used the one extracted of other sources alone when this couldn't be obtained.

Among the main results figure: 1) Determination of the basic geochemical parameters for most of the litoestratigraphic units of the Guaniguanico Terrain. 2) Establishment of the metalliferous character of the rich organic matter sequences of the Esperanza (Co), Guasasa (Co and Ba), Artemisa (Co and Ba), San Cayetano (Co and Zr) formations and Castellano Member of the San Cayetano Formation (Co). These units (as well as Arroyo Cangre and Jagua formations) also present abnormally high median concentrations of Ag. 3) The existence of two regional geochemical variations was identified inside the study object: a) Tendency to the substitution of the Zn - Pb - Cu - Co - Ag - Ni association, predominant in the NW, for the Cr - Zr - V - Ba association toward their SE part. b) Change of the regional concentration of Co, from over high in the western part at to normal or lightly low in the oriental. 4) The Pb*Zn*Ag, Cu*Ag and Cu*Co multiplicative relationships are genetically linked with the pyritic - polimetallitic, cupriferous and pyritic - cobaltiferous mineralization. This allows

their utilization in the delimitation of perspective areas for basic and precious metal deposits in the Guaniguanico Terrain.

INTRODUCCIÓN

La geoquímica constituye una importante fuente de información sobre la presencia de depósitos minerales, principalmente metálicos, así como sobre el medio geológico en el cual estos se hospedan. Aunque han sido muchos y diversos los trabajos ejecutados en el Terreno Guaniguanico que han incluido el empleo de métodos geoquímicos y el aprovechamiento de sus resultados, esta es la primera ocasión en que puede disponerse de mapas geoquímicos (litogeoquímicos en el presente caso) para casi la totalidad de su territorio. Por esta razón, fue posible acceder, a través de ellos, a una información que, en algunos aspectos, es completamente novedosa. Este resultado tiene como característica la de haberse alcanzado considerando las particularidades de la mayoría (y más importantes) de las unidades litoestratigráficas presentes en el objeto de estudio, aspecto en que también resulta novedoso.

GEOLOGÍA REGIONAL

El archipiélago cubano se encuentra en el NW de la región del Caribe y cuenta con 4194 islas y cayos, incluyendo las islas de la Juventud y de Cuba, con una extensión territorial de 110 922 km². Geológicamente, se localiza en la placa norteamericana, al Norte de la frontera de la placa Caribe y se caracteriza por contar con dos niveles estructurales: 1) Cinturón Plegado Cubano y 2) Neoautóctono. El Cinturón Plegado Cubano, está constituido por unidades geotectónicas continentales y oceánicas, representativas de grandes entidades paleogeográficas. Entre las secuencias de margen continental, ampliamente distribuidas en Cuba, aparecen varias unidades estructurales, comúnmente conocidas en la literatura como "Terrenos de Cuba SW" (Iturralde – Vinent, 1996) o "Terreno Metamórfico Meridional" (Cobiella, 2005). Estas unidades son los terrenos Guaniguanico, Pinos y Escambray. El Terreno Guaniguanico se encuentra en la parte más occidental de Cuba, en la provincia Pinar del Río, extendiéndose de SW a NE a lo largo de 155 km, con un ancho de 12,4 Km en su parte oriental y de 48 km en la suroccidental, abarcando un área de 4257,46 Km². Limita hacia el NW con las secuencias autóctonas del Mesozoico al Paleógeno Inferior del SE del Golfo de Méjico, sobre las cuales está cabalgada. Por el S es limitada por la Falla Pinar, sistema tectónico transcurrente siniestro de larga vida que ha funcionado de diferentes formas en distintos períodos (Cofiño y Cáceres, 2001), que la separa de la Zona Tectono – Estratigráfica San Diego de Los Baños. Por el SW es limitada en superficie por una cobertura de sedimentos plioceno - cuaternarios, reflejo de una dislocación tectónica reciente que la hundió más al SW (Pérez et al, 2003). Por último, hacia el NE, es limitada por la Falla Consolación del Norte, la cual la pone en contacto tectónico con el Cinturón Ofiolítico Cubano principalmente.

Este terreno (que constituye la Zona Metalogénica Guaniguanico) está compuesto por secuencias terrígenas, terrígeno – carbonatadas y carbonatadas de margen continental (sinrift y postrift). Presenta un magmatismo toleítico distensional en grado variable (desde moderado hasta ausente). Sus secuencias se extienden en el tiempo desde el Jurásico Inferior hasta el Cretácico Cenomaniano, llegando hasta el Turoniano en algunas localidades de la Sierra del Rosario. Ellas son generalmente ricas en materia orgánica, teniendo de 1 hasta 35 % de sustancia carbonosa y de 1 a 23,86 % de carbono orgánico total (Torres et al, 2005). Estas secuencias se acumularon en ambientes predominantemente reductores, los cuales abarcan facies deposicionales emergidas y costeras, así como de aguas someras, moderadamente profundas y profundas. Ellas, en general, están afectadas

por un metamorfismo regional poco intenso, excepto el Cinturón Cangre (situado en el extremo meridional del Terreno Guaniguanico), donde el metamorfismo alcanza desde la transición de las facies esquistos verdes – anfibolitas hasta la de esquistos glaucofánicos (Cruz et al, 2003).

Según Giunta et al (2006), las evidencias geológicas y características petrológicas del Jurásico y Cretácico de Guatemala, Cuba, La Española y Venezuela sugieren fuertemente que existió una continuidad regional de los márgenes continentales de Bahamas, Maya y Chortis al N y del Escudo de Guayana al S de la zona de ruptura de Pangea antes de que este continente se fracturara. Porciones de estos bloques fueron afectados por la fracturación continental y por el magmatismo toleítico intraplaca (Within Plate Tholeitic, WPT), bien documentado en el N (Cuba) y en el S (Venezuela), en sus correspondientes cinturones caribeños periféricos (Giunta et al, 2006). Los sedimentos terrígenos de sinrift del Terreno Guaniguanico (Fm. San Cayetano) comenzaron a acumularse a principios del Jurásico Inferior en esta cuenca intracontinental del supercontinente Pangea, constituida y flanqueada por los bloques norteamericanos y sudamericanos. Esta sedimentación continuó durante la mayor parte del Jurásico, mientras la cuenca experimentaba un proceso de riftogénesis, el cual provocó la separación de las placas de América del Norte y América del Sur, formándose los correspondientes márgenes continentales. Los mencionados sedimentos se acumularon en ambiente aluvial, deltaico y costero. En el Oxfordiano las facies sedimentarias pasaron a ser predominantemente costeras, como en el Miembro (Mb.) Castellano de la Formación (Fm.) San Cayetano. A partir del Thitoniano, pasaron a predominar las facies de sedimentación marinas de aguas moderadamente profundas y profundas (postrift), habiendo también facies de aguas someras (Fm. Esperanza y otras). Del mismo modo, con el paso del tiempo, la sedimentación, esencialmente terrígena al principio, fue haciéndose más carbonatada, pasando a ser esencialmente carbonatada en el Cretácico Inferior. La acumulación de sedimentos en las secuencias de margen continental representadas en el Terreno Guaniguanico concluyó en el Turoniano (García et al, 2003), cesando la apertura del Golfo de México y el ambiente tectónico extensional en el Neocomiano (Tenreyro, 2003). Lo anterior permite inferir que el evento metalogénico que dio origen a los depósitos de sulfuros metálicos de este terreno concluyó probablemente en la parte más baja del Cretácico Inferior, habiéndose iniciado en el Jurásico Inferior o Medio. Este terreno se caracteriza por presentar mineralización de metales básicos con Ag, Au, Co y Ba.

MATERIALES UTILIZADOS

La información geoquímica utilizada es la suministrada por el muestreo litogeoquímico realizado en los levantamientos NW de Pinar (Astajov et al, 1981); Pinar NW (Burov et al, 1986); Pinar Central (Martínez et al, 1988) y Pinar – Habana (Martínez et al, 1991), por ser este método el que cartografía las anomalías con menor desplazamiento con relación a sus fuentes.

Los datos geoquímicos primarios de los levantamientos Pinar Central y Pinar - Habana, se encuentran originalmente en las Bases de Datos (BD) correspondientes a estos levantamientos elaboradas en Access 7.0 por la Empresa Geominera Pinar del Río. El primero de los levantamientos señalados tiene determinaciones para 22 elementos (As, P, Sb, Ga, Pb, Sn, W, Ag, Ni, Bi, Mo, Cu, Co, Zn, Ba, Mn, V, Cr, Zr, Nb y Sr), abarcando un total de 6188 puntos de muestreo. El segundo tiene determinaciones para 24 elementos (As, P, Sb, Ga, Pb, Sn, W, Ag, Ni, Bi, Mo, Cu, Co, Zn, Ba, Ga, Mn, V, Cr, Zr, Nb, Be, Sr y Ti), con un total de 1778 puntos de muestreo ubicados dentro del área de estudio seleccionada.

Los datos pertenecientes al levantamiento Pinar NW fueron tomados de mapas litogeoquímicos primarios de datos reales, en papel alba, correspondientes a las hojas cartográficas 1:50 000 Mantua, Baja, Sumidero, San Juan y Martínez y parte (el 50 % aproximadamente) de Dimas para varios elementos (que no eran siempre los mismos). La información litogeoquímica del resto del área cubierta por este levantamiento, se extrajo de los mapas de anomalías monoelementales del informe

correspondiente (Burov et al, 1986). Del Levantamiento de Astajov et al (1981), el cual abarca las hojas 1:50 000 Minas de Matahambre, Cayo Inés de Soto y Sumidero (parte NW), los datos fueron extraídos de los mapas monoelementales de umbrales anómalos (C₁, C₂, y C₃).

METODOLOGÍA

La metodología de toma de muestras litogeoquímicas en los 4 levantamientos fue esencialmente la misma. Se realizó la toma de muestras de rocas, de 150 a 300 g de peso, de afloramientos naturales, siendo la distancia entre muestras de 400 a 450 m generalmente. Donde no había afloramientos, se tomaron fragmentos eluviales grandes, teniendo en cuenta que el desplazamiento de los mismos por las pendientes no superase las decenas de m. Las anomalías intensas fueron verificadas mediante muestreo de detalle. Para su análisis, las muestras tomadas fueron trituradas en molinos de mandíbula hasta 1,0 mm y luego llevadas en molinos de discos hasta 0,07 mm. El método analítico aplicado fue el espectral semicuantitativo de emisión empleándose el espectrógrafo de foco largo DFS - 8. Los límites de detección son los señalados en la tabla No I.

Tabla No I. Límites de detección por elementos.

Elemento	Límite de Detección (ppm)	Elemento	Límite de Detección (ppm)
As	100	Zn	1
P	100	Ba	1
Sb	30	Ga	1
Ge	1	Mn	10
Pb	1	V	1
Sn	1	Cr	3
W	3	Zr	1 y 10*
Ag	1	Nb	3
Ni	1	Sr	30
Bi	2	Ti	30
Mo	1	Be	1
Cu	1	Ba	1
Co	1	Ga	1

* 1 ppm para el levantamiento de Burov et al (1986) y 10 ppm para el de Martínez et al (1988).

En el proceso de adquisición y organización de los datos se utilizaron los softwares ILWIS 3.3, UltraEdit, SURFER 8.0 y Excel 2003. Como resultado, se obtuvo una base de datos litogeoquímica para la mayor parte del objeto de estudio. Solo quedó sin información las partes W y N del municipio Mantua. Esto se debió al hecho de que los trabajos de levantamiento geoquímico a escala 1:50 000 se iniciaron aplicando geoquímica de suelo y a que, cuando los ejecutores tomaron la decisión de emplear en su lugar la litogeoquímica, no se volvió a levantar con este método el territorio ya trabajado hasta ese momento. Como consecuencia, áreas tan importantes como el Distrito Mineral Unión – Juan Manuel y el yacimiento Hierro Mantua quedaron fuera de los límites del área con información litogeoquímica.

En la extracción de los datos a partir de mapas monoelementales, para la asignación de valores a los puntos se partió del valor de las isolíneas de contenido entre las cuales se encontraban y la distancia del punto hasta ellas. Para los puntos situados por fuera de la isolínea de menor valor cartografiada

en los mapas, se le asignó el valor de fondo reportado en el informe para el elemento dado y, a una parte de ellos, valores inferiores al fondo para reducir la distorsión del histograma en este rango de valores con respecto al que se obtendría de disponerse de los datos primarios reales.

En el levantamiento NW de Pinar (Astajov et al, 1981), a los puntos situados por fuera de la isolínea C₁, para los elementos Cu y Ag se asignó el valor del fondo determinado por los autores de este levantamiento o inferiores al mismo. Para el Zn y el Pb se asignó el del primer umbral e inferiores (por ser muy bajo el fondo con relación al señalado por los demás levantamientos regionales utilizados para estos elementos). En el caso del levantamiento Pinar NW (Burov et al, 1986), los valores huracanados pudieron ser recuperados por aparecer registrados en los mapas de referencia como anomalías puntuales circulares. De este modo, para el levantamiento Pinar NW se obtuvo una base de datos con 5920 puntos, de los cuales 2213 tienen valores primarios reales. La misma abarca 11 elementos (Ag, Ba, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn y Zr). Para el Levantamiento NW de Pinar se obtuvo una base de datos contentiva de los valores de Cu, Pb, Zn y Ag en 1675 puntos de adquisición de valores, de los cuales se utilizaron 1166, correspondientes al área no cubierta por el levantamiento Pinar NW. Los datos correspondientes a los levantamientos Pinar Central y Pinar – Habana, fueron importados de sus respectivas BD en Access 7.0 al Excel 2003 y llevados a ppm.

Al preparar las tablas de datos monoelementales para el cálculo de umbrales, la totalidad de los puntos sin dato fueron retirados de las mismas. Igualmente se hizo en las variantes preparadas para la cartografía monoelemental, excepto para el Ba, Co, Mo y Zn. En los casos del Ba, Co y Mo, la modificación se realizó en el área abarcada por el levantamiento de Astajov et al (1981) carente de información para estos elementos, por lo que se rellenó esa área con puntos arbitrariamente seleccionados de este levantamiento, a los cuales se les asignó un valor de 200, 40 y 1 ppm respectivamente (valores de fondo escogidos para Ba, Co y Mo a partir de las modas determinadas para estos elementos en el presente estudio). En el caso del Zn, la variante se preparó asignándole a los puntos sin datos del levantamiento Pinar – Habana un valor de 40 ppm, a partir del mismo criterio. Esto se hizo para aprovechar la información de otros elementos existente en las áreas afectadas.

Las tablas monoelementales parciales fueron elaboradas para las unidades litoestratigráficas y litológicas con suficientes puntos de muestreo cartografiadas en el área de estudio. Estas unidades aparecen en la tabla No II. En la tabla aparecen marcados con una X los elementos para los cuales se confeccionó una tabla con más de 52 puntos para la unidad considerada. Los casos en que la tabla se elaboró con un número inferior de puntos aparecen señalados con una X y el número de puntos empleados a continuación. Los casos en que no se pudo confeccionar tablas monoelementales por insuficiencia de datos (menos de 21 puntos) presentan solamente el número indicativo de la cantidad de puntos para el elemento en la unidad considerada.

Además de las unidades pertenecientes al Terreno Guaniguanico, se consideraron otras unidades ajenas al Terreno Guaniguanico, tales como los sedimentos cuaternarios aluviales alQ y palustres pQ₂, así como algunas zonas de la Fm Guane, pertenecientes a la cobertura neoplatafórmica. En los dos primeros casos, su inclusión se debe a que los mismos cubren como parches superpuestos a la Fm. Esperanza y al Mb. Castellano a lo largo del curso inferior de los ríos que corren hacia la costa norte, de modo que su exclusión del área de estudio, dificultaría seriamente la cartografía de las anomalías presentes en estas unidades mesozoicas cerca de los límites de esta cobertura cuaternaria sobrepuesta. En el caso de la Fm Guane, la totalidad de los puntos de muestreo situados en ella se encuentran cerca de los límites del área de afloramiento del Terreno Guaniguanico y delinean el límite del levantamiento geoquímico. En este caso, estos puntos brindaron el cierre natural de las anomalías litogeoquímicas que se localizan en las proximidades del contacto de la Fm. Guane con las del Terreno Guaniguanico (principalmente con la Fm. San Cayetano). La Fm.

Buenavista se incluyó para cartografiar posibles anomalías en algunas zonas ocupadas mayoritariamente por las secuencias del mencionado terreno donde hay afloramientos de esta unidad, con el fin de no dejar huecos vacíos dentro del área de estudio. Por igual motivo se incluyeron las serpentinitas.

Utilizando este conjunto de tablas, se determinó la media, la moda, fondo, C_1 , C_2 y C_3 por unidad litoestratigráfica. En el caso de las unidades con poca extensión espacial situadas dentro del área de trabajo y carentes de datos suficientes para calcular sus umbrales, ellas fueron adicionadas a alguna de las unidades principales geoquímicamente bien caracterizadas, atendiendo a vecindad geográfica y/o semejanza litológica (Fm. Santa Teresa, adicionada a la Fm. Esperanza; Fm. Pons adicionada a la Fm. Artemisa y otros casos). De igual modo se procedió con las unidades a las que no pudo calcularse los parámetros geoquímicos en algún elemento por falta de datos (Fm. Polier, que para el Zn se le asignó los umbrales que presenta la vecina Fm. Artemisa para este elemento).

Tabla No II. Unidades litoestratigráficas con tablas monoelementales para determinación de umbrales.

FORMACIÓN	Pb	Zn	Cu	Ag	Ba	Co	Mo	Ni	Cr	V	Zr	Total
Arroyo Cangre	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11
alQ (Cuaternario)	X	X	X	X	X 43	X	X	X 31	X 30	X 30	X 33	11
Artemisa	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11
Castellano	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11
El Sábalo	11	0	X 42	3	5	X 26	X 21	X 42	X 29	X 42	X 27	7
Esperanza	X	X	X	X	X	X	X	9	9	7	18	7
Francisco	7	3	9	4	4	5	5	9	7	9	5	0
Guane	X 48	X 47	X 48	X 45	X 45	X 43	X 48	0	0	0	0	7
Guasasa	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11
Jagua	X	X 51	X	X 30	X	X	X	X	X 52	X	X 47	11
Manacas	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11
Moreno	12	12	12	12	10	10	10	0	0	0	0	0
Polier	X	4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	10
Pinalilla	2	0	3	1	0	2	0	3	2	3	0	0
Pons	16	17	16	16	0	0	0	0	0	0	0	0
Buenavista	X	X 50	X	X 33	X	X	X	X	X	X	X	11
pQ ₂ Cuaternario	12	12	11	12	0	0	0	0	0	0	0	0
San Cayetano	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	11
San Miguel	0	0	6	0	0	0	0	6	4	6	1	0
Santa Teresa	X 24	16	X 33	15	5	12	6	20	9	18	11	2
Gabros	X 51	X 48	X	X 52	X 50	X	X	11	9	11	8	7
Basaltos y diabasas	6	6	6	5	5	3	4	0	0	0	0	0
Serpentinitas	X	X 45	X	X 40	X 43	X	X 43	X	X	X	X	11
Total de tablas	14	12	15	13	13	14	14	11	11	11	11	139

ABUNDANCIA REGIONAL DE METALES EN LAS SECUENCIAS RICAS EN MATERIA ORGÁNICA

La abundancia notable de metales no es una característica propia de todas las litologías y secuencias ricas en materia orgánica, sino solo de algunas de ellas. Esto ha dado lugar a la realización de un

significativo número de estudios geoquímicos dirigidos a diferenciar las secuencias de rocas sedimentarias terrígenas ricas en materia orgánica con contenidos normales de metales de aquellas que los presentan en concentraciones anómalas, generando fondos geoquímicos locales sobreelevados. En este sentido, la definición clásica de lutita o pizarra negra metalífera es la propuesta por Vine y Tourtelot (1970), basada en su Black Shale Composite (BSC):

“Una lutita negra es definida como rica en metal si algún elemento menor [de los 21 escogidos] ocurre en un exceso porcentual del 90 %, determinado de la suma de la distribución de la frecuencia porcentual de elementos en los 20 sitios de muestreo (779 muestras) de lutitas negras”.

Otra definición (Huyck, 1991) se basa en el empleo como referencia del “USGS Devonian Ohio Shale” (from Kentucky), también conocido como U.S. Geological Survey Standard SDO – 1 (abreviadamente SDO -1). La misma plantea que:

“Una pizarra negra metalífera es una pizarra negra que está enriquecida en un metal dado por un factor de 2x (excepto Be, Co, Mo y U, para los cuales 1x es suficiente) con respecto al U.S. Geological Survey Standard SDO – 1”.

Además del BSC (Vine y Tourtelot, 1970), del NASC (North America Shale Composite) y del SDO – 1 (Quinby - Hunt et al, 1997), otros estudios, todos independientes entre sí, han establecido patrones de referencia para el contenido de metales en lutitas y pizarras negras en la literatura especializada. Entre ellos figuran el Shale Composite (Turekian y Wedepohl, 1961); el Post-Archean Australian Shales (PAAS) y el Marine Sciences Group Black Shale Composite o MSG - BSC (Quinby - Hunt et al, 1997). El SDO – 1 abarca 51 elementos, incluidos los 14 de las Tierras Raras, mientras que el BSC, contiene 21 elementos. El MSG - BSC contempla 34 elementos, incluidos 9 de las Tierras Raras. El Shale Composite comprende 12, el PAAS incluye 27, dentro de ellos 9 de Tierras Raras. El NASC abarca 27 elementos, incluidos 8 de Tierras Raras. Aunque todas las definiciones se refieren a metales, el Ca, K, Na, Mg, Al y Fe no se emplean para clasificar las pizarras negras, aunque sus contenidos sí aparecen, junto con el de Cl, en la mayoría de los patrones de referencia descritos.

Para caracterizar las secuencias ricas en materia orgánica del Terreno Guaniguanico, se compararon los contenidos medios obtenidos para las diferentes unidades litoestratigráficas de los 11 elementos utilizados en el presente estudio con los reportados en los patrones arriba mencionados. En el caso de las secuencias carbonatadas ricas en materia orgánica, al no disponerse de estudios sobre el contenido de metales en secuencias de este tipo que sirvieran de referencia, las mismas fueron comparadas con los contenidos medios reportados para las rocas carbonatadas por Turekian y Wedepohl (1961), a los que se les calculó el umbral metalífero aplicándole la definición de Huyck (1991). En los casos del Cu y el Co, para los cuales los valores de este umbral obtenidos resultan muy bajos, se tuvo en cuenta también el calculado por el autor para las lutitas ricas en Ca de Nevada a partir de los resultados de Bloomstein y Clark (1989) aplicando la misma definición.

RESULTADOS

La creación de una BD unificada de datos litogeoquímicos para el Terreno Guaniguanico y la generación de los mapas monoelementales derivados fueron los principales resultados obtenidos. Esta BD consta de 15053 registros, con 14307 puntos con datos para Cu, 13017 para Pb, 12280 para Zn, 11555 para el Ba, 11325 para Co, 10642 para Mo, 8249 para Ag, 7742 para Ni, 7704 para V, 7392 para Zr y 6950 para Cr.

Los mapas monoelementales de los 7 primeros elementos cubren la totalidad del área, mientras que los de los 4 restantes cubren el 60 % de la misma. Los valores en estos mapas fueron clasificados en 6 rangos, donde el rango 0 reúne a los valores cercanos al fondo, el rango 1 agrupa a los valores superiores al umbral anómalo C_1 , el 2 a los mayores que el umbral C_2 , el 3 a los mayores que C_3 , el 4 a los que superan el valor $2 \cdot C_3$ y el rango 5 a los superiores al umbral $5 \cdot C_3$.

Entre las características geoquímicas de la Zona Metalogénica Guaniguanico (figura No 1) reveladas por la cartografía litogeoquímica unificada de la misma, figura la existencia de una clara tendencia al aumento de la media del Ba hacia su parte meridional. Esto explica la presencia de los depósitos baríticos de la Subzona Metalogénica Pizarras del Sur (Santa Gertrudis y El Indio). Para el Co se observa la tendencia contraria, apareciendo los valores más altos hacia la parte N. Esta tendencia del Co está claramente expresada en la metalogenia de este terreno, pues los depósitos de piritas cobaltíferas se localizan en su parte noroccidental. Los valores de Cr, V y Zr diferencian las unidades mayoritariamente terrígenas de las carbonatadas, siendo la moda y el fondo del Zr los más discriminadores en este sentido.

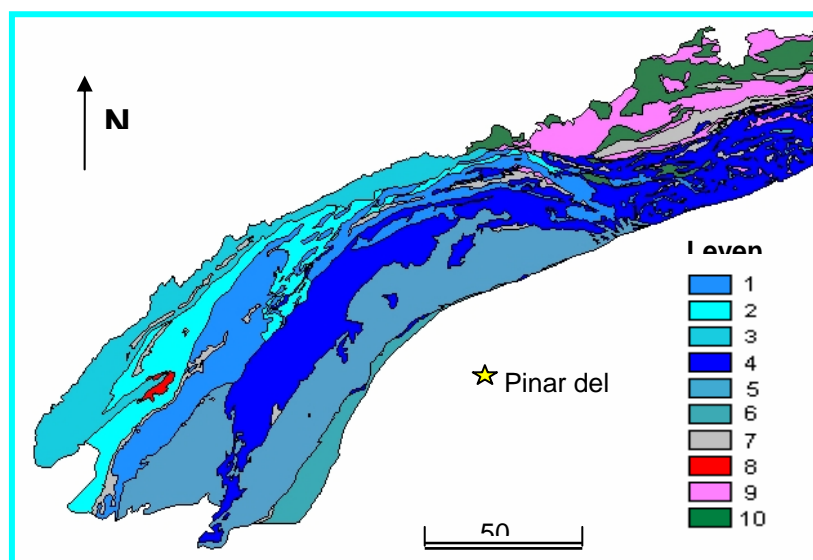


Figura No 1. Mapa de la Zonación Metalogénica de Pinar del Río (tomado de Torres et al 2004)

Leyenda: Zona Metalogénica Guaniguanico (Margen Continental): 1) Subzona M. Pizarras del Norte. 2) Subzona M. Castellano. 3) Subzona M. Esperanza. 4) Subzona M. Organos. 5) Subzona M. Pizarras del Sur. 6) Subzona M. Arroyo Cangre. 7) Áreas no pertenecientes a subzonas metalogénicas (Fm Manacas y otras). 8) Macizo Olga – Jagua. Zona Metalogénica Bahía Honda: 9 Subzona M. Cacarájicara (Corteza Oceánica). 10) Subzona M. Orozco (Arco Volcánico Insular Cretácico).

La especialización geoquímica de las unidades metalogénicas que integran la Zona Metalogénica Guaniguanico, de acuerdo con los valores medios, promedio y los de moda de concentración de los elementos estudiados, es la siguiente:

Unidad Metalogénica

Subzona Metalogénica Esperanza
Subzona Metalogénica Castellano
Subzona Metalogénica Pizarras del Norte
Subzona Metalogénica Órganos
Subzona Metalogénica Pizarras del Sur
Subzona Metalogénica Arroyo Cangre

Especialización geoquímica

Zn, Co, Cu, Ni y Mo
Pb, Cu, Ag, Co, Zn y Ni
Cr, Zr, Co, Pb, Ba, Cu y Ag
Zn y Ba
Zr, Ba, V y Cr
Cr, V, Ba, Pb, Cu y Ag

El examen de esta especialización revela como la asociación polimetálica Zn – Pb – Cu – Co – Ag – Ni predominante en el NW tiende a ser sustituida por la asociación de Cr – Zr – V – Ba hacia el SE. La figura No 2 lo muestra claramente:

Las anomalías de Ag se asocian bien con la mineralización polimetálica del tipo Sedex, particularmente si hay menas oxidadas (figura No 3). El Distrito Mineral Santa Lucía – Castellano (Zn – Pb – Ag ± Au) es identificado en el mapa monoelemental de Ag por una extensa área anómala de rango 1, presentándose en su parte central dos anomalías de rango 3 ubicadas ambas en el Mb. Castellano, paralelas entre sí. En cambio, depósitos ciegos como Amistad y Nieves, no tienen anomalías intensas asociadas, localizándose dentro de zonas con concentraciones bajas, entre el fondo y C₂. En total hay unas 25 anomalías y áreas anómalas no asociadas con mineralización conocida.

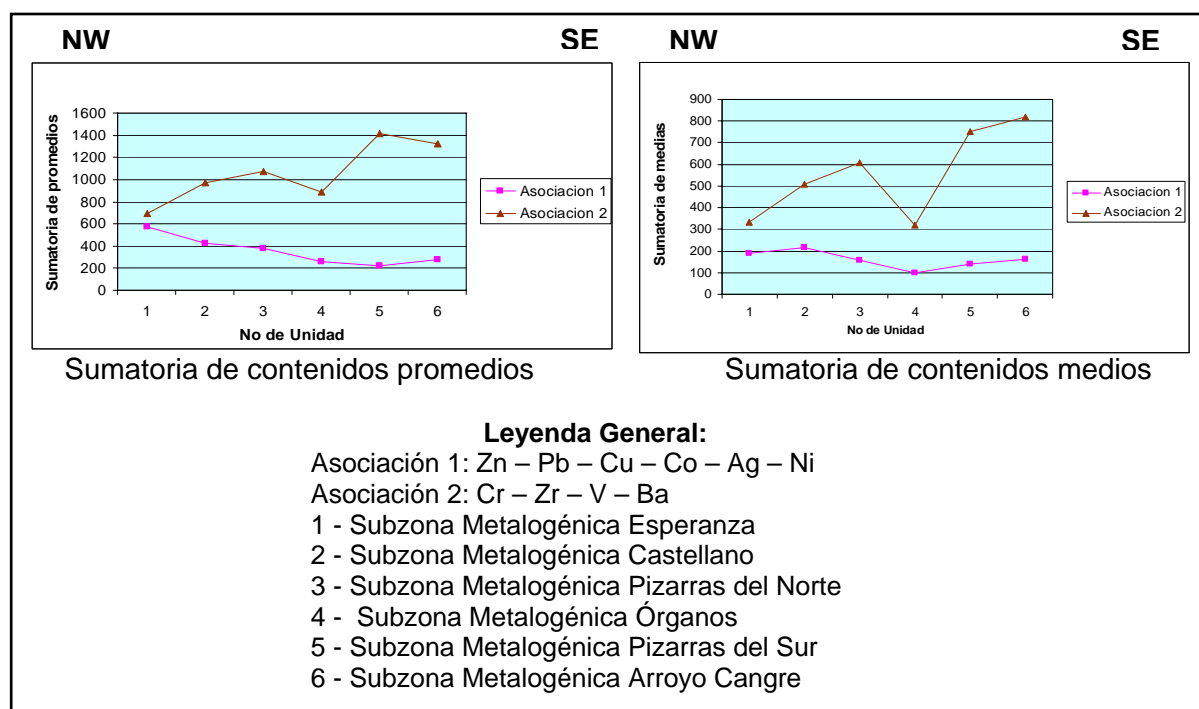


Figura No 2. Variación espacial de las asociaciones Zn – Pb – Cu – Ag – Ni y Cr – Zr – V – el Terreno Guaniguanico

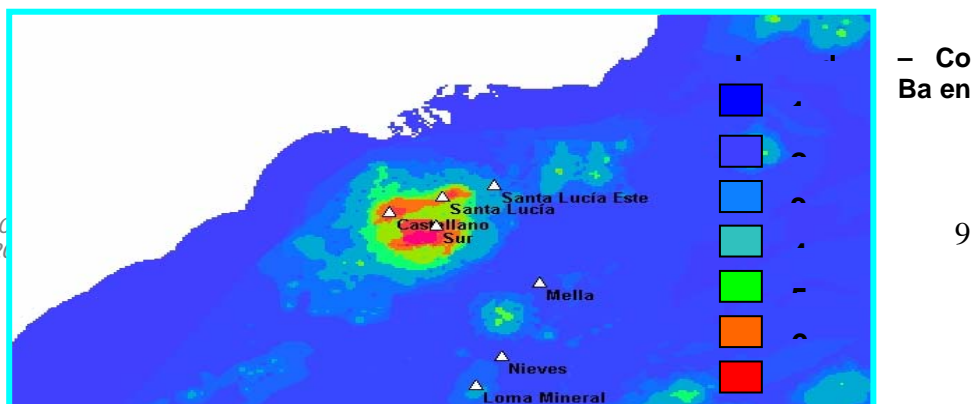


Figura No 3. Mapa monoelemental de Ag. Vista parcial. Leyenda: La clase 1 abarca los valores inferiores al fondo. La clase 2 contiene los que son superiores al fondo, la clase 3 a los valores mayores que C_1 , la clase 4 a mitad inferior del rango $C_2 - C_3$, la clase 5 a la mitad superior del rango $C_2 - C_3$, la clase 6 a los mayores que C_3 , La clase 7 agrupa a los valores que superan el valor $2 \cdot C_3$ y a los superiores al umbral $5 \cdot C_3$ respectivamente. Los triángulos blancos son los depósitos del tipo Sedex presentes en la zona.

Los depósitos baríticos Santa Gertrudis, El Indio e Isabel María se encuentran dentro de una zona con enriquecimiento regional en Ba de rango C_1 (800 – 2100 ppm). Los dos últimos tienen asociadas anomalías de rango 3, superiores a 0.6 % de Ba. Dos anomalías de rumbo ENE, con 5 máximos de más de 0.3 %, se localizan en el Distrito Mineral Santa Lucía – Castellano. De lo anterior se infiere que las anomalías baríticas de naturaleza mineral responden tanto a la presencia de menas baríticas como barítico – polimetálicas. En total, existen unas 40 anomalías y áreas anómalas no asociadas con mineralización conocida, principalmente en la subzona metalogénica Pizarras del Sur.

En el Distrito Mineral Santa Lucía – Castellano (figura No 4) el depósito La Esperanza (Cu), ubicado en la Fm. San Cayetano, tiene asociada una anomalía cuprífera de rango 4, la cual no incluye otros depósitos importantes cercanos como Castellano (Zn – Pb – Ag – Au + Cu), el cual, situado en su periferia, presenta en su mayor parte valores entre 150 y 400 ppm (rango 2). En la Fm. San Cayetano, el yacimiento Matahambre (Cu), por su parte, presenta otra anomalía de rango 3 a 5 (150 – 800 ppm). Esto sugiere que las anomalías de Cu se vinculan preponderantemente con la mineralización cuprífera. Anomalías y áreas anómalas no asociadas con mineralización conocida hay unas 20.

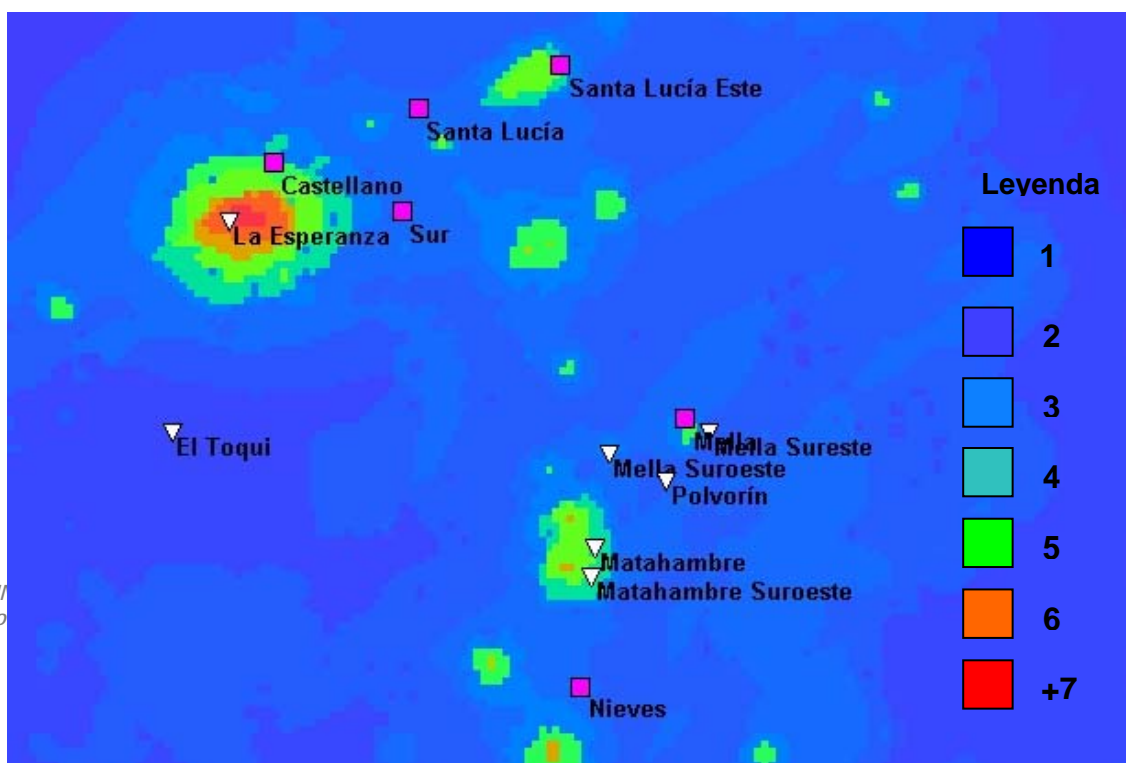


Figura No 4. Mapa monoelemental de Cu. Vista parcial. La leyenda es la misma que en la figura No 3. Los triángulos blancos invertidos son los depósitos cupríferos y los cuadrados magenta los polimetálicos de la zona.

En general, se observa que los depósitos polimetálicos suelen tener anomalías o áreas anómalas de Pb asociadas con valores superiores a los 150 – 200 ppm, mientras que los depósitos cupríferos suelen estar asociados con valores bajos de Pb, entre 20 y 100 ppm, es decir, pertenecientes al rango cero (valores cercanos al fondo) o al rango C₁. Lo anterior, unido a la poca movilidad del Pb, lo convierten en un fuerte indicador para la mineralización polimetálica.

El resultado de la comparación del contenido regional de metales de las unidades litoestratigráficas con los patrones de lutitas y pizarras negras metalíferas, para las secuencias terrígenas del terreno Guaniguanico muestra que la concentración media de Pb tiene un comportamiento normal. Las medias de Zn obtenidas para todas las unidades litoestratigráficas terrígenas son inferiores al reportado en los patrones de referencia. Esto indica que presentan un empobrecimiento en este metal. Así mismo, todas son regionalmente pobres en Cu con relación a los patrones de referencia. Con respecto a la corteza continental superior, solo el Mb. Castellano presenta una media algo superior, llegando apenas al 50 % de la media señalada por los patrones, por lo que esta pobreza es acentuada (tabla No III).

Tabla No III. Comparación de las medias (en ppm) por unidad litoestratigráfica con los patrones de lutitas y pizarras negras

FORMACIÓN	Pb	Zn	Cu	Ag	Ba	Co	Mo	Ni	Cr	V	Zr
Esperanza	25	79	25	1,26	199	50	1,6				
Castellano	25	50	31	1,47	199	42	1,6	63	79	31	200
San Cayetano Norte	19	50	20	1,26	251	16	1,6	50	79	25	251
Manacas	15	50	15	1,26	251	15	1,6	31	50	25	79
Guasasa	15	39	12	0,79	251	19	1,6	15	31	16	50
Artemisa	10	63	10	1,26	199	15	1,6	12	25	16	50
Jagua	15	63	15	1,41	316	5	1,3	25	50	25	79
San Cayetano Sur	19	50	16	1,12	316	12	1,3	39	79	40	316
Arroyo Cangre	25	50	19	1,26	398	15	1,6	50	158	63	200
Polier	5	----	6	0,79	158	5	1,3	12	19	16	16
PATRONES											
BSC (1)	20	300	70	1	300	10	10	50	100	150	70
MSG - BSG (2)	---	310	---	---	1120	17	65	---	111	500	230
SDO – 1 (3)	28	64	60	0,131	397	47	134	100	66	160	145
SC (4)	---	95	---	---	139	19	2,6	---	90	130	160
PAAS (5)	---	85	---	---	650	23	1,0	---	110	150	210

NASC (6)	---	---	---	---	636	26	---	---	124	---	200
Lutitas alto Ca (7)	10	99	82	0,32	403	8	30	44	---	40	---
Corteza sup. (8)	20	71	25	0,5	550	10	1,5	20	35	60	71
Corteza sup. (9)	17	52	14	0,55	668	12	1,4	19	35	53	52
Carbonatos (10)	9	20	4	1	10	0.1	0.4	20	11	20	19

- (1) Black Shale Composite (Vine y Tourtelot, 1970).
- (2) Marine Sciences Group Black - Shale Composite (Quimby - Hunt et al, 1997)
- (3) U.S. Geological Survey Standard SDO – 1 (Huyck, 1991).
- (4) Shale Composite. Turekian y Wedepohl (1961).
- (5) Post Archean Australian Shale (Quimby - Hunt et al, 1997).
- (6) North America Shale Composite (Quimby - Hunt et al, 1997).
- (7) Lutitas negras de alto calcio de Nevada (Bloomstein y Clark, 1991), con modificaciones.
- (8) Contenido medio de la corteza superior. Taylor y Mc Lennan (1995).
- (9) Contenido medio de la corteza superior. Wedepohl, (1995).
- (10) Contenido medio en rocas carbonatadas normales en la corteza terrestre (Turekian y Wedepohl, 1961), con Ag de Levinson (1974).

El análisis comparativo muestra que la Fm. Esperanza y el Mb. Castellano presentan medias sobreelevadas (50,12 y 42,39 ppm) de Co. Como se puede ver en la tabla No III, el valor obtenido para la Fm. Esperanza supera los umbrales metalíferos en todos los patrones de referencia examinados y el del Mb Castellano a todos menos el SDO – 1. Lo mismo puede decirse de la No IV. En consecuencia, puede afirmarse que ambas unidades pueden ser consideradas metalíferas. Sin embargo, el cuadro es complicado por la diferenciación geoquímica regional observada en dirección E-W para este elemento. Esta diferenciación divide al Terreno Guaniguanico en 2 zonas: La oriental tiene contenidos de normales a empobrecidos en Co. En cambio, la occidental presenta un fuerte enriquecimiento regional, en el rango 44 – 110 ppm (dentro del intervalo $C_1 - C_2$). Como puede verse, estos valores superan ampliamente los umbrales metalíferos de la tabla No 4. Por ello, en esta parte del Terreno Guaniguanico son metalíferas las formaciones San Cayetano, Esperanza y Arroyo Cangre, así como el Mb. Castellano.

Con respecto al Ba, las secuencias terrígenas de la parte septentrional del Terreno Guaniguanico está fuertemente empobrecidas en Ba, mientras que la parte meridional presenta concentraciones de normales a empobrecidas, de acuerdo con la referencia con que se la compare.

La mayor parte de las unidades terrígenas muestra un empobrecimiento relativo en Cr. En cambio, la Fm. Arroyo Cangre se destaca por una media distintivamente elevada de Cr (158,49 ppm), superior a las reportadas para este metal en todos los patrones de referencia tomados utilizados. En la tabla No IV, se observa que ella es superior al umbral metalífero del SDO – 1, pero bastante inferior al del BSC. En la tabla No 3, se puede ver que la media de Cr del SDO – 1 es la más baja entre los 6 patrones de referencia, por lo que, aplicando a los demás la definición de Huyck (1991), se obtienen valores en todos los casos superiores al de la Fm Arroyo Cangre. Teniendo esto en cuenta, no se clasifica esta unidad metaterrígena como metalífera.

Tabla No IV. Umbrales metalíferos para secuencias de lutitas y pizarras negras

Elemento (en ppm)	SDO – 1 (1)	BSC (2)	Lutitas de alto Ca (3)	Rocas carbonatadas (4)
Co	47	10	16	0.2
Zn	128	1500	198	40
V	320	1000	80	40

Cr	133	700	---	22
Mo	134	200	60	0.8
Ba	694	1000	806	20
Zr	330	200	---	38
Cu	120	200	164	8
Pb	56	100	20	18
Ni	199	300	88	40
Ag	0,26	7	0,64	2

- (1) U.S. Geological Survey Standard SDO – 1 (Huyck, 1991).
- (2) Black Shale Composite (Vine y Tourtelot, 1970).
- (3) Calculado por el autor para las lutitas negras de alto calcio de Nevada a partir de los resultados de Bloomstein y Clark (1991) utilizando la definición de Huyck (1991).
- (4) Umbrales calculados a partir de Turekian y. Wedepohl (1961), usando la definición de Huyck (1991).

El Zr tiene un comportamiento normal, excepto en la Fm. San Cayetano, la cual presenta un claro enriquecimiento, particularmente en su parte Sur. El examen de la tabla No IV muestra que la media de la parte Sur de la Fm. San Cayetano (316,23 ppm) supera con amplitud el umbral metalífero del BSC de Vine y Tourtelot (1970), acercándose mucho al umbral del SDO -1 de Huyck (1991). Por lo tanto, esta parte de la Fm. San Cayetano se clasifica como metalífera para el Zr. La parte Norte de la misma presenta una media (251,19 ppm) intermedia entre los dos umbrales señalados para este metal en la tabla No IV, por lo que su clasificación resulta dudosa.

Las secuencias terrígenas están fuertemente empobrecidas en Mo con respecto a la mayoría de los patrones de referencia empleados, excepto el PAAS. También hay un empobrecimiento acentuado de V con respecto a los patrones de referencia, siendo las medias obtenidas inferiores a las reportadas para la corteza continental superior, excepto para la Fm. Arroyo Cangre, cuya media es del mismo orden que estas. Por otra parte, todas las unidades litoestratigráficas terrígenas tienen un contenido normal de Ni.

Para las unidades carbonatadas se tiene que las formaciones Guasasa y Artemisa están fuertemente enriquecidas en Co, superando en más de 150 veces la media en rocas carbonatadas (ver tabla III). El contenido medio de Co en la Fm. Guasasa (19,85 ppm) supera el umbral metalífero para las lutitas de alto Ca de Nevada, siendo de señalar además que ambas superan el umbral metalífero del BSC para este elemento (tabla IV). Por ello, las dos se consideran metalíferas para el Co. Es de señalar que la afectación producida en la concentración de Co en las unidades carbonatadas por la diferenciación regional, ya expuesta anteriormente, es menor que en las terrígenas. Todas las unidades presentan enriquecimiento significativo en Ba (15 – 30 veces la media de Turekian y Wedepohl, 1961), por lo que clasifican como metalíferas para este elemento. Las formaciones Jagua y Artemisa están enriquecidas en Ag en relación con el contenido medio reportado para este tipo de rocas por los citados autores, pero sin alcanzar el umbral metalífero correspondiente. En cuanto al resto de los elementos considerados en el presente estudio, los contenidos de Zn, Cu, Mo, Cr y Zr resultan más o menos elevados. El contenido de Pb y Ni es normal a ligeramente alto y existe un ligero empobrecimiento en V.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permitieron derivar algunas regularidades importantes para la exploración de depósitos minerales metálicos endógenos. Estas son las siguientes: 1) Existe correlación directa entre la relación multiplicativa $Pb \cdot Zn \cdot Ag$ y la mineralización polimetálica, siendo inversa la existente

con la mineralización cuprífera. 2) La relación multiplicativa $Cu*Ag$ refleja tanto la presencia de mineralización pirítico - polimetálica como de la cuprífera, dado que la Ag responde a la primera y el Cu a la segunda. 3) Existe correlación inversa entre la relación multiplicativa $Cu*Ag$ y la mineralización barítica, lo cual se debe a la naturaleza independiente y posterior de esta con relación a la polimetálica y la cuprífera. 4) La relación multiplicativa $Cu*Co$ responde a la mineralización cuprífera y a la pirítico - cobaltífera, por responder el Cu a la primera y el Co a la segunda, no habiendo en la misma elementos relacionados con las mineralizaciones polimetálica y barítica. 5) Existe correlación inversa entre esta relación y la mineralización barítica, lo cual obedece al pronunciado contraste en las condiciones físico - químicas en que Co, Cu y Ba precipitan. Estos hechos permiten la cartografía eficaz de las zonas favorables para la presencia de mineralización pirítico -polimetálica (figuras No 5), así como de la cuprífera y la pirítico - cobaltífera con Cu.

Algunos de los rasgos geoquímicos puestos de relieve por la caracterización de las secuencias ricas en materia orgánica del Terreno Guaniguanico son de gran importancia metalogénica. En primer lugar, el empobrecimiento regional de las secuencias terrígenas en Zn y Cu explica, al menos en parte, la magnitud relativamente modesta de los recursos minerales de los depósitos más importantes conocidos hasta ahora en esta unidad geológica. Los sistemas minerales del Terreno Guaniguanico parecen haber tenido un potencial concentrador de metales básicos similar al de otros semejantes del resto del mundo. Si se acepta este postulado, entonces el menor contenido regional de Zn y Cu en las secuencias de la cuenca sedimentaria, fuente principal de los mismos en los mencionados sistemas, implicó leyes y volúmenes de recursos de menas polimetálicas y cupríferas menores, resultando ello en la ausencia de depósitos o cuerpos minerales conocidos de ley y tonelaje verdaderamente grandes a escala internacional, a pesar de que el contenido de Pb en dichas secuencias es normal.

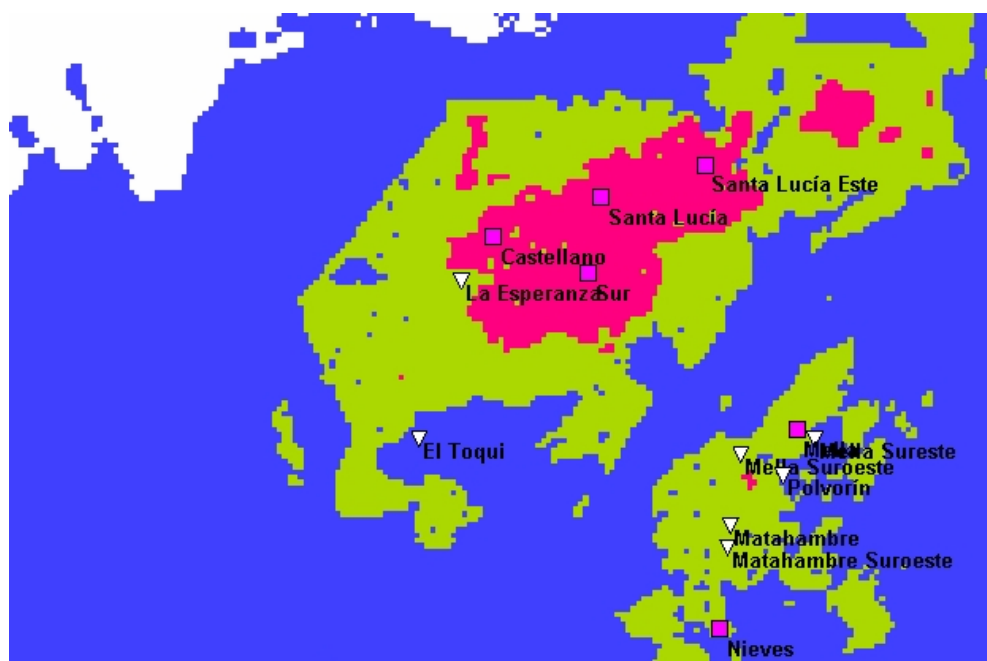


Figura No 5. Mapa de anomalías complejas resultante de la multiplicación de los mapas de anomalías multiplicativas de $Ag*Cu$ y $Ag*Pb*Zn$ respectivamente (reclasificados según criterios de favorabilidad para depósitos cupríferos y polimetálicos en el primer caso y para polimetálicos en el segundo). A la vista parcial se

han superpuesto los depósitos polimetálicos (cuadrados magenta) y cupríferos (triángulos invertidos blancos) de los distritos minerales Santa Lucía – Castellanos y Matahambre – Mella.

En tercer lugar, la causa de los generalmente elevados contenidos medios de metales hallados en las secuencias carbonatadas del Terreno Guaniguanico se relaciona con los comúnmente altos contenidos de materia orgánica en ellas. Aunque no se cuenta con referencias de estudios realizados sobre el contenido medio de metales en rocas carbonatadas ricas en materia orgánica, se estima que las medias encontradas de Co en Guasasa y Artemisa son significativamente elevadas, así como las de Ba en la totalidad de las unidades carbonatadas. Esto y los elevados contenidos de Zn y Ag en las formaciones Artemisa y Jagua sugieren la existencia en estas dos unidades litoestratigráficas de ciertas perspectivas para la presencia de depósitos polimetálicos del tipo Irish o MVT.

CONCLUSIONES

El estudio comparativo del contenido medio de metales en las secuencias ricas en materia orgánica del Terreno Guaniguanico permitió establecer que la Fm. Esperanza (Co), el Mb. Castellano (Co) y la Fm. San Cayetano (Co y Zr) clasifican como secuencias negras metalíferas, particularmente en su mitad occidental. Estas unidades litoestratigráficas (y la Fm. Arroyo Cangre) también se destacan por sus anormalmente elevadas concentraciones medias de Ag. Igualmente, las formaciones Guasasa y Artemisa son metalíferas (Co y Ba), presentando esta última y la Fm. Jagua medias significativamente sobreelevadas de Ag. Todo esto fundamenta la existencia de los depósitos conocidos de piritas cobaltíferas y de menas polimetálicas ricas en Ag y avala las perspectivas para el hallazgo de otros nuevos.

La existencia de anomalías geoquímicas de Ag, Ba, Co, Cu y Zn fundamenta las perspectivas para el posible hallazgo de depósitos polimetálicos (posiblemente del tipo Irish) en secuencias carbonatadas. El amplio desarrollo de los depósitos del tipo Sedex en la región también constituye una premisa favorable en este sentido. Se estima que las mejores opciones radican en la sección jurásica del corte estratigráfico carbonatado.

Los depósitos de metales básicos y preciosos se formaron en una cuenca sedimentaria adyacente a la zona de ruptura del supercontinente Pangea en la región caribeña. Este proceso de metalogénesis estuvo relacionado con el desmembramiento geotectónico de este supercontinente y con el magmatismo profundo y somero asociado a este evento. El empobrecimiento en Zn, Cu y Ba observado en las secuencias terrígenas explica en parte la magnitud relativamente modesta de los recursos minerales de los principales depósitos conocidos hasta ahora. Sus otras tres causas son: 1) Destrucción tectónica de depósitos minerales por la Orogenia Cubana (en el Eoceno). 2) Oxidación y desaparición de los cuerpos minerales como resultado de los procesos de erosión. 3) Bajo grado de estudio de los depósitos ciegos en la región.

La asociación polimetálica Zn – Pb – Cu – Co – Ag – Ni predominante en el NW del Terreno Guaniguanico tiende a ser sustituida por la asociación de Cr – Zr – V – Ba hacia la parte SE, indicando una variación geoquímica regional dentro de esta unidad geotectónica. Otra diferenciación regional importante es la observada en dirección E – W en la distribución del Co, la cual parece tener un origen geotectónico. Sin embargo, se estima necesario verificar la naturaleza geológica de esta última.

El Zn, Pb y Ag son elementos genéticamente relacionados en los procesos de mineralización singenética, por lo cual las anomalías geoquímicas de estos tres metales tienen gran importancia en la prospección de mineralización polimetálica estratiforme. La mineralización cuprífera constituyó un

evento superpuesto, por lo que las anomalías de Cu pueden aparecer combinadas con las de los elementos ya citados o en forma más o menos independiente. Lo mismo se aplica a la relación espacial entre las anomalías monoelementales de Cu y las de Co. La mineralización barítica fue, en muchos casos, posterior y/o independiente, por lo que las anomalías de Ba no siempre se asocian con la presencia de cuerpos polimetálicos. Esto fundamenta la eficacia del empleo de las relaciones multiplicativas en las que intervienen Zn, Pb, Cu, Ag y Co para la exploración de depósitos polimetálicos, cupríferos y pirítico – cobaltíferos con Cu en el Terreno Guaniguanico.

La Base de Datos y el conjunto de mapas litogeoquímicos de ella derivado ha mostrado ser de gran utilidad para los estudios geoquímicos regionales y para la evaluación del potencial mineral de la región estudiada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Astajov, K., V. Solianik, V. Vasiliev, D. Martínez, R. Fernández, J. Oubiña, Z. Santa María, 1981. Informe sobre los trabajos de levantamiento geológico a escala 1:50 000 en la parte noroeste de la provincia de Pinar del Río. Inédito.
- Binda, P. L., 2001. The Cu - Co deposits of the Zambian copperbelt: a product of passive margin sedimentation. Geomin 2001. Memorias, Trabajos y resúmenes. Centro Nacional de Información Geológica. La Habana. ISBN 959-7117-10-X.
- Bloomstein, E. I., J. B. Clark, 1991. Geochemistry of the ordovician high – calcium black shales hosting major gold deposits of the Getchell Trend in Nevada. Metalíferous black shales and related ore deposits – proceedings, 1989 United States Working Group Meeting, International Geological Correlation Program Project 254. Grauch R. I. and H. L. O. Huyck Eds: US. Geological Survey Circular 1058: 1 – 5.
- Burov, V., D. Martínez, Y. Yusanov, R. Fernández, V. Derbenev, A. Uspensky (1986): Informe de los trabajos de levantamiento geológico a escala 1:50 000 realizados en la parte occidental de la provincia de Pinar del Río en 1981 – 85. Inédito.
- Cobiella, J. L., 2005. Emplazamiento de las ofiolitas en Cuba. *Geologica Acta*. 1 (3): 273 – 294.
- Cofiño, C. E., D. Cáceres, 2001. Particularidades estructurales del corte mesozoico y su relación con hidrocarburos en la Sierra del Rosario. Geomin 2001. Memorias, Trabajos y resúmenes. Centro Nacional de Información Geológica. La Habana. ISBN 959-7117-10-X.
- Cruz, E. M., W. Maresch, D. Cáceres, N. Balcázar, K. Martín, 2003. La Faja Cangre y sus rasgos metamórficos. Pinar del Río. Cuba. V Congreso Cubano de Geología y Minería. Memorias Trabajos y Resúmenes. Centro Nacional de Información Geológica. La Habana. ISBN 959-7117-11-8
- Giunta, G., L. Beccaluva, F. Siena, 2006. Caribbean plate margin evolution: constraints and current problems. *Geologica Acta*: 4 (1 – 2): 265 – 277.
- 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. Inédito.
- Huyck, H. L. O., 1991. When is a metalíferous black shales not a black shale?. Metalíferous black shales and related ore deposits – proceedings, 1989 United States Working Group Meeting, International Geological Correlation Program Project 254. Grauch, R. I. and L. O. Huyck eds. US. Geological Survey Circular 1058: 42 – 56.
- Iturralde – Vinent, M. A., 1996. Introduction to cuban geology and tectonics. Cuban ophiolites and volcanic arcs. Iturralde-Vinent, M. A. (ed): IUGS/UNESCO International Geological Correlation Programme. Project 364, Special Contribution, (1): 3 – 35.
- Levinson A. A., 1974. Introduction to Exploration Geochemistry. Calgary, Applied Publishing Ltd, 612 p.
- Martínez, D., R. Fernández, R. Reinoso, J. C. Chang, O. Fernández, A. Valido, R. Peláez, R. Núñez, J. Hernández, P. Rodríguez, M. Vázquez, S. Shalva, V. Yuntsky, S. Precado, V. Touchenko, V. Shiring, C. Cofiño, 1988. Informe sobre los resultados del levantamiento geológico y búsqueda a escala 1:50 000 en la parte central de la provincia Pinar del Río. Inédito.
- Martínez, D., R. Fernández de Lara, R. Peláez, M. Vázquez, E. Barrios, A. Valido, R. Reinoso, J. C. Chang, O. Fernández, R. Denis, L. Gómez, D. García, S. Gil, D. H. Pérez, R. Reyes, M. Valdivia, R. Núñez, R.

- Pérez, J. Pizlangs, 1991. Informe sobre los resultados del levantamiento geológico y prospección preliminar a escala 1:50 000, Pinar-Habana. Inédito.
- Pérez, C. M., L. L. Peñalver, M. Cabrera, R. D. Valle, 2003. Algunas consideraciones acerca de la evolución tectónica del extremo occidental de Pinar del Río, Cuba. V Congreso Cubano de Geología y Minería. Memorias Trabajos y Resúmenes. Centro Nacional de Información Geológica. La Habana. ISBN 959-7117-11-8.
- Quinby - Hunt, M. S., P. Wilde, C. J. Orth & W. B. N. Berry (1997): Elemental geochemistry of black shales. Statistical comparison of low - Calcic shales with other shales: Modificado para la WWW del U.S. Geological Circular 1037 Metalliferous black shales and related ore deposits. R. I. Grauch and S. Leventhal (Eds): 8 – 15.
- Tenreyro, R., 2003. Evolución geológica de sector sur del margen continental norteamericano. Congreso Cubano de Geología y Minería. Memorias Trabajos y Resúmenes. Centro Nacional de Información Geológica, La Habana. ISBN 959-7117-11-8.
- Taylor, S. R., S. M. Mc Lennan, 1995. The geochemical evolution of the continental crust. *Rev. Geo – phys*, 33: 241 – 265.
- Torres, J. L., J. Moreira, R. M. Lavandero, J. L. Montano, 2004. Reevaluación Metalogénica del Potencial de los recursos minerales de Oro, Plata y Polimetálicos Asociados en secuencias ricas en materia orgánica Pinar del Río. Instituto de Geología y Paleontología. Inédito.
- Torres – Zafra, J. L., R. M. Lavandero, J. Moreira, J. L. Montano 2005. Aproximación a una evaluación del potencial metalífero y petrolífero del Terreno Guaniguanico. Primera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. Memorias Trabajos y Resúmenes. Centro Nacional de Información Geológica. La Habana. ISBN 959-7117-03-7.
- Turekian, K. K., K. H. Wedepohl, 1961. Distribution of the element in some major units of the Earth's crust: *Geological Society of America Bulletin*, 72: 175 – 191.
- Vine, J. D., E. B. Tourtelot (1970): Geochemistry of black shales deposits –A summary report: *Economic Geology*, 65: 25 – 272
- Wedepohl, K. H, 1995. The composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59: 1217 – 1232.

ESTUDIO ISOTÓPICO DEL C Y EL O EN CARBONATOS EN EL YACIMIENTO VOLCANOGÉNICO DE CU-ZN-PB CON AU Y AG EL COBRE, CUBA ORIENTAL

Xiomara Cazañas Díaz⁽¹⁾ y Joan-Carles Melgarejo i Draper⁽²⁾

(1) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca No. 1002 e/ Línea del Ferrocarril y Prolongación de Calzada de Güines, San Miguel del Padrón

(2) Universitat de Barcelona, Facultat de Geologia Martí y Franqués s/n 08028, Barcelona, España

RESUMEN

Se estudió la composición isotópica del C y el O en muestras de calcita hidrotermal correspondientes a la mineralización filoniana y estratoligada, en caliza encajante de estas mineralizaciones y en caliza regional no alterada.

Las muestras analizadas presentan $\delta^{13}\text{C}$ entre -2,7 y 2,4 ‰ y $\delta^{18}\text{O}$ entre 8,2 y 21,0 ‰. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de las calizas y calcita se sitúan alrededor del valor 0, donde los más ligeros lo presenta la caliza reemplazada por sulfuros y los más pesados, la caliza regional no alterada. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ son más ligeros o más pesados en correspondencia con el $\delta^{13}\text{C}$.

El estrecho rango de variación de la $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en las mismas, indica un dominio de la $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ de la caliza regional cuya composición es la del carbonato marino del Paleógeno.

La $\delta^{13}\text{C}$ del fluido en equilibrio con la calcita (entre -4,5 y -0,2 ‰) también indican un dominio de $\delta^{13}\text{C}$ de la caliza regional, aunque pudo existir un aporte adicional de C enriquecido en ^{12}C , aportado por la materia orgánica existente en el entorno del depósito. Los valores de la $\delta^{18}\text{O}$ del fluido en equilibrio con la calcita (entre 1 y 4,3 ‰) indican un origen a partir de agua marina que ha interactuado ligeramente con la roca volcánica encajante del depósito.

ABSTRACT

It was studied the isotopic composition of the C and the O in samples of hydrothermal calcite corresponding to the vein and stratabound mineralizations, in calcareous host rock and in not altered regional limestone.

The analyzed samples present $\delta^{13}\text{C}$ between -2,7 and 2,4 ‰ and $\delta^{18}\text{O}$ between 8,2 and 21,0 ‰. The values of $\delta^{13}\text{C}$ of the limestones and calcite located around the value 0, where the slightest present it the limestone replaced by sulphide and the heaviest, in the not altered regional limestone. The $\delta^{18}\text{O}$ values are slighter or heavier in correspondence with the $\delta^{13}\text{C}$.

The little range of variation of the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ in the same ones, indicate a domain of the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of the regional limestone whose composition is that of the marine carbonate of the Paleogene age.

The $\delta^{13}\text{C}$ of the fluid in balance with the calcite (between -4,5 and -0,2 ‰) they also indicate a domain of $\delta^{13}\text{C}$ of the regional limestone, although an additional contribution of C enriched in ^{12}C could exist, contributed by the existent organic matter in the environment of the deposit. The values of the $\delta^{18}\text{O}$ of the fluid in balance with the calcite (between 1 and 4,3 ‰) they indicate an origin starting from marine water that there was in lightly interaction with the volcanic host rock.

INTRODUCCION

El yacimiento El Cobre se localiza aproximadamente a 17 km al NE de la ciudad de Santiago de Cuba y encaja en la Secuencia Media del Grupo El Cobre, en el arco de islas volcánicas del Paleógeno (Fig. 1).

Su descubrimiento data de alrededor de 1530 y con interrupciones se ha explotado hasta el año 2001, fecha en que se cierra definitivamente la mina.

Fig. 1- Ubicación del yacimiento El Cobre dentro de las secuencias de rocas volcánicas paleogénicas



Algunas de las investigaciones realizadas en el depósito El Cobre en la década del 80-90 (Luna et al., 1989, 1992; Ramírez et al., 1994) revelan que la estructura de la mineralización en este depósito no es solo la de filón, que es la que clásicamente se conocía, reportándose la existencia de una mineralización estratoligada.

En conjunto todo este material disponible e investigaciones de mayor detalle realizadas por los autores permitieron disponer de información sobre nuevos aspectos de la mineralización, muy compleja en cuanto a estructura y mineralogía, como se puede ver en Cazañas et al., 1998, donde el depósito está constituido por a) mineralización estratiforme de anhidrita, barita y óxidos de manganeso, b) estratoligadas, desarrollada a partir de sulfatos, carbonatos y brechas (de carácter polimetálico, con Cu-Zn-Pb-Au), y c) filoniana, con desarrollo de stockwork (silíceo o anhidrítico) en sectores superficiales y filones (silíceos o anhidrítico-epidóticos) en profundidad, esencialmente cuprífera.

El presente estudio tuvo como objetivo establecer la composición isotópica del C y el O en muestras de calcita hidrotermal y caliza correspondientes a las mineralizaciones presentes en el yacimiento y a su encajante para delimitar, en lo posible, la fuente del C y el O, así como establecer la evolución de los fluidos hidrotermales y la magnitud del intercambio isotópico entre estos y la caliza encajante.

MATERIALES Y METODOS

Se seleccionaron 10 muestras de calcitas hidrotermales y calizas, para analizar su relación isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$. Las muestras de calcita hidrotermal corresponden a la mineralización estratoligada intermedia y a los filones anhidrítico-epidóticos (5 muestras). Las muestras de caliza corresponden al carbonato encajante de los sulfuros en los depósitos estratoligados intermedio e inferior (4 muestras). Una última muestra corresponde a caliza ubicada a techo del depósito de óxidos de manganeso. El mismo se localiza por encima de la mineralización estratiforme de sulfatos.

Las muestras fueron separadas mediante lupa binocular, seguidamente se trituraron en un mortero de ágata hasta obtener un polvo muy fino y homogéneo. La pureza de estas muestras se comprobó mediante difracción de polvo de rayos X. La obtención del CO₂ se realizó por el método clásico (McCrea, 1950) y consiste en atacar con ácido fosfórico al 102 %, 10 mg de muestra pulverizada.

Los análisis han sido realizados en los *Serveis Científico-Tècnics* de la *Universitat de Barcelona*. El equipo utilizado es un espectrómetro de masas de relación isotópica (Finnigan MAT). La precisión del método es de 0.02 ‰ para el ¹³C y 0.06 ‰ para el oxígeno. Los valores isotópicos son dados versus **PDB** para el carbono y versus **PDB** para el oxígeno. La conversión de **PDB** a **SMOW**, de los valores isotópicos del oxígeno se realizó utilizando la ecuación de Friedman y O'Neil (1977). El factor de fraccionamiento isotópico α para el C y el O de la calcita en equilibrio con el fluido fue estimado a partir de la ecuación de O'Neil et al. (1969) y Ohmoto y Rye (1979).

RESULTADOS

Todas las muestras analizadas presentan composiciones isotópicas del carbono ($\delta^{13}\text{C}$) referenciado al PDB, entre -2,7 y 2,4 ‰ y composiciones isotópicas para el oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$), referenciado al SMOW, entre 8,2 y 21,0 ‰. En la Tabla N° I se muestran los resultados del estudio isotópico realizado y también se dan los valores de la composición isotópica del fluido en equilibrio con la calcita y caliza estudiadas. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ presente en las calizas y calcita analizadas se sitúan alrededor del valor 0, en tanto que los valores extremos se encuentran a tan solo dos órdenes de magnitud por encima o por debajo de este valor. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$, por otra parte, varían hacia composiciones más ligeras o más pesadas en correspondencia con el carbono. La composición isotópica más ligera de carbono y oxígeno lo presenta la caliza parcialmente reemplazada por sulfuros perteneciente a la mineralización estratoligada inferior (muestra 489-298c), en la que se han obtenido valores de -2,7 ‰ para $\delta^{13}\text{C}$ y 8,6 ‰ para $\delta^{18}\text{O}$. Una muestra de esta misma caliza (489-299d) localizada un metro por debajo del contacto con la mineralización de sulfuros pero sin señales evidente de alteración, presenta valores más pesados de la composición isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ -0,8 ‰ y $\delta^{18}\text{O}$ 13,8 ‰).

Tabla N° I- Resumen del estudio isotópico del carbono y del oxígeno en el depósito El Cobre

N° Muestra	Mineralización	Descripción de la muestra	$\delta^{13}\text{C}$ PDB (mineral)	$\delta^{18}\text{O}$ PDB (mineral)	$\delta^{18}\text{O}$ SMOW (mineral)	Temperatura (°C)	$\delta^{13}\text{C}$ PDB (fluido)	$\delta^{18}\text{O}$ SMOW (fluido)
S-47-369	FAE	Calcita	-0.4	-21.6	8.7	240	-1.5	1.0
S-29-399	FAE	Calcita	0.8	-18.5	11.8	245	-0.4	4.3
S-30-238	FAE	Calcita	0.7	-15.7	14.7	230	-0.2	6.6
489-298 c	EI	Calcita en caliza	-2.7	-21.7	8.6	275	-4.5	2.2
489-298d	EI	Caliza recristalizada	-0.8	-16.6	13.8			
S-29-342	EIN	Caliza recristalizada	-1.3	-22.1	8.2			
S-19	EIN	Caliza recristalizada	0.5	-19.9	10.4			
S-39-285	EIN	Caliza hematitizada	1.3	-17.3	13.0	216	-1.9	4.3
S-13a-190	EIN	Calcita	-1.4	-21.6	8.6			
16	CR	Caliza	2.4	-9.7	21.0			

Dos muestras de caliza encajante y calcita hidrotermal (S-29-342 y S-13a-190), correspondientes a la parte central de la mineralización estratoligada intermedia, ubicadas hacia el norte y no muy lejos de la mineralización filoniana sobre la falla, también presentan composiciones isotópicas bastante ligeras ($\delta^{13}\text{C}$ -1,3 y -1,4 ‰ y $\delta^{18}\text{O}$ 8,7 y 13,0 ‰). Otras dos muestras de caliza poco o no alteradas (S-19 y S-39-285), ubicadas hacia el extremo occidental del depósito y situadas en una posición más distal en relación con la falla El Cobre presentan composiciones isotópicas más pesadas ($\delta^{13}\text{C}$ 0,5 y 1,3 ‰ y $\delta^{18}\text{O}$ 10,4 y 13,0 ‰). Algo similar ocurre hacia el extremo oriental del depósito. En este caso, la caliza que yace por encima de la mineralización estratiforme de óxidos de manganeso carente totalmente de alteración (Nº 16), presenta la composición isotópica más pesada ($\delta^{13}\text{C}$ 2,4 ‰ y $\delta^{18}\text{O}$ 21,0 ‰) de todas las muestras analizadas.

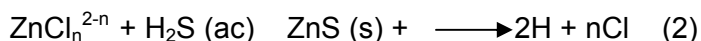
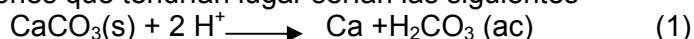
Por último, las muestras de calcita hidrotermal pertenecientes a los filones anhidrítico-epidóticos (S-47-369, S-29-399 y S-30-238) como se puede apreciar presentan rango de valores intermedios de la composición isotópica (-0,4, 0,8 y 0,7 ‰ para el $\delta^{13}\text{C}$ y 8,7, 11,8 y 14,7 ‰ para el $\delta^{18}\text{O}$).

DISCUSION Y CONCLUSIONES

La mayor parte de las muestras estudiadas: caliza encajante de la mineralización estratoligada inferior (489-299d), caliza encajante de la mineralización estratoligada intermedia (S-19, S-29-342 y S-39-285), caliza a techo de la mineralización de óxidos de Mn (Nº 16) y calcitas en los filones anhidrítico-epidóticos (S-29-399, S-30-238 y S-47-369) presentan valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -0,8 y 2,4 ‰ y $\delta^{18}\text{O}$ entre 8,7 y 21,0 ‰.

Por otra parte, el evidente empobrecimiento en $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ que presenta la muestra de caliza reemplazada por sulfuros en la mineralización estratoligada inferior (489-299c), que es la que presenta los valores más ligeros de $\delta^{13}\text{C}$, debió ocurrir durante la interacción de esta caliza con el fluido mineralizado de alta temperatura que tuvo como resultado el reemplazamiento de la caliza por sulfuros.

Seward y Barnes (1997) señalan que si un fluido de alta temperatura conteniendo bajas concentraciones de H_2S , metales disueltos y un pH de poco a moderadamente ácido, interacciona con carbonatos, se produciría inmediatamente una reacción con el mismo que produciría un incremento en el pH y podría causar la precipitación de los metales (mayormente como sulfuros). Las reacciones que tendrían lugar serían las siguientes



Teniendo en cuenta que el fraccionamiento isotópico del carbono es dependiente de la temperatura, a alta temperatura la composición isotópica de la caliza se modificaría evolucionando hacia composiciones más ligeras de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$. Pensamos que esto fue lo que ocurrió con la muestra 489-299c. La presencia, por otra parte, de otras muestras de caliza y calcita hidrotermal (S-29-342 y S-13a-190) ubicadas cerca de la mineralización filoniana cuprífera sobre la falla El Cobre, que presentan composiciones isotópicas muy parecidas a la de la muestra 489-298c, podría explicarse de la misma forma. Es muy probable que el fluido que interactuó con la caliza inicialmente tuviera muy bajas concentraciones de CO_2 disuelto, lo que se deduce del estudio de inclusiones fluidas, donde no se detectó clatrato en el fluido acuoso ni CO_2 en la fase vapor. Según se aprecia en (1) si el fluido interacciona con un estrato de caliza puede a su vez enriquecerse en H_2CO_3 . El incremento de la

cantidad de H_2CO_3 en el fluido, junto con un aumento de la actividad de Ca^{2+} podría dar lugar a la precipitación de calcita hidrotermal.

Mediante el mismo mecanismo antes explicado también pudo haberse formado la calcita que aparece en las secuencias de cristalización de los filones anhidrítico-epidóticos (muestras S-29-399, S-30-238 y S-47-369). Debido a que en la interacción fluido-roca el fluido se enriqueció en H_2CO_3 la composición isotópica de la $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en estas calcitas estará dominada por la composición isotópica del C y O que presenta el carbonato marino regional. La composición isotópica del C y O en la muestra 16 (caliza regional, ubicada a techo del depósito de óxidos de Mn) está muy próxima a la composición isotópica que según Rollinson (1993) presentan los carbonatos de origen marino en el Paleógeno y como tal se ha asumido.

En base a los resultados anteriormente discutidos se confeccionó un diagrama de la relación $\delta^{13}\text{C}$ (en PDB) *versus* $\delta^{18}\text{O}$ (en SMOW) en las muestras estudiadas en el yacimiento El Cobre (Fig. N° 2).

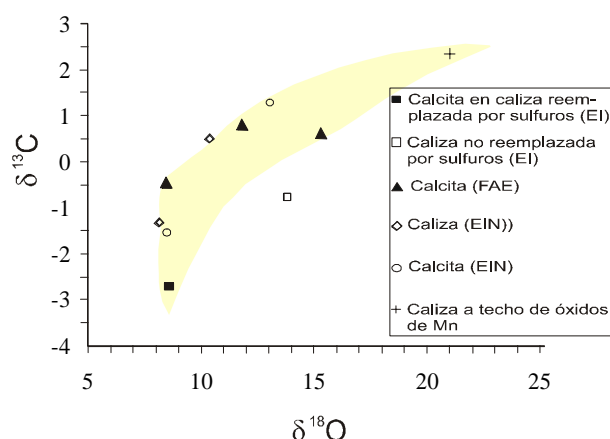


Fig. N° 2- Diagrama de la relación $\delta^{13}\text{C}$ (en PDB) y $\delta^{18}\text{O}$ (en SMOW) en las calcitas y calizas estudiadas

Por otra parte, disponiendo de los datos de temperatura, mediante el estudio de inclusiones fluidas, se calculó la composición isotópica aproximada del carbono del fluido en equilibrio con las calcitas. La

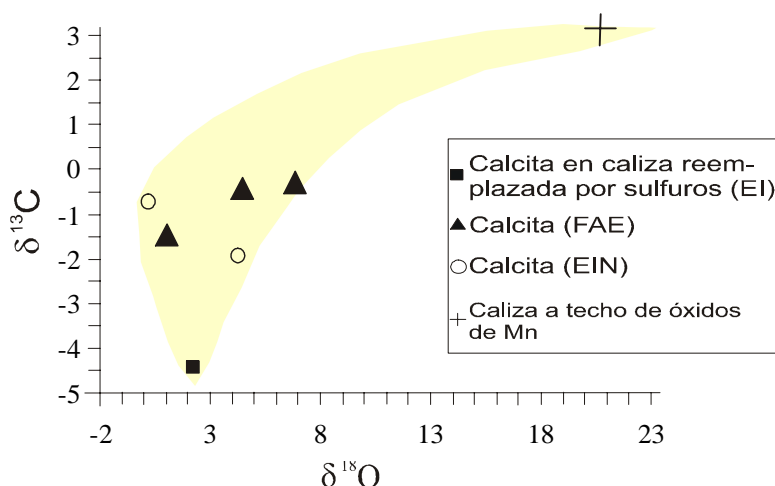


Fig. N° 3 representa un diagrama donde se muestra la relación $\delta^{13}\text{C}$ (en PDB) versus $\delta^{18}\text{O}$ (en SMOW) en el fluido en equilibrio con las calcitas y como comparación se muestra la caliza regional.

Fig. N° 3- Diagrama de la relación $\delta^{13}\text{C}$ (en PDB) y $\delta^{18}\text{O}$ (en SMOW) en el fluido en equilibrio con las calcitas. El rango de valores de la $\delta^{13}\text{C}$ que presenta el fluido en equilibrio con la calcita varía entre $-4,5$ y $-0,2$ ‰, lo cuál podría sugerir una fuente mayoritariamente relacionada con el C de las calizas regionales, aunque se considera que pudo asimismo existir un aporte adicional de C enriquecido en ^{12}C , probablemente a partir de la interacción del fluido hidrotermal con materia orgánica en el entorno de la mineralización.

Estos datos a su vez son congruentes con la presencia de hidrocarburos en la región del depósito, como lo indican los resultados del estudio de inclusiones fluidas en estas mineralizaciones. Los valores de la $\delta^{18}\text{O}$ del fluido en equilibrio con la calcita (entre 1 y 6,6 ‰) también indican un origen a partir de agua marina que ha interactuado ligeramente con la roca volcánica encajante en el entorno del depósito. En el gráfico N° 3 se muestra un diagrama de la relación $\delta^{13}\text{C}$ (en PDB) versus $\delta^{18}\text{O}$ (en SMOW) del fluido en equilibrio con las calcitas y como comparación se muestra la caliza regional.

En resumen se propone que el fluido que formó las distintas mineralizaciones presentes en el yacimiento El Cobre se enriqueció en carbono principalmente por interacción con las calizas regionales en el entorno del depósito. Debido a esta interacción la composición isotópica de la $\delta^{13}\text{C}$ en estas calcitas y calizas mineralizadas están dominadas por la $\delta^{13}\text{C}$ del carbonato regional paleogénico mientras que la $\delta^{18}\text{O}$ por la del agua marina.

BIBLIOGRAFIA

- Cazañas, X., Melgarejo, J.C., Luna, J.A. y Barrabí, H., (1998). El depósito volcanogénico de Cu-Zn-Pb-Au El Cobre, Cuba Oriental: estructura y mineralogía. En: J.C. Melgarejo y J. Proenza (eds), Una panorámica de la metalogenia de Cuba. *Acta Geológica Hispánica*. **33** (1-4), 277-334.
- Friedman & O'Neil (1977) USGS Prof. Paper 440-KK
- Luna, A., Padró, T., Gelis, I., Sosa, I., Batista, F., Rodríguez, E. y Ananías, L. (1992). *Informe geológico búsqueda detallada en los flancos y horizontes profundos del yacimiento El Cobre a escala 1:10 000*, La Habana, CNFG, inédito.
- Luna, J.A., Padró, T., Gelis, B.I., Sosa, I., Batista, F., Rodríguez, E., Ananías, L., Fernández, A., Fernández, A., Sosa, I., Gutiérrez, M., Estrugo, M., (1989). *Informe geológico de prospección preliminar de los flancos y horizontes profundos del campo metalífero "El Cobre" a escala 1:10 000*. La Habana, archivos de la ONRM, inédito, 218 pp.
- McCrea, J.M. (1950). The isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. *J. Chem. Phys.*, **18**, 849.
- O'Neil et al. (1969) *J. Chem. Phys.* 51(12), 5547-5558
- Ohmoto, H., Rye, R. (1979). Isotopes of sulfur and carbon. In Barnes, H. L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd ed.: New York, Wiley, p. 509-567.
- Ramírez, M., Fernández, A. Y Quintana, A. (1994). Informe cancelado Temático-Productivo, metalogenético – experimental Oro-Barita Oriental, Santiago de Cuba, Archivo de la ONRM, Inédito.
- Rollinson, H. (1993): *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. John Wiley and Sons, New York, 352 p.
- Seward, T.M., y Barnes, H. LL. (1997). Metal transport by hydrothermal ore fluids. En: Barnes, H. LL. (ed.) *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 435-486.



PROBLEMÁTICA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA SUBTERRÁNEA GM-II

Artemio Salazar Díaz,¹ Elia Pérez Tamayo²

- (1) *Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos. Prolongación Amado Estévez s/n, Rpto Jesús Menéndez, Bayamo Granma*
(2) *Unidad Empresarial de Base Acueducto Niquero. Calle Ramón Chávez No 8, Niquero Granma.*

RESUMEN

Hoy en día el futuro de las reservas mundiales de agua depende de la explotación civilizada que se haga de este vital recurso, donde las señales de alarma son manifiestas en el oriente Cubano, debido a grave escasez de agua, capas freáticas en disminución, extensas sequías, pozos y presas que se secan. Esta problemática nos hizo preguntarnos ¿Garantizaran las aguas de la cuenca subterránea GM-2, las crecientes demandas de la agricultura, la población y la industria?, ¿El ritmo actual de explotación garantizará la sostenibilidad de sus reservas? Para dar repuestas a las problemáticas planteadas, partimos del informe hidrogeológico de la cuenca subterránea GM-II realizado por el CIPH de Granma, se realizó un levantamiento donde se documentaron 70 pozos, lo que nos permitió confeccionar los mapas que reflejan el comportamiento hidrogeológico, y se promediaron las estadísticas del consumo de agua de los principales usuarios de la cuenca, todo lo cual nos permitió conocer, que el ritmo de explotación actual de la cuenca no garantizará las demandas futuras e inmediatas. Haciéndose necesario tomar medidas encaminadas a un uso más eficiente de las fuentes en explotación de aguas subterráneas, por lo que reviste vital importancia un cambio encaminado a disminuir el empleo del agua subterránea e incrementar la utilización de los recursos hídricos superficiales (donde prácticamente se pierden 95 millones de metros cúbicos de agua al año), con el fin de proteger la cuenca subterránea de su agotamiento o incremento de los procesos salinos.

ABSTRACT

Nowadays the future of world reserves of water depend on the civilized use given to this vital resource where alarm signals are more evident in the East of Cuba due to aggravated scarcity of water, phreatic capes on the wane, drawn out droughts, wells and preys that get dry. All these problems made us wonder if it is possible that GM-II underground basin waters will guarantee the needs of agriculture, population and industry, also if current use will guarantee the sustain of its sources. To face and answer these questions we took into account the hydrogeological report of GM-II underground basin carried out by Granma CIPH, also we analyzed and gather information about 70 wells that allowed us draw maps showing the hydrogeological characteristics and the average statistics of water consumption of the main users of. The basin letting us know that the use rate of the basin will not guarantee the immediate and future needs so that it is necessary to take rules to make a sustainable use of underground waters, the it is of vital importance, a real change to decrease the use of this water and increase the use of surface waters where we lose 95 millions of cubic meter of it each year so that we can preserve and protect GM-II basin from exhaustion and salty processes.

INTRODUCCIÓN

La cuenca GM-II limita al norte con el golfo de Guacanayabo al sur con el río Limones al oeste con el golfo de Guacanayabo y hacia el este con el municipio de Media Luna, abarcando un área de 373.38 kilómetros cuadrados, la población que habita en el área de la cuenca representa el 73% del total de la población del municipio, en ella se encuentra el principal núcleo urbano con una población de 20563 habitantes (66%), en la rural 10257 (34%) para un total de 30563 habitantes concentrándose

en la zona urbana la actividad económica e industrial del territorio así como la de los servicios, quedando en la rural algunas esferas de los servicios y de comercio, así como de salud y educación, donde la actividad fundamental recae en la agricultura donde existen 7 UBPC cañeras y 4CPA, la agricultura no cañera representada por 5 UBPC Y 4CCS, áreas de pequeños agricultores y de autoconsumo. Toda esta infraestructura emplea el agua subterránea como fuente de abasto, de una cuenca que se extiende por una zona costera donde el recurso agua es limitado y frágil, donde la amenaza de una escasez de agua es un riesgo muy serio, dada la tendencia actual al incremento de sistemas de riego en la agricultura tradicional y en la agricultura Urbana, así como fuentes de abasto para la población y la industria, constituyendo el objetivo de este trabajo conocer si la cuenca subterránea GM-II garantizara la sostenibilidad de sus reservas ante el auge creciente de su recurso.

MATERIALES Y METODOS.

Para dar repuestas a las problemáticas planteadas, partimos del informe hidrogeológico de la cuenca subterránea GM-II realizado por el CIPH de Granma. Se consultaron los datos catastrales en la oficina de Geocuba referente al uso y ocupación del área de la cuenca, se realizó un levantamiento de las probables fuentes contaminantes y partiendo de la recomendación del informe hidrogeológico de la cuenca que establece un régimen de explotación por pozo de 12 litros por segundo hacia la zona costera, con ubicación de los pozos en la cota de 20 m. Nos dimos a la tarea de verificar si se estaba cumpliendo con esa recomendación en los pozos en explotación, para ello fue necesario actualizar el censo de pozos buscando conocer equipo instalado en cada pozo, gasto de explotación, niveles estáticos, nivel de afloramiento, nivel de abatimiento, gasto de explotación recomendado, se documentaron 70 pozos, de ellos en explotación 57 pozos, con una profundidad promedio de 52 metros lo que nos permitió confeccionar los mapas que reflejan el comportamiento hidrogeológico, y se promediaron las estadísticas del consumo de agua de los principales usuarios de la cuenca.

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de la red pluviométrica arroja que la zona costera donde se concentra el mayor número de población y se explota el mayor número de pozos, es la que presenta mayor déficit de precipitaciones, ya que hacia el centro sur de la cuenca caen como promedio 128.5 mm más, por lo que la zona costera es la zona más vulnerable ante la ocurrencia de los fenómenos de la sequías, del análisis del uso y ocupación de la cuenca predomina el cultivo de la caña de azúcar existiendo 4.3 kilómetros cuadrados de bosque naturales y 5 de bosque fomentados para una cobertura boscosa de 9.3 kilómetros cuadrados que tan solo representa el 2.49% del área de la cuenca, con todo lo malo que esto trae aparejado, aumento de los procesos erosivos, pérdida de la cobertura vegetal, alteración del hábitat de la fauna terrestre y lacustre. La zona urbana es la que mayor impacto ocasiona al medio ambiente, ocasionando la contaminación de las aguas subterráneas dadas las numerosas fosas y letrinas existentes, el mal estado técnico de las lagunas de tratamiento, vertimientos de residuales industriales y doméstico al litoral costero.

En la cuenca subterránea GM-II en el municipio de Niquero se encuentra la cuenca hidrográfica Sevilla, Es la que tiene mayor desarrollo dentro del área con un área de 115 kilómetros cuadrados con un escurrimiento hiperanual de 57.1 millones de metros cúbicos, volumen que prácticamente se pierde por no contar con presas, existiendo únicamente dos fuentes de bombeo, una para el porcino de La Bota y otra para el abasto de agua en pipas a las comunidades cercanas, no llegando a explotarse ni el 3% de su escurrimiento.

Cuenca Hidrográfica Limones:

Constituye el límite sur de la cuenca GM-II. Su escurrimiento hiperanual es de 38.4 millones de metros cúbicos, con una longitud del río de 29.6 kilómetros, tiene cinco sistema de captación de sus aguas para el riego propiedad de trabajadores de la ANAP, por lo que prácticamente estas aguas no tienen uso.

Del análisis de la hidrología superficial concluimos, que no existe aprovechamiento de los recursos hídricos que significan las cuencas hidrográficas, donde se pierden prácticamente unos 90 millones de metros cúbicos al año.

Hidrología Subterránea

Esta cuenca subterránea cuenta con una reserva de 10.7 millones de metros cúbicos al año, de ellos explotables 7.0 millones de metros cúbicos. Dentro de las recomendaciones de explotación de la cuenca que estableció el informe hidrogeológico realizado por el CIPH de Granma esta, la de establecer un régimen de explotación por pozos de 12 litros por segundos para un período de 27 años para evitar peligro de salinización. Partiendo de esa recomendación nos dimos a la tarea de verificar si se estaba cumpliendo con esa recomendación en los pozos en explotación de la cuenca.

De esos 57 pozos, 17 de ellos que representan el 30% cumplen con el gasto de explotación recomendado en el informe, lo que significa que el 70% de los pozos en explotación se emplean con gasto mayores a los recomendados. Donde puede observarse un área con gasto de hasta 85 litros por segundo, hacia el Nor—Este de la cuenca, y otra área hacia el Sur—Oeste con gasto de hasta 75 litros por segundo, estas dos áreas se explotan con gastos muy por encima de los 50 litros por segundos, determinados en el informe hidrogeológico de la cuenca. Estos resultados no concuerdan con el gasto recomendado de explotación que es de 12 litros por segundo, de los 57 pozos solo en 11 de ellos pudimos contar con los datos de aforo, los pozos de acueducto, el resto de los propietarios de los pozos no cuentan con la certificación del aforo de sus pozos. Por lo que buscamos en datos de archivos de pozos que ya no se explotan y ubicamos 13 pozos que cuentan con datos de aforos, por lo que el total de pozos estudiados llegó a 70 de ellos 24 cuentan con datos de aforo y en ninguno de ellos el gasto de explotación recomendado es mayor de 50 litros por segundo, al trazar las líneas de igual valor del gasto de los 24 pozos, podemos estimar los gastos probables de explotación, donde obtuvimos seis zonas (ver mapa con los gastos de explotación).

- 1-Una primera zona con gasto menor de 5 litros por segundos.
- 2- Una segunda zona con gasto hasta 10 litros por segundos.
- 3- Una tercera zona con gasto de hasta 20 litros por segundos.
- 4- Una cuarta zona con gasto de hasta 30 litros por segundos.
- 5- Zona con gasto de hasta 40 litros por segundos.
- 6-Zona con gasto de hasta 50 litros por segundos.

Lo que demuestra que los pozos que se explotan por encima de 50 litros por segundos, están muy por encima de los gastos máximos determinados que puede entregar la cuenca sin comprometer sus reservas y el peligro de la instrucción salina. Concluimos que no se está cumpliendo con la recomendación del informe hidrogeológico que establecía un régimen de explotación de hasta 12 litros por segundo por pozos por lo que se está sobre explotando, proceso que ha traído consigo el aumento ya de la salinidad de algunos de los pozos cercanos al litoral, más ahora que los fenómenos de la sequía ocurren con más frecuencia que en años anteriores.

Al comparar los mapas de abatimiento de los niveles y el de los gastos de explotación de acuerdo a los registros de aforos, vemos que existe correspondencia las áreas de mayores gastos se corresponden generalmente con las áreas de menores descensos.

Al promediar las estadísticas del consumo de agua de los principales usuarios obtenemos.

Tabla No I Utilización de los Recursos Hídricos de la Cuenca GM-II

Usuarios	Volúmenes (Mm ³)	Porcientos (%)
Abasto población por acueducto y pipas	2318,36	33,00
Industria, empresas, organismos	2590,00	37,00
Agricultura no cañera	778,64	11,72
Agricultura cañera	72,00	1,03
Agricultura Urbano	62,00	0,88
Pecuaria	30,00	0,43
Total	5851,00	83,46

De la tabla concluimos que se explotan como promedio anual 5.85 millones de metros cúbicos al año que representan el 83.46% de las reservas explotables de la cuenca quedando solo disponibles 1.15 millones, donde la tendencia actual es al incremento del consumo de estas aguas subterráneas para fomentar el riego de la agricultura tradicional y la urbana, así como el abasto a la población. Por lo que las reservas explotables de la cuenca no garantizarán satisfacer las demandas futuras e inmediatas, si no se toman medidas encaminadas a un uso más racional de sus reservas evitando la sobreexplotación de los pozos, diversificando y aumentando el uso del potencial hidráulico de las cuencas hidrográficas.

CONCLUSIONES

- 1- No existe aprovechamiento de los recursos hídricos de las cuencas hidrográficas Sevilla y Limones donde se pierde prácticamente 95 millones de metros cúbicos al año.
- 2- Del análisis del uso y ocupación del territorio de la cuenca, no existen áreas que no halla experimentado la acción directa o indirecta del hombre, donde prácticamente no se conservan áreas naturales, predominan los impactos ocasionados por el hombre.
- 3- No se está cumpliendo con las recomendaciones del informe hidrogeológico de la cuenca que establecía un régimen de explotación de 12 litros por segundos, pues existen pozos que se explotan con gasto hasta de 85 litros por segundos.
- 4- Las reservas explotables de la cuenca no garantizarán satisfacer las demandas futuras e inmediatas pues solo quedan disponibles 1.15 millones de metros cúbicos, explotándose el 83% de sus reservas.
- 5- La cuenca está en etapa de degradación pues las señales de alarma son manifiesta, sobreexplotación, disminución de sus reservas, salinización, contaminación, deforestación, pérdida de la cobertura vegetal, erosión.

BIBLIOGRAFIA

- Klimentov. P. V. Kónonov 1982. Metodología de la Investigación Hidrogeológica. Moscú, Editorial Mir, 523 pp.
- Mijaikov. L. 1989. Hidrología Subterránea. Moscú. Editorial Mir. 216 pp.



ESTUDIO HIDROGEOLOGICO Y AMBIENTAL DEL SISTEMA ACUIFERO CARBONATADO DEL NEOGENO EN LA LLANURA SUR DE PINAR DEL RIO: SECTOR PINAR DEL RÍO - LOS PALACIOS

Nelson A. González Cabrera⁽¹⁻²⁾ y **Roberto Peláez García**⁽²⁻³⁾

(1) Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales (ECOVIDA-CITMA)

(2) Dpto. Geología. Universidad de Pinar del Río. Hnos. Saiz

(3) Empresa Geominera Pinar del Río, Minbas.

RESUMEN

La zona de estudio se encuentra situada en la Llanura Sur Oriental de la provincia Pinar del Río. Con un Área de 1915 km² y una densidad de población de 165hab/km². Fisiográficamente se define como una llanura aluvial con poca pendiente y alturas máximas que no superan los 40 m. Tiene precipitación media de 1400 mm/año y temperatura media anual de 25,6 °C, con predominio de los vientos alisios del noreste. Esta área ha sido dedicada tradicionalmente a la agricultura. La hidrogeología de la zona esta condicionada por la disposición de los sedimentos de la Formación Paso Real que cuenta con dos facies: carbonatada y terrígeno carbonatada cubiertas por los sedimentos del cuaternario. El Sistema Acuífero confinado está representado por calizas muy carsificadas con espesor entre 75 y 100 m. Los aspectos ambientales se vinculan con una intensa explotación del acuífero carbonatado superior a partir de la década de los años 1930-1940, que lo dejó fuertemente intrusionado. Esta situación comenzó atenuarse a partir del año 1970 con la puesta en funcionamiento de las primeras obras hidrotécnicas para el almacenamiento de agua superficial y utilización de esa agua para riego, quedando la subterránea casi exclusivamente para abastecimiento humano, en la Llanura Sur de Pinar del Río.

ABSTRACT

The study zone is located in the Southeastern plain of Pinar del Rio province. It has an area of 1915km² and a population density of 165 inhabitants/km². Physiographically, it is defined as an alluvial plain with a few inclinations and a maximum height no more than 40 m. It has an average rainfall of 1400 mm/year and an average annual temperature of 25,5°C, with predominant trade winds from North – East. This area, traditionally, has been devoted to agriculture. The hydrogeology of the zone is conditioned by the sediment disposition of Paso Real Formation that has two facies: carbonated and terrigenous carbonated covered by Quaternary sediments. The confined aquifer system is represented by limestones very kartsified with a thickness of 75 – 100 m. The environmental aspects are related to an intense exploitation of the upper carbonated aquifer from 1930 – 1940 decade, leaving it strongly intruded. This situation began to diminish since 1970 with the functioning of the first hydrotechnical works for storage of superficial water and the use of water for irrigation in the south plain of Pinar del Rio.

INTRODUCCION

El área de estudio esta situada en la Llanura sur oriental, con 1915 km² (en especifico el sector Pinar del Río-Los Palacios). Limitado al norte por la estructura regional Falla Pinar, Mar Caribe por el sur, por el este el río los Palacios y por el oeste el Río Guama, (fig. No.1).

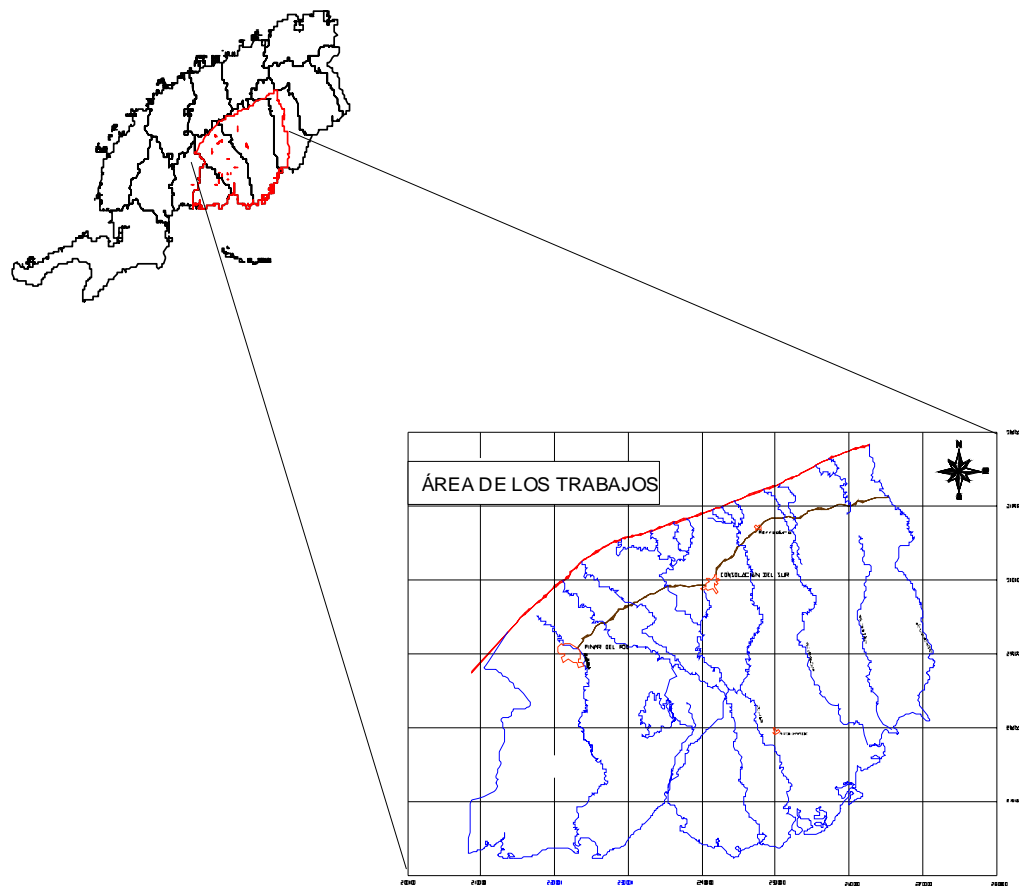


Figura No.1. Mapa de Ubicación Geográfica

En la zona se distinguen distintos cultivos, siendo los de mayor interés tanto económico como industrial el arroz, tabaco y caña de azúcar, seguidos por otras variedades de consumo como las viandas, hortalizas, frutales y ganado vacuno. Además existe un centro dedicado a la producción industrial de pescado y mariscos en La Coloma. La precipitación media anual es de 1400mm, la temperatura media anual de 25,6°C, con predominio de los vientos Alisios del Noreste. La densidad de la población se corresponde con los 165 hab./km², en esta zona se ubican importantes núcleos poblacionales como la capital provincial (la ciudad de Pinar del Río), y las cabeceras municipales de Consolación del Sur y Los Palacios. Tradicionalmente la población se ha dedicado mas a la agricultura, pasando gradualmente en las dos ultimas décadas a incrementar las labores en el comercio, turismo, servicios y la industria. Las comunicaciones terrestres se desarrollan por carretera siendo las más relevantes la Autopista Nacional y la Carretera Central, además la capital provincial esta enlazada con los demás municipios por carretera y el ferrocarril nacional que une la provincia con el resto del país.

Existen en la zona 403 pozos perforados (González N., 2000) que están en funcionamiento. La mayoría con vistas al abastecimiento humano y en menor cantidad para el riego del cultivo de tabaco, aunque no se cuenta con la documentación de todos. Los diámetros mas frecuentes van desde las 12 a 16 pulgadas, y las profundidades oscilan entre los 30 - 65m, con valor promedio de 40m.

El recurso hídrico subterráneo ha tenido y en la actualidad mantiene su importancia, vinculado con el abastecimiento de agua para la Llanura sur de Pinar del Río proporcionando por extracción directa más del 85 % del abastecimiento para el consumo humano, sin obviar las industrias y riego. Además, en caso de sequías o de otros eventos climatológicos adversos, es un recurso emergente por excelencia.

Al revisar de forma general los informes y trabajos realizados en la Llanura relacionados con el estado de las aguas subterráneas se verá las amenazas a que están sometidas o expuestas. Esta situación ha conducido a una serie de acciones y medidas por parte de entidades del estado, como el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), Ministerio de la Agricultura (MINAGRI), y el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) con proyectos como el actual con vistas a compilar y evaluar a la luz de nuevas técnicas e investigar las causas y efectos de las acciones antrópicas sobre el recurso hídrico y el medio ambiente, entre otras. Con la participación, colaboración y recepción de la información resultante, por parte de la Dirección Provincial de Planificación Física (DPPF) como organismo encargado de ordenar y planificar el territorio, además será el encargado de introducir los resultados derivados del proyecto que soporta este trabajo. En esta ponencia solo se expondrán los resultados obtenidos hasta la segunda fase del proyecto que se corresponden con el 2do. año de la investigación.

Como precedentes relacionados con la hidrogeología de la Llanura sur se pueden destacar los siguientes autores de investigaciones aplicadas e informes : Soroa, J. (1962) ; Gorina, V. (1965) Nikolaiev , Y. (1967); Nikolaiev, Y. , A. Oskostki, y C. Morales (1968); Rovnev, V.(1971); Peláez, García, R. (1973) ; González Báez, A. (1973) ; Torsuev, V. (1984) ; Romero, Palmero , Z. (1997); González, Cabrera. N. (1986, 1991, 1993).

MATERIALES Y METODOS

La metodología empleada en los trabajos de evaluación, estudio y validación según la documentación existente de diversa procedencia (INRH, EGM, ENIA), que se relacionan en este informe, compatibilizada con la propia información generada de los trabajos de investigación actuales, ha sido seleccionada sobre la base de los objetivos concretos planteados desde los inicios del proyecto de investigación , vinculados con la problemática hidrogeológica y ambiental existente o con posibilidades de ocurrir en el futuro. Además, los trabajos de campo casi en su totalidad incluyendo los de muestreo hidroquímico se han realizado con el propósito fundamental de actualizar la problemática de las aguas subterráneas y su vinculación con el medio ambiente, así como los de inventarios de puntos de agua y su actualización.

Recopilación y análisis de la información.

Se ha realizado la revisión y evaluación de la información existente en la Llanura Sur en distintas épocas a partir de la creación del INRH en el año 1962, considerando los estudios de abastecimientos con agua subterránea para distintos fines (consumo humano, industria y agricultura) y de obras hidrotécnicas y civiles. Además, se trabajó con los levantamientos de la Empresa Geominera de Pinar del Río denominados CAME-2 y Pinar Sur, a escalas 1:50 000 y 1:100 000 respectivamente, para el empleo de datos geológicos y también de la existencia de posibles yacimientos minerales metálicos y no metálicos entre otros aspectos de interés actual y/o futuro, tanto para el medio ambiente, las aguas subterráneas, así como para el desarrollo armónico de la sociedad con la naturaleza. Además, se ha tratado de analizar, evaluar y validar con el proyecto los aspectos de salinización de suelos, tema aun con deficiencias en la información y cantidad de datos, según el

área considerada, y por tanto esos resultados serán expuestos para la tercera fase del proyecto, en el informe final.

Captura de Datos.

Con la captura de datos se procesó toda la información disponible que se encontraba en los archivos, bien sea manuscritos, o mecanografiados, algunos encontrándose en franco deterioro, que fueron llevados o escritos ahora a formato digital, lo que facilita su empleo y conservación.

Procesamiento Digital de la Información obtenida.

Se tomaron las descripciones de las calas (sondeos de investigación) y pozos de explotación de las aguas subterráneas con los que se elaboró la Base de Datos en Access que incluye: litología, coordenadas de los pozos, cota relativa de la boca del pozo, profundidad del pozo, nivel de agua (N:E), contacto donde se cortan las calizas, así como contacto de los sedimentos de cobertura y los del Neógeno (eluvio). Una vez confeccionada la base de datos mediante consultas en Access obtuvimos tablas según el interés planteado. Estas tablas sirvieron para que con el Software Surfer obtener el Mapa de Cobertura del Neógeno, ploteo de los puntos de apoyo y la red de pozos perforados en la zona, los que integran el mapa de datos reales del área de interés. Para la confección del mapa Geológico del área de estudio se trabajó con el sistema ILWIS tomando como base la información de la Empresa GeoMinera.

Valoración Hidroquímica del Sector de Estudio

Los trabajos de muestreo y análisis hidroquímico se realizaron a partir de los estudios e investigaciones llevadas a cabo por el INRH; tomando como base la Norma Cubana para Agua Potable (NC-93-02-85). Realizándose los análisis químicos de las muestras de agua colectadas, en el Laboratorio Provincial del INRH, que responden a las normas internacionales de la A. W. W. A. (American Work Water Association). Los elementos determinados en el laboratorio para la mayor parte de las muestras, fueron los siguientes: conductividad eléctrica a 25 °C, pH, HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , y Mg^{+2} . Para conocer la evolución de la calidad del agua se cuenta con una red de monitoreo y control (Red Cal). Ésta la opera la Unidad Empresarial de Base (UEB) de Servicios Técnicos de Pinar del Río, la cual pertenece a la Empresa Nacional de Servicios Técnicos (ENAST), la frecuencia de operación es trimestral en las fuentes de abastecimiento humano y bianual en los pozos que son de interés para darle seguimiento a la intrusión marina. La primera cuenta con un total de 274 estaciones y la segunda está conformada por 58.

RESULTADOS Y DISCUSION

A partir de los datos obtenidos de los diversos informes técnicos, comunicaciones en eventos científico técnicos y publicaciones, se confeccionó la base de datos, que comprende unos 750 pozos de explotación y sondeos de investigación para la elaboración de los mapas geológico, hidrogeológico y de cobertura de los sedimentos del Cuaternario.

El área de estudio se localiza en el terreno San Diego de los Baños y abarca el sector de trabajo de la Llanura Sur. No presenta gran complejidad geológica hasta la profundidad de interés (P-Q). Las rocas que afloran poseen edades que van desde el Paleógeno hasta el reciente. Entre las principales formaciones geológicas descritas están: la Formación Capdevila (P_2^1 cp), Formación Paso Real (P_3 - N_2 pr), Formación Guane (N_2 - Q_1 gn), Formación Guevara (Q_{1-2}) y los depósitos del Cuaternario actual

(Q_{IV}) de acuerdo con (Martínez D. et.al., 1994.) y se muestran en la (Fig.2).

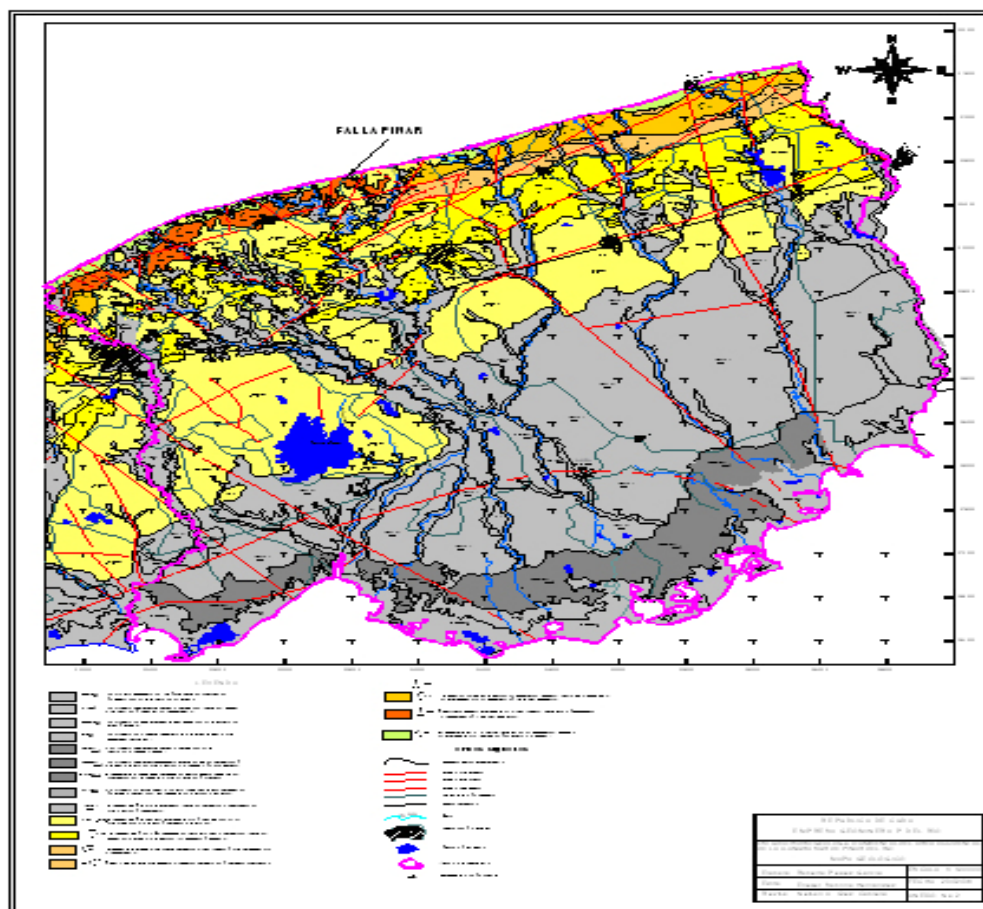


Figura No.2. Mapa Geológico del área de estudio

El territorio de la zona central en la parte sur de la provincia hace contacto con la cuenca sur formada por la estructura sinclinal los baños. Las aguas subterráneas de la cuenca están desarrolladas por todas las subdivisiones litológico – estratigráficos de las rocas y se encuentran en condiciones de comunicación interna muy estrecha. Por las condiciones de circulación las aguas subterráneas de la región pueden ser divididas en: porosas, estratos – porosos, fisuradas, estratos – fisurados y estratos fisurados cársicos.

En base a las estructuras litológicas de las rocas acuíferas, las condiciones de su yacencia y a la circulación de las aguas subterráneas, el sistema hidrogeológico de la región puede representarse de la siguiente forma:

- Horizonte de propagación esporádica de las aguas subterráneas en los sedimentos del cuaternario. (Q)
- Horizonte acuífero en el paquete carbonatado superior del Mioceno (N_1^c).
- Acuitardo (?) en las capas del paquete relativamente impermeable terrígeno del Mioceno (N_1^b).
- Horizonte acuífero en el paquete terrígeno – carbonatado del Mioceno (N_1^a).

- Horizonte impermeable en el paquete terrígeno del Paleógeno (Pg₁₊₂).

A continuación se describen brevemente cada uno de ellos:

Horizonte de propagación esporádica de las aguas subterráneas en los sedimentos cuaternarios.

Las rocas predominantes de las capas cuaternarias son las arcillas compactas y arcillas arenosas, entre las cuales en relación subordinadas en forma de lentes están desarrolladas las arenas arcillosas y arenas con un espesor de 0.5 – 1.0m hasta 10-15m. El espesor total de los sedimentos cuaternarios varía de 10 hasta 60 m.

Durante las lluvias la parte de las precipitaciones que caen en la superficie de la llanura se infiltran a través de las pequeñas grietas de intemperismo y saturan las arcillas. Al mismo tiempo tienen lugar la saturación de los lentes arenosos que son colectores de agua. Las pequeñas pendientes de las superficies de las llanuras y la presencia de insignificantes depresiones y favorecen la penetración del agua en los sedimentos del cuaternario.

La cantidad de pisos observados en la disposición de algunos lentes y su compleja configuración en el corte vertical garantizan la carga total de las aguas subterráneas. Las aguas subterráneas de los horizontes superiores de los sedimentos cuaternarios se diferencian por la gran inconstancia del régimen, el cual es la consecuencia de la gran diferencia en la distribución de las precipitaciones atmosféricas durante las estaciones del año. En la mayoría de los pozos el nivel del agua durante las lluvias sube 2-4m en comparación con el estiaje.

Los elementos negativos en el balance de las aguas de propagación esporádica en los sedimentos cuaternarios son la evaporación y la poca transpiración en los horizontes acuíferos que yacen más abajo y también el drenaje de estos en algunos tramos por los valles de los ríos. Las reservas de las aguas subterráneas en los lentes de los sedimentos cuaternarios prácticamente están limitadas en volúmenes. En la mayoría de los pozos que captan las aguas de los sedimentos cuaternarios, las reservas apenas alcanzan para garantizar las necesidades de consumo de los pequeños propietarios. En muchos pozos las aguas se agotan al final del período seco. En relación a la calidad, las aguas subterráneas de los sedimentos Cuaternarios, fundamentalmente son dulces, del tipo hidrocarbonatado-cálcicas e hidrocarbonatado-cloruradas-cálcicas con mineralización de 100-500 mg/l.

Debido al poco estudio realizado en los sedimentos cuaternarios y específicamente su acuosidad en los límites del territorio estudiado, queda aun mucho por hacer e investigar porque a nuestro juicio contienen importantes cantidades de agua que pueden ser utilizadas en los pequeños (casas campesinas) y medianos abastecimientos, (Peláez R., N. González, 2003).

Horizonte acuífero en el paquete carbonatado superior del Mioceno, (N₁^c).

Las aguas subterráneas que se encuentran en las capas carbonatadas del Mioceno forman el horizonte acuífero que tienen la mayor importancia práctica para la economía de la provincia de Pinar del Río.

En el área de extensión del horizonte acuífero, el acuífero está cubierto por una capa impermeable de sedimentos cuaternarios, que poseen poca carga hidráulica. El carácter libre de las aguas subterráneas en este acuífero se mantiene a una distancia de 1 a 3 km. de su límite norte. La profundidad de yacencia del techo del horizonte acuífero se determina por el espesor de los sedimentos cuaternarios y varía entre 10 y 60 m. El escurrimiento subterráneo tiene una dirección general hacia el mar. Las pendientes de la superficie piezométrica son extraordinariamente bajas, desde 5×10^{-5} hasta 1×10^{-4} .

Debido al alto grado de confinamiento del acuífero y del relieve de los sedimentos que lo cubren, en dirección hacia el mar, el nivel piezométrico se aproxima a la superficie de la tierra, y en la parte litoral del territorio, en los pozos se manifiestan aguas surgentes con cargas hasta de 2 m sobre la superficie del terreno. La carsificación fuerte y no uniforme de las calizas, determina la alta acuosidad de las mismas, por los resultados de los aforos realizados en los pozos de explotación, que penetran de 10 a 25 m en el horizonte acuífero, los gastos mínimos específicos son de 10 l/s/m, en la mayoría de los casos los gastos específicos de los pozos pasan de 50 l/s/m. A menudo los abatimientos de los niveles de agua durante los aforos, con gastos de 80 a 100 l/s, no alcanzan 1 m.

Por los datos de las investigaciones hidrogeológicas para fines de riego en los tramos de la obra del canal tronco "Hondo- San Diego", las conductividades hidráulicas calculadas por los aforos de ensayos en los pozos, varían de 100 hasta 1000 m/d. Esta diferencia en los valores de las conductividades se explica por que el flujo de agua hacia los pozos realmente tiene lugar fundamentalmente por grandes canales cársicos y la idea de las propiedades de filtración del acuífero son muy condicionales.

El problema de la alimentación del horizonte acuífero del Mioceno ha sido poco estudiado, pero según los trabajos de (Peláez R. 1973) se produce de manera muy compleja ya que el área de alimentación es muy pequeña para aportar tantos recursos, por ello los afloramientos de las calizas hacia el este, en la zona de Artemisa, es considerable y puede aportar mucho agua, al igual que las ventanas hidrogeológicas que se ubican entre los depósitos del Neógeno en profundidad, que descargan sus aguas hacia el horizonte superior.

Los Recursos de aguas subterráneas calculados en este trabajo para este sector del acuífero, considerando un ancho de la corriente subterránea de 43 km son de 78 Millones de m^3 (Tramos PII-2 al PII-4) sin peligro de salinización, explotándolo adecuadamente según las recomendaciones de los autores. Considerando con alguna condicionalidad que los pozos explotados están dispersos uniformemente en el área de propagación del horizonte acuífero del Mioceno, el cual tiene una longitud del frente en los límites el territorio en cuestión de 43 km. la extracción promedio mensual de las aguas subterráneas en 1991-2000 por km. lineal se ha comportado entre 50 y 55 millones de m^3 /año según el INRH o sea el 64- 70 % de los recursos calculados.

En relación a la calidad de las aguas subterráneas del horizonte acuífero del Mioceno varía desde hidrocarbonatado-clorurado-sódicas, con una mineralización de 0.5-0.8 g/l hasta saladas clorurado-sódicas, con una mineralización que sobrepasa los 5 g/l, formando de esta forma dos capas dentro de las rocas carbonatadas agua, dulce-zona de mezcla. Las aguas saladas se manifiestan a una distancia de 2-3 km. del límite norte del horizonte acuífero a profundidad de 60 a 150 m por lo que se considera totalmente intrusionado por las aguas marinas. A partir de la faja litoral el límite de división de las aguas dulces y saladas con 1 g/l, ha penetrado unos 10 – 15 km. tierra adentro inutilizando aguas y suelos. La brusca forma sinusoidal del límite de las aguas dulces y salinas se pueden explicar por la distribución no uniforme del flujo subterráneo, por causas en la diferencia del grado de permeabilidad de las rocas dentro del aparato cársico.

En el fondo general de las leyes de circulación de las aguas subterráneas, se observan según la composición química algunas desviaciones en forma de cúpulas locales de aguas salinizadas cuya formación esta relacionada, con la succión de las aguas mineralizadas por los pozos que se explotan intensivamente a caudales grandes y en franca contradicción con las recomendaciones técnicas, nosotros hemos estimado por la experiencia práctica que en general los caudales de explotación no deben sobrepasar los 40 l/s y deben ser disminuidos en un 30 % en las áreas cercanas a la línea de intrusión marina de 1 g/l. En estos momentos es difícil restablecer la situación hidrológica principal de la zona que existía antes de la intervención activa del hombre, sin embargo es conocido que las zonas que estaban sembradas anteriormente de arroz, las aguas subterráneas del horizonte eran dulces. Durante el proceso de explotación intensiva de los pozos para riego, con extracciones que sobrepasaron los recursos naturales de las aguas subterráneas en el transcurso de una serie de años, la mineralización del agua alcanzó una magnitud crítica convirtiéndose no apta para este uso.

Así por ejemplo según los datos de los análisis químicos de muestras de aguas tomadas en 55 pozos, la mineralización total durante 1 año aumento al final del año 69-70 en 110 mg/l y el contenido de cloruro en 52 mg/l, (Rovnev N., 1971) como se muestra en la tabla siguiente:

Fecha de extracción	Mineralización promedio, (mg/l)	Contenido promedio de Cloruro (mg/l)
1969	580	145
1970	690	197

Los análisis de las muestras de aguas tomadas en 61 pozos de explotación en el mes de abril del año 1970-1971 (tabla 3) han demostrado que continuaban el aumento de la mineralización total en 145 mg/l y el contenido de cloruros aumentó en 38 mg/l.

Fecha de extracción	Mineralización promedio (mg/l)	Contenido promedio de Cloruro (mg/l)
Abril 1970	528	142
Abril 1971	673	180

Adicionalmente los análisis químicos de muestras tomadas en 10 pozos del canal San Diego en Marzo de los años 70-71 muestran la continuidad del proceso de salinización.

Fecha de extracción	Mineralización promedio (mg/l)	Contenido promedio de Cloruro (mg/l)
Marzo 1970	612	151
Marzo 1971	842	283

Lamentablemente se debe hacer constar que el proceso de salinización del horizonte acuífero del Mioceno, en las áreas que aun conserva aguas dulces, continúan desarrollándose actualmente (fuentes de abastecimientos de agua La Coloma, Pinar del Río, Cuba Nueva, Briones Montoto y

Acuitardo en los depósitos terrígenos del Mioceno (N₁b)

Horizonte acuífero en el paquete terrígeno-carbonatado del Mioceno (N₁^a)

Este horizonte acuífero tiene una gran extensión en el territorio estudiado y aflora a todo lo largo de la parte norte. Las rocas acuíferas de este horizonte son las calizas organógeno-detríticas, frecuentemente arcillosas, conglomerados calcáreos, arenas y margas, arcillas que separan localmente las capas acuíferas. El espesor total del horizonte acuífero es de unos 500-600m, según datos de las perforaciones profundas (Pozo Guanál, Baños1 y 2 y otros). La yacencia de las rocas

concuerta con el plano estructural general del territorio de la llanura pinareña, los ángulos de buzamiento de las capas disminuye en dirección al sur desde 7° - 10° hasta 1°.

En la franja de este horizonte acuífero desde su afloramiento en superficie o debajo de los sedimentos cuaternarios de pequeño espesor, las aguas subterráneas que contiene, como regla no tienen presión y en algunos tramos esta condicionada por intercalaciones de arcillas y margas que lo confinan localmente en profundidad, el grado de confinamiento aumenta considerablemente estudiado en la Cala El Brujo, km. 8 carretera a La Coloma, (Peláez R., 1973), el nivel piezométrico se localizan a los 30 m de profundidad.

La acuosidad del horizonte según la composición litológica de las rocas acuíferas, varía dentro de grandes límites. Por los resultados de los aforos de pozos para fines de abastecimiento de agua, el gasto predominante varía desde 1 hasta 10 l/s, aumentando en la parte central en la cuenca del Río Santa Clara desde 10 hasta 50 l/s. La calidad de las aguas de este horizonte acuífero son dulces, principalmente hidrocarbonatadas cálcicas, hacia la zona costera estas pueden cambiar hasta clorurado-sódicas, de existir intrusión marina en condiciones naturales como nosotros pensamos pues este acuífero se encuentra abierto y en contacto con el mar donde se produce su descarga. La alimentación por infiltración del horizonte acuífero se realiza en el área de su afloramiento que es bastante amplia en esta región. Hay que tener en cuenta para su protección, que en esta zona, como es el caso de la Ciudad de Pinar del Río, Consolación del Sur y otras, se genera una gran cantidad de contaminantes que circulan hasta este acuífero y son conducidos hacia la profundidad apenas sin reducir su poder negativo; pero como esta zona apenas se explota actualmente esto pasa inadvertido para muchos investigadores pero en la realidad empeoran notablemente la calidad de estas aguas.

El aprovechamiento práctico de las aguas subterráneas del horizonte acuífero se reduce al abastecimiento de agua a las industrias y de agua potable a pequeñas poblaciones, granjas ganaderas y para el regadío de tabaco de grandes áreas, más al occidente.

Horizonte relativamente impermeable del Paleógeno (P₁₋₂)

Las rocas que componen este horizonte forman un monoclinal plegado hacia el sur, predominan las areniscas con cemento arcilloso, conglomerados polimícticos y vulcanomícticos, arcillas del llamado Grupo Mariel y específicamente pertenecen a la Formación Capdevila. La dirección general del buzamiento de las capas es de sur-sureste, los ángulos de inclinación son de 20 a 40 ° frecuentemente.

Este horizonte considerado impermeable por su baja acuosidad en las zonas donde aflora resulta la base impermeable regional donde se asienta todo el complejo acuífero del Neógeno. La acuosidad fundamental de este horizonte pertenece a las areniscas y conglomerados fisurados con caudales muy bajo. Las captaciones de las aguas subterráneas descubren el agua a la profundidad de 10 hasta 15m y se explotan con un rendimiento desde prácticamente fracciones de l/s hasta 1 l/s. En la franja de afloramiento de las rocas terrígenas del Paleógeno las aguas son de carácter libre (sin presión). La composición química de las aguas subterráneas se caracteriza por la heterogeneidad, predominan las aguas hidrocarbonatadas cálcicas encontrándose también aguas sulfatadas, la mineralización supera regularmente la cifra de 0,6 - 0,7 g/l y a veces alcanzan 2 g/l, Pozo 1, km13 Ctra. a Viñales (Peláez R., N. González, 2005).

No se expondrán **conclusiones**, pues en estos momentos no han terminado los trabajos de investigación y evaluación de datos, (2da. Fase) y por tanto no sería real emitir criterios finales, queda por concluir la parte ambiental.

CONSIDERACIONES FINALES

- Los trabajos de evaluación hidrogeológica del Sector Pinar del Río- Los Palacios, están desarrollados en los sedimentos de la Formación Paso Real, distinguiéndose dos facies litológicas principales: terrígeno carbonatada y carbonatada básicamente. Esta última se caracteriza por su mayor rendimiento hidráulico en las calizas organógenas con desarrollo del carso que descansan sobre un basamento impermeable regional Paleógeno.
- El acuífero N₁^c considerado el de mayor importancia por sus recursos de aguas subterráneas para la provincia está fuertemente intrusionado por las aguas marinas en el plano y en el corte, en algunos casos hasta 10-15 km. tierra adentro por lo que debe ser explotado de acuerdo a las recomendaciones de los autores.
- Recordar que los caudales de explotación de los pozos (acuífero N₁^c) que superen los 30 l/s cercanos a la línea de 1 g/l deben ser disminuidos en un 30 % y monitoreados de forma sistemática para detectar los cambios hidroquímicos que se produzcan.
- Continuar este trabajo hasta la evaluación ambiental del territorio que comprende además la contaminación de los suelos y el papel negativo que juegan los aerosoles marinos sobre estos y las aguas superficiales así como estudiar la importancia que tiene la recarga artificial de los acuíferos para combatir la intrusión marina.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto Territorial 0241 (Estudio Hidrogeológico y Ambiental de la Llanura Sur de Pinar del Río), financiado por la Unidad de Ciencia y Técnica (UCT) del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente en Pinar del Río.

BIBLIOGRAFIA

- González N., 2000. Estudio Hidrogeológico al sur de la Falla Pinar. Tesis de Master en ciencias geológicas. Universidad de Pinar del Río, 63 pp. más anexos.
- Martínez D., M. Vázquez, J. Chang, R. Denis, O. Fernández, R. Fernández de Lara, y E. Barrios, 1994. Informe sobre la generalización del mapa geológico del occidente de Cuba a escala 1: 100 000. Empresa Geólogo-Minera de Pinar del Río, informe técnico, pp. 1-102.
- González N., R. Peláez, 2003. La utilización conjunta de las aguas superficiales y subterráneas en la Provincia Pinar del Río e impactos en la Llanura Sur. Jornada por el Día Mundial del Agua. UNAICC, Sociedad de Hidráulica y las Geociencias. Pinar del Río.
- Peláez R., 1973. Cala El Brujo. Informe técnico. Pp. 1-7, 2 mapas. Archivo INRH. Pinar del Río.
- Peláez R., N. González, 2005. La Falla Pinar como generadora de un universo increíble de aguas minerales. Taller Internacional de Termalismo y Medicina Natural Integral. Palacio de las Convenciones. Ciudad de la Habana. Cuba.
- Rovnev N., 1971. Sobre las condiciones hidrogeológicas de la zona central al sur de la Provincia Pinar del Río para fundamentar el proyecto "Esquema de utilización de los recursos hídricos y agrarios de la zona central al sur de la Provincia Pinar del Río". Informe técnico, pp. 1-20. INRH. PR.



GEOQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS QUE DRENAN CARBONATOS DEL INTERVALO JURÁSICO-PALEÓGENO

Juan Reynerio Fagundo Castillo⁽¹⁾, Vilma Monteagudo Zamaora⁽²⁾, Mónica Rodríguez Piña⁽³⁾, Tamara Leonarte Pérez⁽⁴⁾, Patricia González Hernández⁽¹⁾, Margaret Suárez Muñoz⁽¹⁾, Clara Melián Rodríguez⁽¹⁾, Ana Abraham Alonso⁽⁵⁾.

(1) Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional. Calle 44 y 5ta Ave. Playa, Ciudad de La Habana. E-mail: juanrfag@infomed.sld.cu

(2) Instituto Superior Pedagógico de Las Tunas. E-mail: vilma@isplt.ltu.sld.cu

(3) Centro de Estudios de Medio Ambiente. Zapata y G, Plaza de la Revolución, Ciudad de La Habana. E-mail: mrp@rect.uh.cu

(4) Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Isla de la Juventud E-mail: danilof@cimex.com.cu

(5) Instituto de Geografía Tropical. Calle 13 # 409 / F y G Plaza de la Revolución Ciudad de La Habana E-mail: anan@geotech.cu

RESUMEN

Se presentan las principales regularidades geoquímicas de las aguas subterráneas que drenan depósitos carbonatados del intervalo Jurásico-Paleógeno. Se relaciona la composición de macro y micro constituyentes, así como los patrones hidrogeoquímicos y tipos de aguas con el medio geológico; se establece la evolución de la química del agua en dirección del flujo; se estudia la variación temporal del contenido de minerales disueltos; se determinan los procesos geoquímicos que originan la composición química del agua, y se indica el uso de los diferentes tipos de agua de acuerdo a sus características.

ABSTRACT

The main geochemical regularities of the groundwater which drain limestone deposits of Jurassic - Paleocene interval are shown. The relationships among geological environ and chemical composition of macro and micro compounds, geochemical pattern and water type are found; the chemical evolution throw the flow path are established; the stational variation of the mineral dissolved are studied; the geochemical processes which explain the chemical composition origin are determined, and the use of the different water type according with its characteristics are indicate.

INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas adquieren su composición química mediante un proceso complejo, donde intervienen procesos químico-físicos y factores de tipo, geológico, hidrogeológico, geomorfológico, climático, pedológico, antrópico y otros (Fagundo, 1990).

Los procesos químico-físicos están regidos por leyes termodinámicas (Fagundo, 1996). En un momento dado de su trayectoria, la composición química del agua es el resultado de interacciones más o menos prolongadas de los flujos con el medio ambiente drenado. En esas interacciones el agua actúa como un agente geológico que origina diferentes fenómenos naturales mediante procesos disolución de gases y minerales, precipitación, hidrólisis, hidratación, oxidación-reducción, mezcla de aguas, intercambio iónico y otros (Tóth, 2000). Como agente geológico, el movimiento del agua subterránea puede cambiar el medioambiente geológico y causar desastres naturales (Wu, 2003).

Entre los factores geológicos que controlan la composición química del agua, son determinantes: la litología, el estado de yacencia de las secuencias estratigráficas, la tectónica, el agrietamiento, y la textura y porosidad de las rocas, entre otros. La litología determina, por lo general, las facies hidroquímicas dominantes en una región determinada, es decir, el tipo de agua, mientras que el resto ejercen su influencia sobre el contenido de minerales disueltos.

Los factores hidrogeológicos están relacionados con la permeabilidad del acuífero, el tipo de flujo, su velocidad, así como la zona por donde se mueve el agua.

Los factores de tipo geomorfológico también influyen en la composición química del agua, en especial, el escarpe de los macizos, el tipo de vegetación, el grado de erosión de los terrenos y la naturaleza de las propias formas del relieve y el tipo de suelo.

Los factores climáticos intervienen de forma activa en la dinámica de la meteorización mecánica y química de los macizos, al permitir en el primer caso la fragmentación, traslado y acarreo de los minerales lejos del lugar de origen, así como facilitar en el segundo caso, la disolución de los minerales de las rocas. Los elementos del clima más determinantes en el modo en que las aguas adquieren su composición química son: la temperatura, humedad relativa, intensidad y duración de las precipitaciones, intensidad y duración de las radiaciones, velocidad del aire, entre otros.

Por último, se debe destacar el papel que desempeña el factor antrópico en la composición química del agua. La actividad del hombre causa un deterioro progresivo de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

La calidad del agua se refiere a su composición química expresada en términos de uso. Por lo general, la calidad del agua en las cuencas cerradas es superior a la de las cuencas superficiales. Sin embargo, debido al incremento sostenido de las extracciones, en las franjas costeras y en las cuencas abiertas, en ocasiones la calidad de este líquido experimenta una degradación progresiva como consecuencia de la sobreexplotación a que se ven sometidos nuestros acuíferos. Los requisitos para el uso del agua con fines de consumo está regido por la Norma Cubana de Agua Potable (NC. 93-02: 1985).

En particular las aguas subterráneas de tipo mineral se emplean tanto para el consumo como agua de bebida envasada, como en curas termaleas. A pesar de que estas aguas son menos susceptibles a la contaminación, una vez contaminadas, se hace muy difícil restablecer su calidad original (Giménez, 1994). Los requisitos que debe poseer la composición química para cada uno de estos usos están regidos por la Norma Cubana Aguas de Bebida Envasada (N.C 2: 1996) y la Norma Cubana de Aguas Minerales (NC 93-01-218:1995), respectivamente.

Las aguas minerales poseen una composición química más estable en el tiempo, al igual que su temperatura, caudal y composición química y bacteriológica, propiedades estas que la distinguen de las aguas naturales no minerales, en las cuales varía su composición por el efecto del régimen de lluvia. Debe señalarse, no obstante, que más del 95 % de las aguas minerales son de origen meteórico y por tanto, están relacionadas con el ciclo hidrológico. Estas aguas proceden de acuíferos profundos, que yacen generalmente en condiciones artesianas y su ascenso a la superficie se origina a través de fallas o contactos litológicos. Si este ascenso es rápido, las aguas conservan parte de su temperatura original, adquirida bajo el efecto del gradiente geotérmico, de lo contrario llegan frías. En todos los casos dicha temperatura es constante a menos que se mezcle con aguas más someras afectadas por las oscilaciones del ciclo hidrológico.

A las aguas minerales que poseen una temperatura elevada se les suelen denominar termaleas o termominerales y si poseen propiedades curativas se le llaman mineromedicinales (Armijo y San Martín, 1994). La composición química de estas aguas difiere poco de la de las aguas ordinarias, excepto en una concentración total anormalmente elevada o en contenidos anormales de algunas sustancias disueltas. Por lo general, se considera agua mineral aquella que contiene más de 1 g/l de minerales disueltos o que contiene componentes específicos disueltos en proporciones anormalmente alta (CO_2 , H_2S , Rn, Fe, SiO_2 , Sr, Li, As, etc). En ocasiones las aguas minerales son más radiactivas que el valor medio de las aguas subterráneas, en especial las que discurren por granitos. Su actividad es en su mayor parte asociada al radón

Tal como fue demostrado por Chebotarev (en Frezze y Cherry, 1980) mediante el procesamiento de más de 10 000 muestras de aguas de pozos, los aniones en las subterráneas tienden a evolucionar químicamente siguiendo aproximadamente la siguiente regularidad: $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^-$. Estos cambios ocurren en la medida que el agua se mueve desde zonas de grandes caudales (flujos



locales), a través de zonas intermedias (flujos intermedios), hasta zonas donde los flujos son escasos y el agua es vieja desde el punto de vista geológico (flujos regionales).

En Cuba, las aguas minerales y mineromedicinales están muy distribuidas en todo el territorio, particularmente aquellas que discurren por terrenos carbonatados. En general tienen un origen meteórico y su composición está relacionada con los procesos de interacción agua-roca con los materiales constitutivos del medio geológico drenado, tras un largo recorrido subterráneo, desde que se infiltran en la zona de alimentación del acuífero hasta que emergen por manantiales o son captadas en pozos. En el primer caso las emergencias están asociadas a dislocaciones tectónicas o contactos litológicos locales.

El presente trabajo tiene por objetivo estudiar el origen de la formación las aguas subterráneas de Cuba que drenan carbonatos del intervalo Jurásico-Cretácico (Figura 1), su evolución química a través de su trayectoria, los procesos geoquímicos que explican la composición de las mismas, así como la relación entre dicha composición y el medio geológico drenado. Este trabajo formará parte de otro más extenso que incluirá la caracterización hidrogeoquímica de flujos de diferente naturaleza que drenan carbonatos del intervalo Neógeno – Cuaternario y otras litologías.

MATERIALES Y MÉTODOS

La constitución litológica de las diferentes formaciones geológicas fue tomada del Mapa Geológico de Cuba. Escala 1: 250 000 (Academia de Ciencias de Cuba, 1989).

Una parte de los datos hidroquímicos utilizados en el desarrollo de este trabajo corresponden a muestreos realizados por el colectivo, los cuales aparecen publicados o referidos en varios artículos: Rodríguez et al, 1989; 1991; Pulina y Fagundo, 1992; Fagundo et al, 1993; González et al, 2000; 2001. Otros datos hidroquímicos fueron tomados a partir de la información de archivo: Trelles, 1948; Rodríguez et al, 1989; 1990; Peláez et al, 1990; 1991; Valdés y García, 1993, y bases de datos del INRH. En el primer caso se realizaron en el campo mediciones de temperatura, pH, potencial redox mediante pHmetro y medidor de temperatura y potencial redox (Eh) modelo HI-8424, marca HANNA. Los contenidos de H_2S fueron también determinados "in situ" mediante las técnicas analíticas estándar, al igual que los contenidos de los principales constituyentes de las aguas (APHA, AWWA, WPCF, 1989).

La calidad de los datos fue chequeada mediante balance de aniones y cationes. Además, mediante el empleo del sistema informático HIDROGOQUIM (Fagundo et al, 2005 a), se comparó la conductividad eléctrica real y teórica, eliminándose aquellos datos de mala calidad. Mediante dicho programa de computación también se realizaron los diferentes cálculos geoquímicos y se determinó, en forma gráfica, la variación temporal del total de sólidos disueltos (TSS).

Para la clasificación de las aguas se utilizó el método hidroquímico de Kurlov. Los patrones hidrogeoquímicos y los procesos geoquímicos que explican el origen de la composición química de las aguas fueron determinados mediante el sistema informático MODELAGUA (Fagundo-Sierra et al, 2001), basado en modelos de reconocimiento de patrones, balance de masas y de mezcla de aguas.

Aplicando MODELAGUA, la composición química del agua fue caracterizada a través de determinadas relaciones iónicas o patrones hidrogeoquímicos propuestos por Fagundo (1998). Estos patrones consisten en relaciones estequiométricas del tipo $Na + K : Mg : Cl : HCO_3 : SO_4$. Sobre esta base se establecen 729 patrones (27×27 combinaciones numéricas formadas por números enteros entre 1 y 9).



Distribución de los depósitos carbonatados del intervalo jurásico-paleógeno. Depósitos del Jurásico

Los depósitos de Jurásico medio están ampliamente distribuidos en todo el país (Figura 1). En la Cordillera de Guaniguanico, en la provincia de Pinar del Río, están representados por calizas masivas y estratificadas, silicificadas, con intercalaciones y lentes de rocas silíceas (Formaciones Gusasa, Jagua y Artemisa). En los niveles superiores se encuentran escasas intercalaciones de calizas arenosas (calcarenitas). Las rocas descansan en discordancia con depósitos del Jurásico inferior y medio. En la parte inferior del corte estas últimas rocas están representadas por esquistos arcillosos, menos frecuentes por areniscas y lentes calcáreos (Formación San Cayetano); la parte media está formada principalmente por areniscas, en algunos lugares se encuentran esquistos arcillosos y limonita, y la parte superior del corte está compuesta de esquistos arcillosos con intercalaciones de areniscas (Ergerov y Luege, 1967).

El relieve en este territorio se caracteriza por la presencia de grandes formas cárnicas, las más típicas de las cuales, los mogotes y las grandes cavidades, están representadas en la Sierra de los Órganos en Pinar del Río. Los acuíferos están desarrollados fundamentalmente en fisuras y cavernas. En la Sierra del Rosario, el relieve cársico superficial se caracteriza por la presencia de cerros calcáreos copulares y cónicos, con pendiente en ocasiones abruptas y en otras suaves (Gutiérrez, 1995; Tys, 1992).

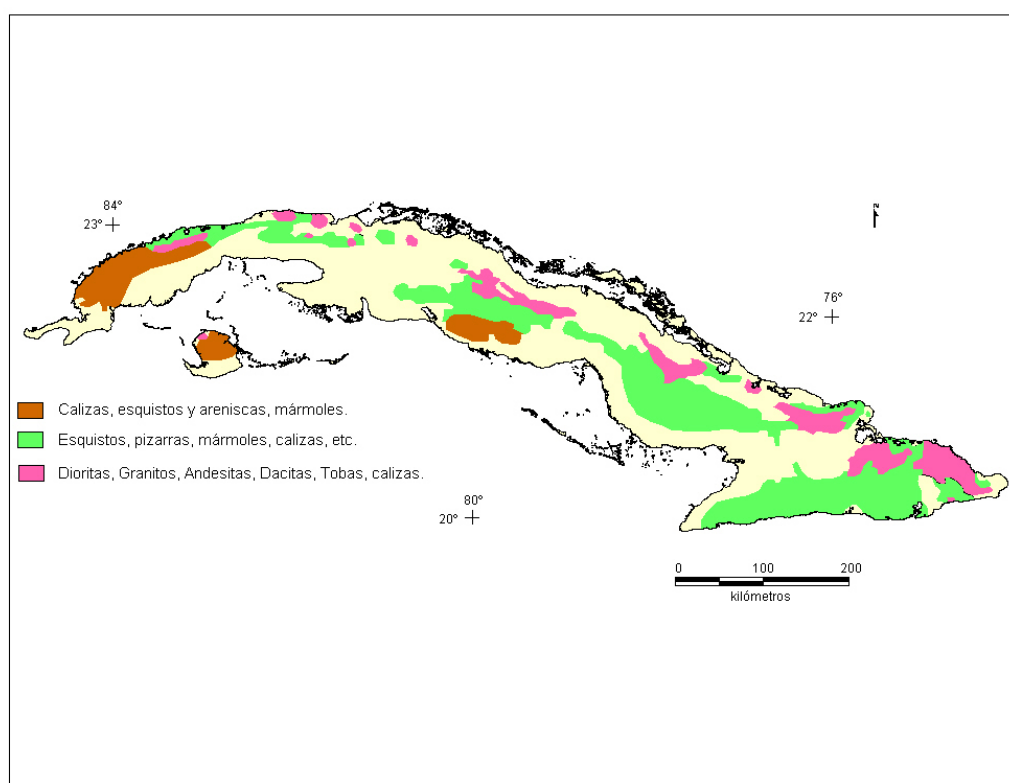


Figura 1. Mapa esquemático de las rocas de Cuba del intervalo Jurásico-Paleógeno (cortesía de M. Iturralde Vinent).

Tabla I. Composición litológica de las formaciones geológicas asociadas a los carbonatos del intervalo Paleógeno-Jurásico.

No	Edad (Símbolo)	Formación	Composición litológica	Muestra representativa
1	Eoceno medio indiferenciado (P ² ₂)	Charco Redondo	Calizas	R. Cueva Campanario, M. Bataldó, M. Sierra de Canasta.
2	Paleógeno-Eoceno Indiferenciado (P ₁₋₂)	Vega	Complejo caótico con bloques, de calizas, serpentinitas y vulcanitas con matriz arcillosa	PC-1 San José del Lago.
3	Cretácico inferior (K ₁)	Veloz	Calizas con intercalaciones de pedernal, bitúmenes y asfaltita, intercalaciones de esquistos arcillosos, calizas argilíticas, calizas tufíticas	Zona de alimentación de los yacimientos de Menéndez y Elguea.
4	Cretácico inferior Erriasiano-Barremiano (K _{1b} -bm)	Lucas	Calizas (biomicritas) estratificadas, argilitas calcáreas.	M. Lucas.
5	Cretácico inferior y superior Albiano-Cenomaniano (K ₁₋₂ al-cm)	Pan de Guajaibón	Calizas masivas, calcarnitas, biomicritas, a veces dolomitizadas.	Surgencia Ancón; Resurgencia. Canilla; M. Mameyes; M. La Curra.
6	Cretácico inferior (K ₁₋₂ al)	Palenque	Calizas, calizas dolomitizadas y dolomitas	B. San José del Lago.
5	Cretácico inferior y superior (K ₁₋₂)	Sierra Azul	Calizas, calizas margosas, argilitas, silicitas	M. Cacarajicara NS.
7		Fm. Martín Mesa	Calizas masivas y estratificadas (biomicritas), calcarenitas,	M. Martín Mesa.
8	Cretácico superior (K ₂)	Amaro	Calizas, calizas silificadas, calizas dolomitizadas, silicatos, conglomerados con pedernal	M. Amaro, M. Lobatón.
9	Cretácico superior Maestrichtiano (K _{2m})	Cacarajicara	Brechas, calcarenitas, calcilutitas	M. Azufre Cacarajicara.
	K _{2m}	Jimaguayú	Calizas biógenas, margas, calcirudiras, areniscas	P-195
	K _{2cn} -cp	Contramaestre	Areniscas tefroides, conglomerados, tobas, tufitas, aleurolitas, argilitas, calizas	P-248; Central Jobabo; Quinta Planta;
10	K ₁₋₂ al-t	Guaímaro	Lavas y tobas basalto-andesíticas, andesito-basaltos, calizas	Edificio de Parque; La Liberia; Circunscripción 7; Cabecera Colombia.
11				M. El Perdido; M. Mil Cumbres; M-1 Bermejales; La Gallina (SDBaños); El Templado (SD Baños); Pozo P-1 (SD Baños); M. Sal y Cruz; Pozo Azul; B. Soroa; M. San Juan; M. San Juan; Pozo El Brocal; M. La Pastora; M. Pedernales; M. Aspiro.
12		Esperanza	Calizas organógenas, pelitomórficas, bituminosas, areniscas cuarzosas, argilitas	M. Zequeira.
13	Jurásico superior Oxfordiano – Tithoniano (J ₃ ox-t)	Guasasa (m San Vicente)	Calizas masivas, calcarenitas, calciruditas calcáreas fosilíferas	B. Los Portales; PC-10 San Vicente; Balneario San Vicente M. Cueva Portales.
13	Jurásico superior Oxfordiano y Tithoniano (J ₃ ox-t - K)	Gerona	Mármoles	Pozos de abasto público a la población.
14	Jurásico medio-superior (J ₂ -J ₃ ox)	Agua Santa	Esquistos meta terrígenos con capas de mármol	M. Santa Rita, M. Hierro, M. Ojitos de Santa Lucía, M. Magnésiano.



En la provincia de Pinar del Río existen numerosos ríos subterráneos, cuevas y manantiales, cuyas aguas presentan diferente composición en dependencia del carácter del flujo: local, intermedio o regional o profundo (Fagundo et al, 2005 b). En la tabla I se presentan las muestras representativas de manantiales y surgencias cársicas estudiadas en este trabajo, las cuales drenan calizas de las formaciones Guasas, Jagua y Esperanza e interactúan, en el caso de los flujos intermedios y regionales con los sedimentos de la Fm. San Cayetano. Los resultados del procesamiento hidroquímico, presentados en la tabla II, serán objeto de discusión con posterioridad.

En la parte norte de la provincia de Villa Clara, en la base del corte, los depósitos del Jurásico superior están representados por una secuencia de limonitas cuarzosas, areniscas y gravelitas (grava cementada), que yacen por encima de los granitoides. Más arriba se encuentran calizas masivas, compactas, localmente dolomitizadas y silicificadas.

En la provincia de Camagüey, los depósitos de referencia tienen un desarrollo limitado en la porción norte, estando representadas por calizas compactas, duras, en algunos lugares, estratificadas y arenosas. A veces se observan intercalaciones de rocas silíceas y areniscas.

Depósitos del Cretácico

Estos depósitos están ampliamente distribuidos en todo el país, estando representados por facies carbonatadas, terrígenas y vulcanógenas (Ergerov y Luege, 1967). Las rocas carbonatadas están representadas por calizas y en menor frecuentemente por dolomitas y margas. Las calizas son generalmente compactas, estratificadas o masivas. A veces en la parte superior del corte se encuentran calizas arrecifales.

Los depósitos terrígenos cretácicos están relativamente poco desarrollados en la provincia de Pinar del Río, están representados por secuencias de limonitas y areniscas que alternan con capas de calizas, conglomerados y rocas silíceas. Son representativas de estos sedimentos las aguas que drenan los depósitos de las formaciones Cacarajícara, Pan de Guajabón, Sierra Azul, Martín Mesa y Lucas (Tabla I).

En la provincia de La Habana y Matanzas, constituyen conglomerados, areniscas calcáreas, margas, arcillas y calizas esquistosas.

Este tipo de rocas es el que tiene el desarrollo más amplio en las provincias de Villa y Clara Sancti Spiritus, donde se observan calizas arcillosas y dolomitizadas, brechas y conglomerados calcáreos. Las aguas representativas de estos sedimentos, estudiadas en este trabajo son las asociadas a los yacimientos de Amaro (manantiales de de Amaro y Lobatón) y San José del Lago. Este último yacimiento se localiza al sur del pueblo de Mayajigüa, en la región se presentan varias formaciones geológicas: la Fm. Vega, de edad Paleógeno y las formaciones Palenque y Mata del Cretácico (Tabla I).

Las rocas carbonatadas cretácicas se encuentran también en cantidad considerable en la provincia de Camagüey, en cuya parte norte las calizas se presentan muy dislocadas y quebradas por numerosas fallas de diferentes dimensiones. En la Sierra de Cubitas se observa el joven relieve cársico.

Estos depósitos originan acuíferos en fisuras de poca capacidad. El caudal de los pozos existentes es de hasta 1 l/s, aunque en algunos casos (en los límites entre Ciego de Ávila y Camagüey), la presencia de intercalaciones de calizas de espesor considerable, de tobas y de zonas de dislocaciones tectónicas, propician la acumulación de considerables cantidad de agua subterránea.

Depósitos del Paleógeno

Los depósitos del Paleógeno (paleocénicos, eocénicos y oligocénicos) presentan facies terrígenas, carbonatadas y efusivas y se encuentran distribuidos por todo el país (Ergerov y Luege, 1967).

En la provincia de Pinar del Río, los depósitos del Paleoceno y del Eoceno son semejantes, predominan los sedimentos terrígenos, compuestos de areniscas, margas, calizas arenosas y



conglomerados. Los depósitos del Oligoceno contienen calizas, conglomerados calcáreos y alternancia de calizas con areniscas, arcillas y margas.

En la provincia de La Habana y Matanzas las rocas paleocénicas están representadas por arcillas y arena calcárea; las del Eoceno, por margas, areniscas calcáreas arcillosas y calizas, mientras que los depósitos oligocénicos son preferentemente carbonatados, constituidos por calizas y margas.

En Villa Clara las rocas del Paleoceno se componen de calizas microcristalinas, duras y compactas; mientras que los depósitos del Eoceno, que se aprecian en el sureste de la provincia están constituidos por arcillas, conglomerados, gravelitas y areniscas. En la parte norte de la misma provincia, se observan bloques eocénicos calcáreos incluidos en la masa arcillosa. Al norte del sistema montañoso de Guamuaya, en la base del corte, yace una arenisca de grano grueso con guijarros de rocas ígneas, más arriba se sitúan areniscas de grano medio y fino.

Los depósitos terrígenos eocénicos que se encuentran en Cienfuegos, estos sedimentos están compuestos por calizas y areniscas calcáreas.

En el norte y el nordeste de la provincia de Camagüey los depósitos eocénicos están representados por calizas; al sur, por margas y al este de la ciudad, por calizas, margas y en ocasiones por carbonatos magnesianos. Los depósitos oligocénicos se componen de margas, areniscas de grano fino y grueso, conglomerados y arcillas.

En las provincias orientales, los depósitos del Paleógeno están constituidos por calizas arenosas, conglomerados calcáreos, tobas, esquistos tobáceos, calizas y margas. En el extremo oeste de la Sierra Maestra están preferentemente distribuidas las calizas. Los depósitos oligocénicos de estas provincias están representados tanto por facies marinas como terrígenas. Representativas este tipo de aguas, son las que drenan los sedimentos de la Formación Charco Redondo (Tabla I).

Todas estas rocas forman complejos acuíferos de tipo fisurado y cárlicos. Los primeros son poco acuíferos, con caudales del orden de 1 l/s; mientras que los últimos pueden ser muy acuíferos. En las provincias de La Habana (Cuenca de Ariguanabo) y Matanzas los caudales de los pozos de explotación perforados en los sedimentos oligocénicos alcanzan entre 30 y 50 l/s.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el objetivo de estudiar el origen de la composición química de las aguas subterráneas de Cuba y su relación con la constitución y disposición de los principales depósitos carbonatados drenados por las mismas, se tomaron datos hidroquímicos de muestras representativas de las diferentes formaciones geológicas de Cuba constituidas por rocas carbonatadas. Teniendo en cuenta la diferente génesis de la composición de las aguas que drenan estos depósitos, para su procesamiento, los datos fueron separados en tres grupos acorde al carácter del sedimento y el intervalo de edad geológica según el siguiente criterio: calizas de origen sedimentario del intervalo Jurásico-Paleógeno de Cuba, calizas de origen sedimentario del macizo cretácico de Las Tunas, y calizas de origen metamórfico de la Isla de la Juventud.

Calizas de origen sedimentario del intervalo Jurásico-Paleógeno.

En la tabla II se presenta la composición química y el tipo de agua de muestras de aguas subterráneas que drenan carbonatos del intervalo Jurásicos - Paleógeno. Los datos corresponden a valores medios y están ordenados en orden creciente con respecto al contenido de minerales disueltos (TSS). En dicha tabla están representados flujos de tipo local, intermedio y de carácter más regional y profundo, correspondiendo a los de carácter más local los de menor mineralización y a los de carácter más regional o profundo los de mayor mineralización.

Los resultados de la tabla II indican que a medida que se incrementa la interacción agua-roca como resultado del recorrido subterráneo del agua (puesto de manifiesto por el incremento de TSS), aumentan en forma proporcional, los contenidos de SiO_2 , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ . Por el

contrario, el contenido de HCO_3^- , tiende a disminuir a medida que se incrementa el TSS y el contenido de SO_4^{2-} .

Tabla II. Composición química de las aguas que drenan calizas de origen sedimentario expresadas en mg/l

No	N	Muestra	Flujo	T	pH	CO ₂	H ₂ S	SiO ₂	TSS	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	Tipo de agua
1	1	Aspiro	FL	25.0	7.00	18.3	0.0	4.0	197	122.0	14.1	8.4	34.3	3.5	14.7	0.1	HCO ₃ -Ca
2	15	C Campanario	FL	20.9	7.85	5.6	0.0	-	250	176.6	11.7	0.0	54.5	4.8	2.0	0.5	HCO ₃ -Ca
3	2	M. Lobatón	FI	25.0	8.10	2.8	0.0	19.0	269	241.0	19.1	63.4	101.1	4.0	9.0	1.1	HCO ₃ >Cl-Ca>Na>Mg
4	39	R. Canilla	FL	22.6	7.65	6.6	0.0	-	271	178.8	15.0	8.1	48.9	5.5	14.0	0.4	HCO ₃ -Ca
5	38	S Ancón	FL	22.7	7.53	7.4	0.0	-	305	202.0	15.4	10.0	58.8	4.9	13.7	0.4	HCO ₃ -Ca
6	30	M. Bataldó	FL	22.3	7.15	21.6	0.0	-	311	221.6	11.3	0.1	70.4	2.0	5.5	0.6	HCO ₃ -Ca
7	9	SierraCanasta	FI	25.0	7.50	10.8	0.0	6.6	316	198.6	15.3	22.1	66.4	2.4	11.0	0.2	HCO ₃ -Ca
8	4	M. Mameyes	FL	21.4	7.76	8.9	0.0	-	357	244.1	16.3	6.2	70.1	4.8	15.3	0.4	HCO ₃ -Ca
9	3	Lucas	FL	22.3	7.05	41.9	0.0	-	386	247.9	15.4	23.7	70.5	6.7	20.8	0.6	HCO ₃ -Ca
10	15	M. Amaro	FI	25.0	7.61	10.1	0.0	15.3	388	202.6	89.2	11.2	49.3	16.4	3.0	2.0	HCO ₃ >SO ₄ -Ca
11	1	Los Pedidos	FL	23.3	7.06	35.6	0.0	-	402	274.0	11.0	15.9	76.1	6.1	18.5	0.6	HCO ₃ -Ca
12	15	Los Portales	FI	25.1	7.29	18.8	0.0	12.1	423	255.0	10.1	52.0	93.3	8.7	3.2	0.2	HCO ₃ -Ca
13	5	M. La Curra	FL	22.3	7.03	24.7	0.0	-	436	292.9	12.9	15.4	84.5	6.7	22.4	0.7	HCO ₃ -Ca
14	18	Mil Cumbres	FI	22.7	7.42	16.2	0.0	-	438	271.1	16.9	37.0	85.8	5.4	21.4	0.5	HCO ₃ -Ca
15	9	Brocal	FI	25.0	7.33	31.3	9.9	-	473	306.1	32.0	14.9	77.7	12.9	28.7	0.9	HCO ₃ -Ca
16	3	Cacarajica NS	FL	23.8	7.18	41.1	0.0	-	487	312.2	24.6	25.8	88.4	10.3	24.5	0.8	HCO ₃ -Ca>Mg>Na
17	24	PC-1 SJ Lago	FI	25.0	7.45	28.8	0.3	18.9	493	324.5	34.2	16.6	69.7	24.5	20.9	2.2	HCO ₃ -Ca>Mg
18	3	San Juan NS	FL	23.8	6.93	27.5	0.0	-	529	332.5	26.4	33.9	103.4	7.9	24.4	0.8	HCO ₃ -Ca
19	2	P-3 SDB	FL	25.8	7.73	24.1	0.0	7.4	567	358.8	22.0	44.0	111.6	7.9	21.8	0.8	HCO ₃ -Ca
20	4	Soroa	FI	24.2	7.54	36.3	15.0	15.0	573	400.4	22.3	17.3	71.0	29.0	31.1	1.7	HCO ₃ -Ca>Mg>Na
21	2	San Juan S	FI	27.3	7.01	47.8	0.0	-	589	390.2	24.8	31.2	96.1	20.1	25.9	0.8	HCO ₃ -Ca>Mg
22	10	PC-10 San Vic	FI	24.5	7.64	21.2	0.0	9.9	599	344.0	23.0	97.0	98.4	4.8	30.5	1.0	HCO ₃ >SO ₄ -Ca>Mg>Na
23	5	BSanJoséLago	FI	30.7	7.26	13.6	0.9	20.6	612	337.8	39.4	69.8	69.8	24.1	68.6	2.6	HCO ₃ -Ca>Mg
24	2	CacarajicaraS	FI	25.8	7.02	50.3	8.1	-	626	364.6	30.3	67.0	101.1	12.3	47.8	2.8	HCO ₃ -Ca>Na
25	7	Pedernales	FI	24.2	7.13	71.0	5.4	-	682	434.4	43.5	29.6	117.0	13.9	43.6	0.4	HCO ₃ -Ca>Na
26	5	La Pastora	FI	24.8	7.15	78.0	10.0	-	731	441.8	46.4	63.2	140.5	15.9	22.0	0.9	HCO ₃ -Ca
27	1	Pozo Azul	FI	30.0	7.20	30.0	1.5	-	527	370.4	8.9	22.1	84.1	20.3	20.2	0.7	HCO ₃ -Ca>Mg
28	1	Zequeira	FI	24.0	7.5	28.4	1.5	-	750	212.3	45.0	294.9	126.9	34.0	35.0	2.0	SO ₄ >HCO ₃ -Ca>Mg
29	1	Matín Mesa	FI	28.0	7.30	32.0	5.9	22.3	766	500.0	54.0	17.8	100.0	24.5	66.3	3.5	HCO ₃ -Ca>Mg
30	1	Sal y Cruz	FI	25.0	7.65	5.0	1.0	12.4	1128	174.0	73.1	558.0	250.0	32.0	39.0	2.0	SO ₄ -Ca
31	1	C Portales	FI	27.0	7.02	30.8	10.0	-	1232	268.4	56.1	556.8	192.0	26.4	125.5	6.5	SO ₄ >HCO ₃ -Ca>Na
32	12	El Templado	FR	38.5	7.01	65.8	11.5	11.9	1442	304.6	31.8	709.0	326.7	36.1	32.6	1.0	SO ₄ >HCO ₃ -Ca
33	2	P-19	FR	45.5	6.78	55.0	7.9	26.3	1475	265.1	20.7	780.5	352.0	29.4	25.9	1.4	SO ₄ >HCO ₃ -Ca
34	38	San Vicente	FR	29.0	6.85	39.5	7.6	25.5	1760	211.8	18.8	1037.0	434.8	37.5	19.4	1.0	SO ₄ -Ca
35	11	La Gallina	FR	36.6	7.09	43.4	21.0	27.0	2176	221.2	34.4	1307.2	485.1	50.8	75.0	2.0	SO ₄ -Ca
36	8	M1Bermejales	FR	31.0	7.60	53.9	39.3	30.0	2361	297.6	39.6	1354.0	471.5	50.5	143.7	4.2	SO ₄ -Ca
37	3	P-17	FR	46.0	7.5	33.0	24.7	27.8	2438	215.6	41.4	1492.4	525.3	66.0	95.2	3.9	SO ₄ -Ca
38	9	P-12	FR	30.0	7.42	41.6	51.2	17.2	2297	291.5	41.6	1310.9	437.1	52.7	157.9	8.4	SO ₄ -Ca>Na
39	30	P1 San DB	FR	40.0	7.20	38.0	39.7	34.2	3042	169.0	33.7	1969.9	636.8	70.4	150.2	12.0	SO ₄ -Ca
40	1	Aguas Claras	FR	-	7.00	66.0	-	38.0	4646	442.0	423.0	2450.0	530.0	229.0	544.0	28.0	SO ₄ -Ca>Na>Mg

Tipo de flujo asignado: FL- Local, FI- Intermedio, FR- Regional o profundo.

Composición química relativa y patrones hidrogeoquímicos

En la tabla II las muestras aparecen ordenadas según el aumento del total de sólidos disueltos (TSS). Además de la concentración iónica expresada en mg/l, se presenta el tipo de agua acorde al criterio de clasificación Kurlov. En general, las aguas que presentan menor contenido de minerales disueltos son las de los tipos bicarbonatadas (HCO₃-Ca y HCO₃-Ca>Mg, HCO₃-Ca>Na), mientras la de mayor



contenido de TSS se corresponden con las de tipo sulfatadas bicarbonatadas y sulfatadas ($\text{SO}_4 > \text{HCO}_3\text{-Ca}$, $\text{SO}_4\text{-Ca}$, $\text{SO}_4\text{-Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$).

Los principales patrones hidrogeoquímicos son los siguientes:

Aguas bicarbonatadas cálcicas: 271-181, 181-172, 181-181.

Aguas bicarbonatadas cálcicas magnésicas: 172-181, 253-181.

Aguas bicarbonatadas cálcicas sódicas: 271-181, 361-172.

Aguas bicarbonatadas sulfatadas cálcicas sódicas: 271-154.

Aguas sulfatadas bicarbonatadas cálcicas y cálcicas sódicas: 271-127, 361-127.

Aguas sulfatadas cálcicas: 181-118, 271-127.

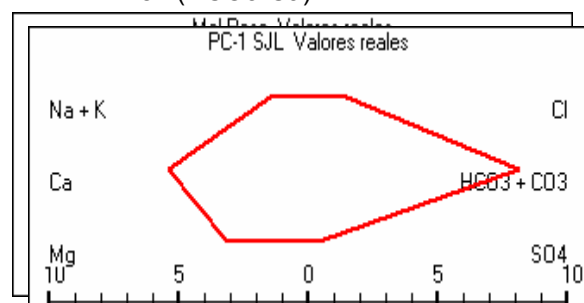
Aguas sulfatadas cálcicas sódicas magnésicas: 352-217.

En las figuras 2 a (aguas de tipo bicarbonatadas) y 2 b (aguas de tipo sulfatadas) se muestran, en forma gráfica los patrones hidrogeoquímicos de algunas muestras representativas.

Los diagrama hidroquímicos presentados en la figura 2 ilustran en forma comprensible el enriquecimiento en sulfato de las aguas correspondientes a los flujos intermedios, de tipo bicarbonatadas sulfatadas cálcicas (posiblemente debido a la oxidación de la piritita presente en el propio sedimento) que drenan los carbonatos de la Fm. Guasas (pozos Los Portales y P-10 San Vicente). Con relación a los flujos locales (manantial Mal Paso), el incremento en magnesio de las aguas minerales de los balnearios de PC-1 San José del Lago (de tipo bicarbonatada cálcica magnésica), se produce como resultado de la interacción con dolomitas o serpentinitas subyacentes; así como los típicos patrones de las aguas de tipo bicarbonatadas cálcicas asociadas a los flujos locales que drenan calizas más puras (manantial Sierra de Canastas).

Los diagramas hidroquímicos presentados correspondientes a flujos de mayor recorrido subterráneo (flujos de carácter más regional y profundo), poseen patrones de aguas sulfatadas bicarbonatadas cálcicas (manantiales Zequeira, El Templado), sulfatadas cloruradas mixtas (Aguas Claras), y sulfatadas cálcicas y cálcicas sódicas (Manantiales La Gallina y M1 Bermejales). Estos patrones pudieran originarse como resultado de los procesos de oxidación de piritas y el intemperismo de plagioclasas presentes ambos en los esquistos y areniscas de la Fm. San Cayetano.

PH: 172-181 ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$)

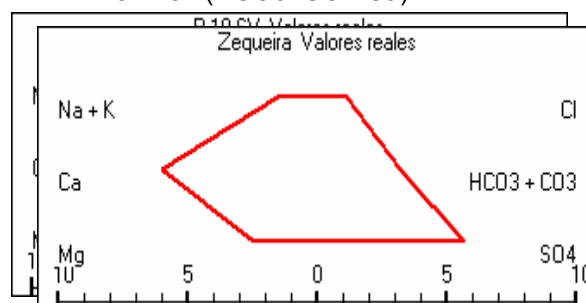


PH: 172-181 ($\text{HCO}_3\text{-Ca} > \text{Mg}$)

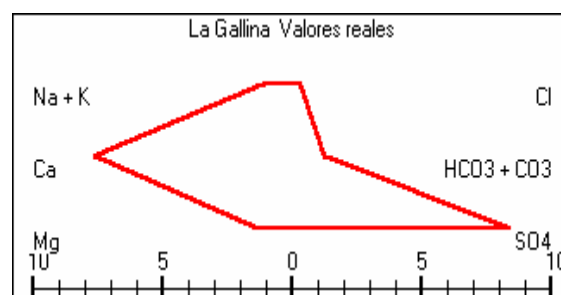


PH: 343-217 ($\text{SO}_4\text{-Ca} > \text{Na} > \text{Mg}$)

PH: 181-154 ($\text{HCO}_3 > \text{SO}_4\text{-Ca}$)



PH: 163-136 ($\text{SO}_4 > \text{HCO}_3\text{-Ca} > \text{Mg}$)



PH: 181-118 ($\text{SO}_4\text{-Ca}$)

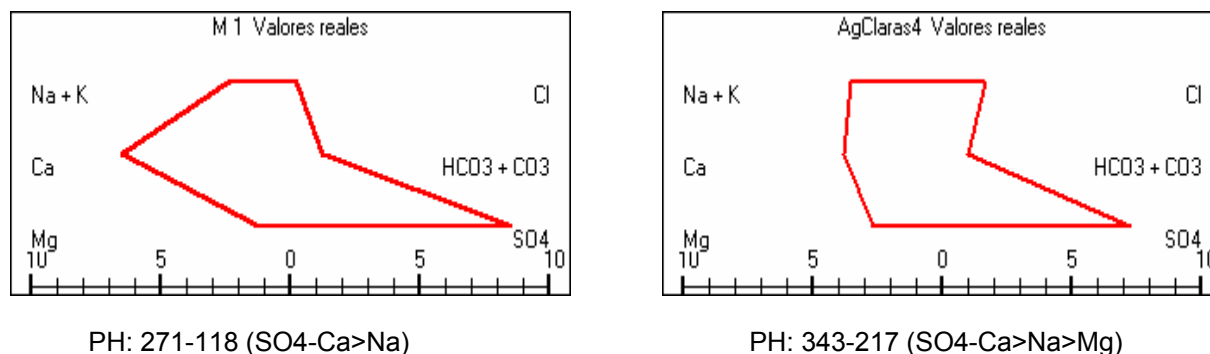


Figura 2. Patrones hidrogeoquímicos de las aguas subterráneas que drenan carbonatos y areniscas del intervalo Jurásico-Paleógeno.

En la tabla III se presentan los valores de las correlaciones de regresión lineal de las principales variables hidroquímicas.

Tabla III. Matriz de correlación de variables. Aguas subterráneas que drenan carbonatos de origen sedimentario de edades comprendidas entre el Jurásico y el Paleógeno.

N=470	SiO ₂	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	TSS
SiO ₂	1	-0.01	0.58	0.79	0.76	0.61	0.78	0.81
HCO ₃ ⁻		1	0.31	-0.11	-0.03	0.05	0.08	0.02
Cl ⁻			1	0.37	0.48	0.48	0.53	0.43
SO ₄ ²⁻				1	0.99	0.93	0.81	0.99
Ca ²⁺					1	0.93	0.76	0.99
Mg ²⁺						1	0.76	0.95
Na ⁺							1	0.84
TSS								1

Para la determinación de los resultados que se muestran en la tabla III fueron procesados 470 datos con todas las variables excepto SiO₂, con solo 27 datos disponibles. De ese modo son altamente significativas aquellas correlaciones cuyo coeficiente de correlación $r > 0.17$ ($\alpha = 0.995$) para todas las variables con excepción del sílice, mientras que son altamente significativas aquellas cuyo $r > 0.49$ para las correlaciones con SiO₂.

Las correlaciones altamente significativas existentes entre TSS y el resto de las variables, excepto bicarbonato, indican que en el proceso de adquisición de la composición química de estas aguas, participan no sólo el calcio y el magnesio aportados por los minerales calcita y dolomita presentes en las calizas, sino también otros componentes como SiO₂, Cl⁻ y SO₄²⁻, lo que demuestra que las aguas en su recorrido subterráneo interactúan con otros minerales presentes en las areniscas y rocas ultrabásicas existentes en el corte.

El incremento del SiO₂ con el TSS puede interpretarse como resultado de una trayectoria profunda del agua subterránea, teniendo en cuenta que este componente es más soluble a altas temperaturas y a pH ácidos o básicos (Apelo y Postma, 1993). El aumento del contenido de Cl⁻ con respecto al de carácter meteórico, también es un índice de recorrido de agua a mayor profundidad.

En la Sierra del Rosario se había observado que los flujos de carácter local no contienen H₂S y poseen poco contenido de sulfato (Fagundo et al, 2005 a), resultado análogo al que se presenta en la tabla III. Las aguas correspondientes a los flujos intermedios y de carácter más regional y profundo, presentan en su composición altos contenidos de H₂S y SO₄²⁻ cuando en su recorrido subterráneo interceptan rocas que poseen pirritas en su constitución litológica.

En la tabla III se aprecia, la buena correlación existente entre SO_4^{2-} y Ca^{2+} , mientras en la con respecto a HCO_3^- , tanto SO_4^{2-} como Ca^{2+} decrecen, identificándose dos subgrupos, uno constituido por los flujos locales y otros por los intermedios y regionales. Si los datos de ambos subgrupos se procesan por separados, se encuentra que en el primer subgrupo, Ca^{2+} crece con el HCO_3^- mientras que en el segundo subgrupo Ca^{2+} crece con el SO_4^{2-} .

En general, las rocas más comunes, presentes en los sedimentos estudiados son las calizas y las calcarenitas, por lo que los resultados de la tabla III demuestran que además del calcio, el magnesio y la sílice, aportados por los minerales constitutivos de estas rocas, otras litologías influyen el contenido que adquieren esta agua en su trayectoria subterránea, tales como piritita, que aportan el ion SO_4^{2-} y las areniscas que aportan el Na^+ .

Variación de la composición química física de las aguas con la profundidad

La mineralización de las aguas en las emergencias depende del tipo de litología drenada, del tiempo de recorrido subterráneo del flujo, de la profundidad y temperatura que alcanza el mismo, del contenido de CO_2 disponible en la zona el suelo, de las condiciones en que dicho gas es tomado por las aguas procedentes de las precipitaciones durante su infiltración (condiciones de sistema cerrado, abierto o mixto) y del aporte de otras fuentes, tales como los procesos de oxidación de sulfuros. En las emergencias, las aguas subterráneas por lo general 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 IV se muestra cómo varía la temperatura y algunos contenidos iónicos con la profundidad, en el pozo P-1, perforado en las cercanías del balneario de San Diego de los Baños (Peláez et al, 1990). Como puede apreciarse, estas aguas experimentan un incremento tanto de la temperatura, como de los contenidos iónicos y gases disueltos a medida que las muestras son tomadas a mayor profundidad, mientras que el pH tiende a ser más ácido.

Tabla IV. Variación de la composición química con la profundidad. Pozo P-1(San Diego de los Baños). Concentraciones en mg/l.

Prof (m)	T (°C)	pH	CO_2 (mg/l)	H_2S (mg/l)	SiO_2 (mg/l)	HCO_3 (mg/l)	Cl (mg/l)	SO_4 (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	CaCO_3 (mg/l)	TSS (mg/l)
0-87	26	8.00	11	0.0	14.0	151.3	14.5	156.1	90.1	10.7	16.8	0.7	269	440
0-122	28	7.89	22	9.0	18.1	254.4	22.0	732.5	333.1	37.1	7.8	0.3	985	1387
120-200	34	7.70	22	9.0	20.0	195.3	29.1	1058.1	400.4	52.8	34.3	1.4	1217	1763
240-281	36	7.60	27	28.5	24.0	155.0	29.1	1731.0	637.4	77.6	27.0	1.1	1911	2657
237-320	46	7.20	38	39.7	26.7	169.0	33.7	197.2	637.4	71.4	156.4	6.4	1896	3045

Del análisis de los resultados que se muestran en las tablas II, III y IV, se puede inferir que la composición química del sistema de flujos que drenan los carbonatos sedimentarios del intervalo Jurásico – Paleógeno, que interactúan con materiales acuíferos constituidos por minerales calcita, plagioclasa y piritita, tienden a evolucionar aproximadamente de la manera siguiente:

$\text{HCO}_3\text{-Ca} \rightarrow \text{HCO}_3 > \text{SO}_4\text{-Ca} \rightarrow > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3\text{-Ca} \rightarrow \text{SO}_4\text{-Ca}$

$\text{HCO}_3\text{-Ca} > \text{Na} \rightarrow \text{SO}_4 > \text{HCO}_3\text{-Ca} > \text{Na} \rightarrow \text{SO}_4\text{-Ca}$

$\text{HCO}_3\text{-Ca} > \text{Mg} \rightarrow \text{HCO}_3 > \text{SO}_4\text{-Ca} > \text{Mg} \rightarrow \text{SO}_4 > \text{HCO}_3\text{-Ca} > \text{Mg} \rightarrow \text{SO}_4\text{-Ca}$

Contenido de micro constituyentes

En la tabla V se presenta la concentración en mg/l de los principales micro componentes presentes en algunas las muestras de aguas correspondientes a flujos que drenan carbonatos del intervalo Jurásico-Paleógeno.

Tabla V. Contenido de componentes minoritarios de las aguas que drenan carbonatos.

No	SiO ₂	F	Br	I	As	B	Li	Sr	Ba	Fe	Mn	Ni	Co	Cu	Cr	Cd	Zn	Pb
2	6.0	-	-	-	-	< 0.057	0.01	0.167	< 0.059	0.13	0.01	<0.14	<0.12	<0.077	<0.078	<0.028	0.09	0.16
3	6.0	-	-	-	-	< 0.057	<0.035	0.349	< 0.059	0.40	0.02	<0.14	<0.12	<0.077	<0.078	<0.028	0.09	0.13
7	6.0	-	-	-	-	< 0.057	0.01	0.863	< 0.059	0.10	0.03	<0.14	<0.12	<0.077	0.01	0.0600	0.11	0.24
10	6.0	-	-	-	-	< 0.057	0.02	1.016	< 0.059	0.11	0.01	<0.14	<0.12	<0.077	0.02	<0.028	0.23	0.26
13	20.6	0.40	2.20	0.018	-	-	<0.02	0.47	0.20	0.90	0.06	<0.05	<0.05	0.05	-	<0.05	0.10	0.10
16	15.0	-	-	-	-	0.0379	0.06	1.074	0.228	0.23	0.04	<0.14	<0.12	<0.077	<0.078	<0.028	0.06	0.11
27	11.9	1.11	0.012	0.91	0.0004	--	0.013	1.49	0.012	<0.11	<0.20	0.004	0.0004	0.001	-	0.0001	0.0044	0.0009
29	27.0	1.10	0.01	0.00	0.000	-	0.022	2.38	0.013	0.098	0.076	0.001	<0.01	0.0019	0.01	<0.005	0.011	0.0017
30	30.0	2.40	-	-	-	0.337	0.05	15.66	<0.059	0.32	0.08	<0.14	<0.12	<0.077	0.01	0.03	0.15	0.27
31	34.2	-	-	-	-	0.306	0.06	9.921	<0.077	0.32	0.10	<0.14	<0.12	<0.077	0.02	<0.028	0.75	0.25

2- Resurgencia Canilla; 3- Surgencia Ancón ; 7- El Sitio no Sulfuroso; 10- Mil Cumbres no Sulfuroso; 13- PC-1 San José del Lago; 16- Soroa; 27- El Templado San Diego de los Baños; 29- La Gallina San Diego de los Baños; 30- M-1 Bermejaes; 31- Pozo P1- San Diego de los Baños.

Las principales anomalías geoquímicas se aprecian en los flujos de circulación más profunda y de carácter más regional, cuya composición es de tipo sulfatada cálcica (manantiales La Gallina y M-1 Bermejaes y pozo P-1 de San Diego de los Baños). Especialmente se destacan con valores más elevados que el resto de las aguas: SiO₂, F, B, Li, Sr, Mn, Zn y Pb.

Variación temporal de la composición química del agua

Las aguas subterráneas de corto recorrido subterráneo difieren de aquellas que poseen un recorrido mayor no sólo en la magnitud del contenido de minerales disueltos alcanzado, sino también en la estabilidad de su composición. Mientras las aguas más someras y de menor recorrido presentan una notable fluctuación de su composición debido a la acción del ciclo hidrológico, las que alcanzan mayor profundidad y poseen una mayor trayectoria poseen una composición más estable.

Uno de los criterios para considerar que un agua es mineral, además de la magnitud de la temperatura, el contenido de los minerales disueltos y la presencia de determinados componentes específicos, es la constancia de su temperatura y composición química. El requisito de estabilidad de la composición química se expresa en las normas de aguas minerales (NC 93-01-218, 1995) para distinguirlas de las aguas naturales ordinarias. Sin embargo, el concepto de que un agua mineral posee una composición constante es ambiguo, pues no existen límites establecidos al respecto.

Un método apropiado para estudiar la fluctuación estacional de la composición química del agua consiste en tomar el valor del coeficiente de variación de los principales componentes o del total de sólidos solubles.

El coeficiente de variación de un componente i (CV_i) se define como el cociente de la desviación

estándar (s) entre la media aritmética (X): $CV_i = \frac{s}{X} * 100 \%$

Como esta magnitud se expresa en tanto por ciento, es posible establecer un valor que refleje una variabilidad aceptable de acuerdo al comportamiento de las aguas a lo largo, al menos, de un año hidrológico.

Otras aguas subterráneas también pueden tener un quimismo estable, tal como se ha reportado para las aguas cársicas que circulan a través de sistemas porosos mediante flujos difusos (Shuster y White, 1971). Para diferenciar aguas de diferente tipo, Fagundo et al (1997) han utilizado la desviación estándar y el coeficiente de variación de la mineralización en términos de Total de Sólidos Solubles (TSS), dureza o conductividad eléctrica (CE), así como el contenido de algunos componentes; Cl⁻, SO₄²⁻, H₂S, CO₂, etc.

Desafortunadamente, no todos los sitios estudiados poseen suficientes datos hidroquímicos, correspondientes a muestreos sistemáticos durante uno o más años hidrológicos, por lo que se decidió tomar en cuenta sólo aquellos donde el número de muestras fuera suficientemente representativo. En la tabla VI se presentan los valores del coeficiente de variación del TSS de algunos sitios.

Tabla VI. Indicadores de la variación estacional de la temperatura y de los sólidos solubles totales (TSS) en aguas que drenan carbonatos del intervalo Jurásico-Paleógeno

No	Tipo de agua	N	TSS	CV _{TSS}
1	Freática	39	271	14.0
2	Freática	38	305	13.1
3	Freática	18	438	7.7
4	Mineral	24	489	5.9
5	Mineral	10	500	4.1
6	Mineromedicinal	12	1527	3.6
7	Mineromedicinal	15	1668	1.6
8	Mineromedicinal	11	2120	4.5
9	Mineromedicinal	30	2811	3.2

1) Surgencia Ancón; 2) Resurgencia Canilla; 3) Manantial Mil Cumbres; 4) Pc-1 (San José del Lago); 5) P-1 (San Vicente); 6) El Templado (San Diego de los Baños); 7) P-3 (San Vicente); 8) La Gallina (San Diego de los Baños); 9) Pozo P 1 (San Diego de los Baños).

TSS: valor medio de los sólidos solubles totales (mg/l); C.V.: coeficiente de variación (%).

Del análisis de la tala 6 se concluye que, de las aguas estudiadas, las que poseen un recorrido subterráneo más corto (aguas freáticas, flujos locales), poseen por lo general un coeficiente de correlación del TSS mayor (entre 7.7 y 14 %); las de recorrido mayor y más profundo (aguas mineromedicinales, flujos de carácter más regional), un coeficiente más bajo (entre 1.6 y 4.5 %), mientras que las de recorrido intermedio (aguas minerales de mesa, flujo intermedio); un coeficiente intermedio (entre 4.1 y 5.9 %)

Origen de la composición química del agua

Con el objetivo de explicar el origen de la composición química de las aguas que drenan carbonatos del intervalo Jurásico-Paleógeno, se aplicaron los métodos de balance de masas y mezcla de agua, mediante el sistema informático MODELAGUA (Fagundo Sierra et al, 2001). Los principales procesos hidrogeoquímicos que se toman en cuenta en este algoritmo se muestran en la tabla VII).

En las tablas VIII, IX y X se exponen los resultados de las transferencias de masas correspondientes a procesos geoquímicos originan la composición química (aguas de tipo bicarbonatada cálcicas o cálcicas magnésicas) de flujos locales de corto y mediano recorrido que discurren por la zona vadosa (epikarst) del sistema cársico de los macizos carbonatados (Formaciones Guajaibón, Lucas, Cacarajicara, Artemisa, Charco Redondo, etc). Estos procesos son los siguientes: disolución de calcita y dolomita, y consumo de CO₂ en la zona del suelo, seguidos de disolución de halita, transferencia plagioclasa – caolinita y oxidación, de pirita (Tabla VIII). En los flujos donde el recorrido subterráneo es mayor (flujos intermedios), la transferencia de masa es superior y además se produce H₂S por reducción parcial del sulfato previamente originado por la oxidación de pirita (Tabla IX). Como el proceso de oxidación de pirita va acompañado de la generación de este gas, parte de la calcita disuelta pudiera formarse por consumo de CO₂ de tipo no biogénico.



Tabla VII. Principales procesos geoquímicos que explican el origen de la composición química del agua.

Mineral	Fórmula	PM	Proceso geoquímico y formulación
Halita, Silvita	NaCl, KCl	58.5, 74.5	Disolución – precipitación de halita y silvita $\text{NaCl (s)} = \text{Na}^+ (\text{ac}) + \text{Cl}^- (\text{ac})$ $\text{KCl (s)} = \text{K}^+ (\text{ac}) + \text{Cl}^- (\text{ac})$ Halita Silvita
Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	92	Disolución – precipitación de yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O (s)} = \text{Ca}^{2+} (\text{ac}) + \text{SO}_4^{2-} (\text{ac}) + 2 \text{H}_2\text{O (l)}$ Yeso
Calcita	CaCO_3	100	Disolución – precipitación de calcita $\text{CO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O (l)} + \text{CaCO}_3 (\text{s}) = \text{Ca}^{2+} (\text{ac}) + 2 \text{HCO}_3^{2-} (\text{ac})$ Calcita
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	184	Disolución – precipitación de dolomita $2 \text{CO}_2 (\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O (l)} + \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 (\text{s}) = \text{Ca}^{2+} (\text{ac}) + \text{Mg}^{2+} (\text{ac}) + 4 \text{HCO}_3^{2-} (\text{ac})$ Dolomita
Cuarzo	SiO_2	64	$\text{SiO}_2 (\text{s}) + 2 \text{H}_2\text{O (l)} = \text{H}_4\text{SiO}_4 (\text{ac})$ Cuarzo
Serpentinita	$\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	576	Intemperismo de serpentinita $12 \text{CO}_2 (\text{g}) + 10 \text{H}_2\text{O (l)} + \text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8 (\text{s}) = 6 \text{Mg}^{2+} (\text{ac}) + 4 \text{H}_4\text{SiO}_4 (\text{ac}) + 12 \text{HCO}_3^{2-} (\text{ac})$ Serpentinita
Plagioclasa	$(x \text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + y \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$	274 x + 286 y	Intemperismo de plagioclasas (anortita) $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 (\text{s}) + 2 \text{CO}_2 (\text{g}) + 3 \text{H}_2\text{O (l)} = \text{Ca}^{2+} (\text{ac}) + 2 \text{HCO}_3^{2-} (\text{ac}) + \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 (\text{s})$ Anortita Caolinita
Microclino (feldespato potásico)	KAlSi_3O_8	290	Intemperismo de feldespato potásico (microclino) $2 \text{KAlSi}_3\text{O}_8 (\text{s}) + 2 \text{CO}_2 (\text{g}) + 11 \text{H}_2\text{O (l)} = 2 \text{K}^+ (\text{ac}) + 2 \text{HCO}_3^- (\text{ac}) + 4 \text{H}_4\text{SiO}_4 (\text{l}) + \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 (\text{s})$ Microclino Caolinita
Pirita	FeS_2	120	Oxidación de pirita $2 \text{FeS}_2 (\text{s}) + 7 \text{O}_2 (\text{g}) + 8 \text{HCO}_3^- (\text{ac}) = 2 \text{Fe}(\text{OH})_2 (\text{s}) + 4 \text{SO}_4^{2-} (\text{ac}) + 8 \text{CO}_2 (\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O (l)}$ Pirita Hematita
$\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+$ $\text{Ca}^{2+} - \text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+} - \text{Na}^+\text{R}_2$ $\text{Ca}^{2+} - \text{K}^+\text{R}_2$	40	Intercambio iónico Ca-Na y Ca-K $\text{Ca}^{2+} (\text{ac}) + 2 \text{NaR}_2 (\text{s}) = 2 \text{Na}^+ (\text{ac}) + \text{CaR}_2 (\text{s})$; $\text{Ca}^{2+} (\text{ac}) + 2 \text{KR}_2 (\text{s}) = 2 \text{K}^+ (\text{ac}) + \text{CaR}_2 (\text{s})$ (R = Arcilla, zeolita, carbón u otro material intercambiable)

Las aguas que poseen un recorrido mayor, que además de reaccionar con las calizas, lo hacen con otras litologías (rocas ultrabásicas y esquistos y areniscas), son del tipo bicarbonatada mixtas. El origen de la composición química de estas aguas se muestra en la tabla X. En este caso intervienen procesos hidrogeoquímicos similares a los anteriores, pero además ocurren procesos de intemperismo de serpentinita. En este grupo el aporte de los iones HCO_3^- y Mg^{2+} se debe tanto al proceso de intemperismo de la dolomita como de la serpentinita, lo cual se puede atribuir a la acción de estos flujos sobre los sedimentos carbonatados y las rocas ultrabásicas.

Se debe destacar el comportamiento geoquímico de los flujos de carácter más regional y profundo que, en su recorrido subterráneo drenan calizas de la Fm. Artemisa (principalmente en la zona de alimentación del acuífero), y en profundidad interactúan con sedimentos de la Fm. San Cayetano. Originan aguas de tipos sulfatadas bicarbonatadas cálcicas, sulfatadas cálcicas y sulfatadas cálcicas sódicas. La composición química de estas aguas altamente mineralizadas se puede explicar, al igual que en el caso anterior, mediante procesos de disolución congruente de halita, calcita, dolomita, serpentinita, disolución incongruente de plagioclasas (albita, anortita) y microclino, así como oxidación de pirita y reducción de sulfato.

Otra forma de explicar el origen de la composición química de las correspondientes a los flujos de mayor recorrido subterráneo, es asumiendo la ocurrencia de procesos de mezcla de aguas. Así las aguas de los tipos $\text{HCO}_3\text{-Ca} > \text{Na}$, $\text{SO}_4 > \text{HCO}_3\text{-Ca}$, $\text{SO}_4\text{-Ca} > \text{Na}$, $\text{SO}_4 > \text{HCO}_3\text{-Ca} > \text{Na}$ y las del tipo $\text{SO}_4\text{-Ca}$ con más bajo contenido de minerales disueltos puede explicarse, aplicando modelos de balance de masas y mezcla de aguas, mediante similares procesos previa mezcla de miembros extremos de los tipos $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ y $\text{HCO}_3\text{-Na}$ en diferentes proporciones (Fagundo et al, 2001; 2003).

Tabla VIII. Transferencia de masas (mg/l) originada por disolución o reacción química (+) o por precipitación o consumo (-) en los procesos geoquímicos que tienen lugar mediante procesos de interacción lluvia - roca (flujos locales e intermedios) en carbonatos del intervalo Jurásico-Paleógeno.

Proceso geoquímico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Halita	14.0	15.4	16.0	15.8	17.5	20.5	8.8	7.5	11.9	18.5	21.3	31.2
Calcita	70.5	98.3	125.6	154.4	154.3	131.6	328.7	382.5	182.3	191.6	139.5	177.1
Dolomita	21.2	36.6	32.0	12.9	31.3	61.9	88.0	127.9	45.8	35.9	93.4	73.4
Serpentina	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Plagioclasa	23.3	19.2	14.7	0.0	25.0	0.0	60.8	0.0	10.1	55.4	10.0	44.1
Microclino	2.9	0.1	0.1	0.0	0.1	6.0	1.6	0.0	1.6	0.8	3.8	3.0
Pirita	5.4	5.1	6.3	13.8	3.9	2.4	19.9	65.0	3.6	23.1	35.4	16.1
H_2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9	0.0
CO_2	54.2	63.8	71.5	68.9	88.6	137.1	35.6	-37.8	122.8	99.5	268.0	142.3

1) Aspiro; 2) Resurgencia Canilla; 3) Surgencia Ancón; 4) Sierra de Canastas; 5) M. Mameyes; 6) M. Lucas; 7) M. Los Perdidos; 8) Los Portales; 9) M. La Curra; 10) M. Mil Cumbres NS; 11) Pozo Brocal; 12) M. Cacarajicara NS.

Tabla IX. Transferencia de masas (mg/l) originada por disolución o reacción química (+) o por precipitación o consumo (-) en los procesos geoquímicos que tienen lugar mediante procesos de interacción lluvia - roca (flujos intermedios) en carbonatos del intervalo Jurásico-Paleógeno.

Proceso geoquímico	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Halita	46.8	34.1	26.9	27.4	14.4	28.7	55.6	40.6	32.4	35.1	16.3	79.6
Calcita	67.5	224.6	245.1	148.3	155.5	225.0	39.5	200.5	233.8	264.0	180.7	209.4
Dolomita	182.0	55.0	55.0	33.7	148.6	31.3	211.6	88.8	101.0	116.4	41.1	47.6
Serpentina	0.0	0.0	0.0	95.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.9	71.5
Plagioclasa	0.0	37.2	73.8	126.0	123.3	87.6	0.0	296.7	65.8	265.4	58.4	201.2
Microclino	5.8	1.6	3.0	9.7	3.0	8.7	5.8	13.5	7.5	3.8	1.6	14.9
Pirita	10.5	29.0	27.8	56.9	34.0	60.5	3.1	58.2	36.8	36.5	16.5	21.5
H ₂ S	0.0	0.0	0.0	26.1	10.1	0.0	0.9	8.1	5.4	10.0	1.5	5.9
CO ₂	133.5	131.2	138.1	165.2	354.8	133.1	140.8	150.2	433.3	408.1	183.1	251.7

13) PC-1 San José del Lago; 14) M. San Juan NS; 15) P-3 173 m San Diego de los Baños; 16) B. Soroa; 17) M. San Juan Sulfuroso; 18) PC-10 San Vicente; 19) B. San José del Lago; 20) M. Cacarajicara Sulfuroso; 21) M. Pedernales; 22) M. La Pastora; 23) Pozo Azul; 24) M. Martín Mesa.

Tabla X. Transferencia de masas (mg/l) originada por disolución o reacción química (+) o por precipitación o consumo (-) en los procesos geoquímicos que tienen lugar mediante procesos de interacción lluvia - roca (flujos de carácter más regional y profundo) en carbonatos del intervalo Jurásico-Paleógeno.

Proceso geoquímico	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Halita	110.9	83.1	47.2	21.6	50.0	48.2	46.2	59.2	58.9	24.8	85.9	688.0
Calcita	472.5	395.2	868.8	962.1	1054.1	977.4	1371.5	828.3	1144.2	776.2	414.8	1090.2
Dolomita	239.8	89.3	151.9	218.6	239.5	222.0	311.6	210.8	259.9	176.3	94.2	247.6
Serpentina	0.0	55.9	49.5	33.1	74.6	87.3	116.8	97.9	125.5	22.7	184.0	783.8
Plagioclasa	0.0	586.1	377.6	38.6	314.9	995.4	862.0	838.8	434.4	73.3	978.4	1759.7
Microclino	4.5	32.0	32.8	71.2	29.1	67.0	69.6	58.6	28.1	7.5	72.9	208.8
Pirita	357.6	365.6	505.3	661.4	836.2	956.6	1301.3	909.7	977.5	501.8	538.3	1531.2
H ₂ S	5.0	10.0	18.1	7.6	17.3	31.8	39.7	51.2	24.7	7.9	23.9	0.0
CO ₂	-216.1	-29.3	-132.5	-380.4	-422.2	-382.6	-706.4	-400.0	-514.2	-211.1	10.7	-150.1

25) M. Sal y Cruz; 26) M. Cueva de los Portales; 27) M. El Templado (San Diego de los Baños); 28) B. San Vicente; 29) M. La Gallina (San Diego de los Baños); 30) M. M 1 Bermejales; 31) Pozo P1 profundo (San Diego de los Baños); 32) Pozo P 12; 33) Pozo P 17; 34) Pozo P 19; 35) Pozo P 4 145-195 m; 36) Aguas Claras.

Calizas sedimentarias del macizo cretácico de Las Tunas

Este grupo de muestras de aguas que drenan carbonatos sedimentares del Cretácico fue procesado por separado con relación al anterior, tomando en consideración su alto contenido de cloruro de sodio. En general, una parte de las aguas subterráneas utilizadas para el abasto público y agrícola en la provincia Las Tunas posee en su composición un alto contenido de NaCl disuelto, el cual es adquirido durante la infiltración del agua de lluvia a través de la zona de alimentación, especialmente en la zona del suelo. En la tabla XI se observa, que en experimentos de lavado de suelos de esa provincia con agua destilada, las mismas llegan a tomar, en uno de estos suelos, hasta 80,7 % de Cl⁻ y 57,0 % de Na⁺ en los primeros 25 cm de profundidad.

Tabla XI. Experimentos de laboratorio de lavado de suelos con agua destilada. Municipio Puerto Padre, Las Tunas.

H	Profundidad (cm)	TSS (mg/l)	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	K (meq/l)	Na (meq/l)	Suma (meq/l)	CO ₃ (meq/l)	SO ₄ (meq/l)	Cl (meq/l)	HCO ₃ (meq/l)	Suma (meq/l)
A	0 - 25	17 741	6,12	5,89	0,23	16,24	28,48	0,1	5,33	25,35	0,65	31,43
B	25 - 55	26 266	13,76	10,03	6,28	23,72	53,79	0	19,6	28,75	0,4	48,75
C	55 - 87	25 344	11,39	9,22	0,32	25	45,93	0	17,32	28,2	0,35	45,87

H	Profundidad	% Ca	% Mg	% K	% Na	Suma	% SO ₄	% Cl	% HCO ₃	% CO ₃	Suma
A	0 - 25	21,5	20,7	0,8	57,0	100,0	17,0	80,7	2,1	0,3	100
B	25 - 55	25,6	18,6	11,7	44,1	100,0	40,2	59,0	0,8	0,0	100
C	55 - 87	24,8	20,1	0,7	54,4	100,0	37,8	61,5	0,8	0,0	100

H: Horizonte.

En la tabla XII se muestra la composición química de las fuentes seleccionadas para este estudio, las cuales drenan carbonatos cretácicos en la provincia de Las Tunas. Excepto el pozo P-195, de tipo bicarbonatada cálcica y con bajo TSS, las restantes muestran poseen, por lo general, fecies de tipo bicarbonatadas cloruradas y cloruradas bicarbonatadas sódicas cálcicas magnesianas.

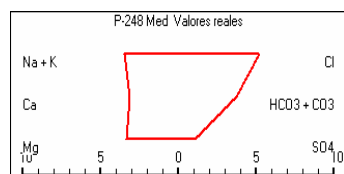
Tabla XII. Composición química media en mg/l de las fuentes seleccionadas de la provincia Las Tunas

No	Pozo	N	T	pH	CO ₂	TSS	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K	Tipo de agua
1	P-195	16	25.0	7.44	25.8	533	232.4	30.5	15.4	92.6	16.0	23.7	HCO ₃ -Ca
2	P-248	60	25.0	7.61	9.1	627	220.2	179.6	49.0	61.2	39	77.5	Cl>HCO ₃ -Na>Mg>Ca
3	Central Jobabo	23	25.0	7.90	23.0	1438	630.1	335.1	52.8	130.4	54.5	229.5	HCO ₃ >Cl-Na>Ca>Mg
4	Quinta Planta	17	25.0	7.83	17.1	1481	533.8	329.1	46.1	135.2	47.4	244.7	HCO ₃ >Cl-Na>Ca
5	Edificio Parque	10	25.0	7.80	19.1	1030	605.7	126.7	34.6	124.0	47.4	47.4	HCO ₃ >Cl-Ca>Na>Mg
6	La Siberia	12	25.0	7.82	27.4	1354	720.4	209.8	73.4	150.4	77.5	121.0	HCO ₃ >Cl-Ca>Mg>Na
7	Circunscrip. 7	11	25.0	7.73	27.7	1968	1008	200.6	214.6	143.8	53.3	345.7	HCO ₃ >Cl-Na>Ca
8	Cab. Colombia	13	25.0	7.54	52.3	1391	808.9	140.9	64.8	132.4	35.6	206.8	HCO ₃ >Cl-Na>Ca

El pozo P-195 posee un patrón hidrogeoquímico típico de una caliza pura (172-181). Las restantes muestran presentan patrones de tipo; 532-471, 532-361 y 532-271 que reflejan el alto contenido de Cl⁻ y Na⁺ (Figura 3). Sin embargo, si a estas muestras se le extrae el contenido del NaCl, se obtienen patrones típicos de las calizas dolomitizadas o de mezcla de caliza y serpentinita (145-181, 154-181, 163-181) o de mezcla de caliza y arenisca (352-181, 532-172).

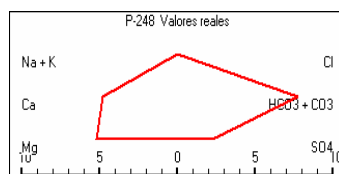
Patrones de valores reales

Patrones de ganancia iónica (extraído el NaCl)

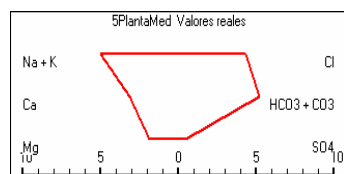


PH: 523-541

Fm. Contramaestre. P-248.

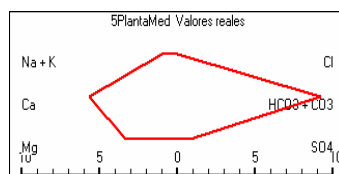


PH: 145-181

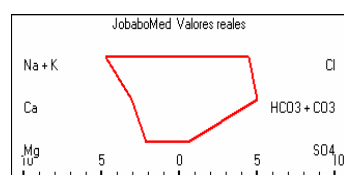


PH: 532-451

Fm. Contramaestre. Quinta Planta.

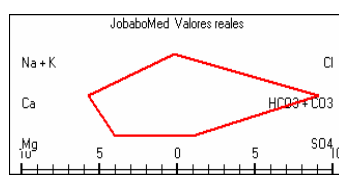


PH: 163-181

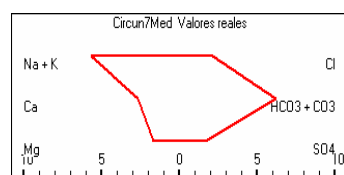


PH: 532-451

Fm. Contramaestre. Central Jobabo.

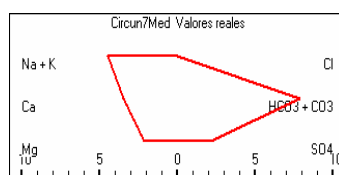


PH: 163-181



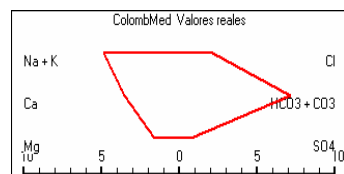
PH: 532-271

Fm. Guaimaro.



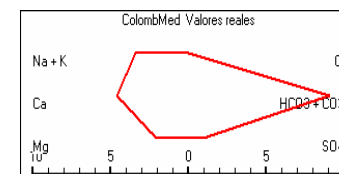
PH: 532-172

Circunscripción 7



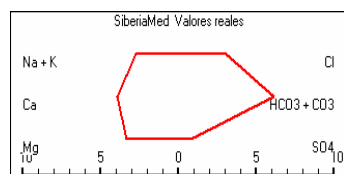
PH: 532-271

Fm. Guaimaro.



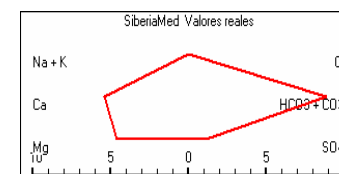
PH: 352-181

Cabecera Colombia



PH: 253-361

Fm. Guaimaro. La Siberia



PH: 154-181

Figura 3. Patrones hidrogeoquímicos reales y extraídos (a los cuales se le eliminó el contenido de NaCl), de las aguas que drenan sedimentos carbonatados del Cretácico con alto contenido de cloruro de sodio en la provincia Las Tunas.

El análisis de regresión y correlación lineal a los datos de los pozos seleccionados de la provincia de Las Tunas, puede realizarse a partir de la matriz de los correspondientes datos hidroquímicos (Tabla XIII).

Tabla XIII. Matriz de correlación de variables. Aguas subterráneas que drenan carbonatos del Jurásico de origen sedimentario. Cuenca hidrogeológica del Cretácico, provincia Las Tunas.

N=162	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	TSS
CO ₃ ⁻	1	0.33	0.55	0.86	0.47	0.82	0.95
Cl ⁻		1	0.17	0.36	0.58	0.65	0.59
SO ₄ ²⁻			1	0.33	0.34	0.64	0.62
Ca ²⁺				1	0.49	0.59	0.81
Mg ²⁺					1	0.40	0.57
a ⁺						1	0.93
SS							1

De los resultados de la tabla XIII se infiere que las mejores correlaciones con el TSS se obtienen con los iones HCO₃⁻, Na⁺ y Ca²⁺, siendo también altamente significativas las relaciones entre estos iones entre sí.

Del análisis de los resultados de las tablas XI y XII y la figura 3, se puede establecer que la evolución de la composición química relativa de las aguas que drenan los carbonatos sedimentarios cretácicos de la provincia Las Tunas, a lo largo de su trayectoria subterránea, sigue principalmente las siguientes secuencias:

a) Aguas que interactúan con calizas, calizas dolomitizadas y serpentinitas:

Cl-Na → HCO₃>Cl- Ca>Mg>Na → HCO₃>Cl-Na>Ca>Mg → HCO₃>Cl-Ca>Na>Mg → Cl>HCO₃-Na>Mg>Ca.

a) Aguas que interactúan con calizas, calcarenitas y areniscas:

Cl-Na → HCO₃>Cl-Na>Ca.

Variación estacional de la composición química

En la tabla XIV se ilustra la variación estacional (en términos de CV_{TSS}) de la composición química de las aguas subterráneas que drenan los carbonatos sedimentarios del Cretácico en la provincia de las Tunas (muestras 1-8), así como una muestra de agua superficial (muestra 9) tomada como referencia comparativa.

Tabla XIV. Indicadores de la variación estacional de los sólidos solubles totales (TSS) en aguas que drenan carbonatos de la Cuenca hidrogeológica del Cretácico. Las Tunas.

No	Tipo de agua	N	TSS	CV _{TSS}
1	Freática	16	537	6.9
2	Freática	60	627	4.1
3	Freática	23	1438	14.3
4	Freática	17	1481	7.4
5	Freática	10	1030	6.1
6	Freática al	12	1354	8.7
7	Freática al	11	1968	7.9
8	Freática al	13	1391	14.5
9	Superficial	147	385	59.6

1) P-195; 2) P-248; 3) Central Jobabo; 4) Quinta Planta; 5) Edificio del Parque; 6) La Siberia; Circunscripción 7; 8) Cabecera Colombia; 9) Presa Cayojo.

7)

En general, las aguas de tipo freáticas, poseen magnitudes de CV_{TSS} que varían entre 4.1 y 14.5 %, del orden de las encontradas anteriormente para este tipo de agua (Tabla VI). En la muestra freática tomada de referencia este estadígrafo posee un valor de 59 %.

Origen de la composición química del agua

En la tabla XV se presentan los resultados del procesamiento mediante un modelo de balance de masas, de los datos hidroquímicos correspondientes a las fuentes de abasto de la provincia las Tunas.

Tabla XV. Transferencia de masas (mg/l) originada por disolución o reacción química (+) o por precipitación o consumo (-) en los procesos geoquímicos que tienen lugar mediante procesos de interacción lluvia - roca con carbonatos del Jurásico de origen sedimentario. Fuentes de aguas minerales y de abasto, Isla de la juventud. Fuentes de abasto de la provincia las Tunas.

Proceso	1	2	3	4	5	6	7	8
Halita	42.0	282.5	565.5	555.0	207.5	207.5	334.3	231.8
Calcita	170.0	-168.0	122.5	127.6	107.5	107.5	52.5	168.0
Dolomita	116.8	335.8	412.2	357.9	357.9	357.9	403.0	267.7
Plagioclasa	0.0	0.0	0.0	395.7	137.5	137.5	2796.7	1489.6
Pirita	9.6	23.4	33.0	28.8	21.6	21.6	134.1	40.5
Ca-Na (Ca)	-12.0	53.0	-9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fc Cl	5.1	28.2	55.5	54.5	21.0	21.0	33.2	23.4

1) P-195; 2) P-248; 3) Central Jobabo; 4) Quinta Planta; 5) Edificio del Parque; 6) La Siberia; 7) Circunscripción 8; Cabecera Colombia.

Como puede apreciarse en la tabla XV, los procesos geoquímicos que en mayor medida aportan a la composición química de las aguas estudiadas en la provincia Las Tunas son calcita y dolomita en P-195 (muestra 1), halita y dolomita (o serpentinita) en las muestras 2-6, y halita y plagioclasa en las muestras 7-8. Estos resultados se corresponden con los de tipo analítico (Tabla XII) y con los patrones hidrogeoquímicos hallados (Figura 3)

Calizas del jurásico de origen metamórfico

En la tabla XVI se presentan los resultados de la caracterización hidroquímica de las aguas minerales y potables que drenan los depósitos carbonatados metamórficos de la Isla de la Juventud.

Las aguas minerales y de abasto público de la Isla de la Juventud están asociadas a las formaciones geológicas, mostradas en la tabla I: Cañada, de edad Jurásico inferior hasta el Jurásico medio ($J_1 - J_2$); Agua Santa, que va desde el Jurásico medio hasta el Jurásico superior. ($J_2 - J_3$) y Gerona, del Jurásico superior hasta el Cretácico (J_3 ox - K). La corteza de intemperismo que cubre a estas secuencias es de edad Neógeno-Cuaternario (Ng - Q) y la conforman los materiales de la secuencia de base erosionados, poco permeables, confiriéndole a los acuíferos características de confinamiento (Leonarte, 2006).

Tal como se aprecia en la tabla XV, las aguas minerales de la Isla de la Juventud son fundamentalmente de tipo bicarbonatadas cálcicas (Santa Rita, Ojitos de Santa Lucía y Ferroso en la Fé), aunque también se presentan facies de tipo bicarbonatadas cálcicas magnésicas (Magnesiana de la Fé y El Rosario en Santa Bárbara) y bicarbonatadas cloruradas cálcicas sódicas (Magnesiana de Gerona), y sus contenidos de iones disueltos medios varían entre 224 y 417 mg/l. Los principales patrones hidrogeoquímicos de estas aguas son: 181-181 y 172-181 (Leonarte y Fagundo, 2005).

Las aguas de abasto público de la cuenca hidrogeológica La Fé, son principalmente de tipo bicarbonatadas cálcicas, seguidas de bicarbonatadas cloruradas cálcicas sódicas y excepcionalmente se presenta una muestra de facies clorurada bicarbonatada cálcica sódica, con contenidos de TSS medios que varían entre 132 y 286 mg/l (Tabla XVI). Estas aguas deben su composición al proceso de interacción agua – roca, y la baja mineralización se explica por la poca solubilidad de los materiales acuíferos drenados, mármoles y esquistos. Los principales patrones hidrogeoquímicos de estas aguas son: 181-181, 172-181, 271-181 y 271-271.

En la cuenca hidrogeológica Gerona, la composición química que adquiere el agua subterránea no sólo está controlada por la interacción agua – roca con similares materiales acuíferos, sino también por los procesos de intrusión marina. Así se presentan facies con poco contenido de cloruro y de minerales disueltos (valores medios entre 126-241 mg/l), principalmente de tipo bicarbonatadas cálcicas magnésicas, sino también aguas con mayor mineralización (valores medios entre 353-1061 mg/l), de los tipos $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{Ca} > \text{Na}$ y $\text{Cl} > \text{Na} > \text{Ca}$. Los principales patrones hidrogeoquímicos (Figura 4) de estas aguas de baja mineralización (126-286 mg/l) son: 271-361 (aguas bicarbonatadas cloruradas cálcicas y cálcicas sódicas), 271-361 (aguas bicarbonatadas cálcicas), 172-181 (aguas bicarbonatadas cálcicas magnésicas); mientras que para las aguas de mediana y alta mineralización (353-1061 mg/l) afectadas por la intrusión salina, los patrones hidrogeoquímicos más típicos varían entre: 271-361 en las aguas menos salinizadas hasta 541-721 en las aguas con mayor contenido de cloruro de sodio.

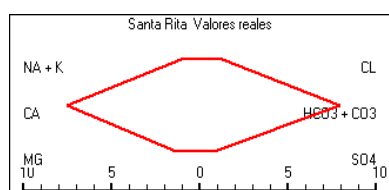
En la figura 4 se muestran algunos patrones hidrogeoquímicos típicos de las aguas mineromedicinales de La Fé y de aguas de abasto público de las cuencas hidrogeológicas de La Fé y Gerona y su relación con la litología.

Tabla XVI Composición química de las aguas minerales de la Isla de la Juventud. Valores medios en mg/l.

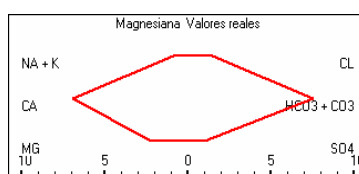
N	Pozo	N	T	pH	CO ₂	SiO ₂	TSS	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	Tipo de agua
1	Rosario	1	39.4	7.00	16.9	13.5	224	134.6	22.0	11.4	34.2	8.6	13	0.6	HCO ₃ -Ca>Mg
2	Santa Rita	3	32.0	6.70	40.9	11.5	241	150.1	14.9	14.9	47.9	5.2	7.7	0.4	HCO ₃ -Ca
3	Ojitos SL	2	29.5	6.80	38.6	10.3	282	173.9	17.7	19.2	55.9	4.7	10.4	0.6	HCO ₃ -Ca
4	Ferroso	2	28.0	6.60	63.3	19.0	298	177.0	22.7	20.2	59.7	5.1	13.1	0.7	HCO ₃ -Ca
5	Magnes Fé	2	29.0	6.80	40.2	12.2	299	180.6	20.6	25.0	56.7	6.1	9.4	0.5	HCO ₃ -Ca>Mg
6	Magnes G	1	27.0	7.50	9.0	19.4	417	204.0	81.2	12.0	82.4	6.0	30.0	1.2	HCO ₃ >Cl-Ca>Na
7	F-99	13	25	6.51	31.6		130	57.8	21.8	12.2	21.5	12.8	2.8	0.4	HCO ₃ >Cl-Ca>Na
8	F-119	14	25	6.4	36.3		132	56.0	22.9	13.8	21.4	3.8	13.9	0.3	HCO ₃ >Cl-Ca>Na
9	F-15	38	25	7.05	26.2		185	118.8	12.1	8.3	35.2	4.9	6.1	0.0	HCO ₃ -Ca
10	F-94	68	25	7.05	23.3		198	124.4	15.0	8.5	36.9	4.6	8.9	0.0	HCO ₃ -Ca
11	F-34	69	25	7.09	31.2		209	131.8	16.1	7.2	40.2	3.9	9.6	0.2	HCO ₃ -Ca
12	F-40	38	25	7.34	15.4		219	134.7	20.3	6.9	41.9	4.7	9.8	0.2	HCO ₃ -Ca
13	F-19	85	25	6.82	54.7		221	139.7	15.9	8.7	43.5	4.0	9.0	0.0	HCO ₃ -Ca
14	F-112	11	25	7.02	31.5		229	140.6	16.8	13.1	39.9	5.9	12.1	0.2	HCO ₃ -Ca
15	F-25	98	25	6.82	50.6		235	148.1	16.3	11.3	45.3	5.3	8.0	0.8	HCO ₃ -Ca
16	F-85	54	25	6.98	29.9		255	160.0	17.4	12.9	51.2	4.1	9.6	0.2	HCO ₃ -Ca
17	F-52	55	25	7.09	36.6		265	157.8	26.7	11.4	48.2	5.3	15.3	0.3	HCO ₃ >Cl-Ca>Na
18	F-84	11	25	7.49	12.4		275	186.5	13.8	5.2	56.1	4.6	8.6	0.0	HCO ₃ -Ca
19	F-62	57	25	6.88	47.1		295	177.2	22.0	19.3	59.8	4.4	12.0	0.2	HCO ₃ -Ca
20	F-20	85	25	6.59	93.6		356	185.7	35.2	39.1	68.9	5.1	20.0	1.7	HCO ₃ >Cl-Ca>Na
21	F-86	25	25	6.98	40.0		365	211.5	37.5	19.6	65.2	7.5	23.5	0.5	HCO ₃ >Cl-Ca>Na
22	F-102	6	25	6.99	22.4		393	149.1	109.5	16.5	62.1	11.0	44.3	0.9	Cl>HCO ₃ -Ca>Na
23	G-57	32	25	6.89	18.2		126	71.1	17.4	3.3	21.3	3.3	9.1	0.0	HCO ₃ >Cl-Ca>Na

24	G-59	43	25	6.87	24.2		149	86.6	19.3	3.1	26.7	3.5	9.4	0.3	HCO ₃ >Cl-Ca>Na
25	G-30	30	25	7.01	22.9		170	112.5	12.6	3.5	26.1	7.6	2.2	0.2	HCO ₃ -Ca>Mg
26	G-17	31	25	6.95	26.5		203	129.3	15.3	6.4	38.5	4.3	8.6	0.3	HCO ₃ -Ca
27	G-28	49	25	6.97	31.7		239	141.8	29.3	4.7	43.4	5.7	13.7	0.3	HCO ₃ >Cl-Ca
28	G-77	56	25	7.26	17.0		241	159.5	16.4	5.6	40.2	8.5	10.5	0.0	HCO ₃ -Ca>Mg
29	G-38	75	25	7.03	29.7		286	131	22.0	57.0	51.4	7.5	17.0	0.0	HCO ₃ >SO ₄ -Ca
30	G-50	91	25	6.81	60.8		339	169.9	60.2	13.4	69.4	6.3	19.2	0.6	HCO ₃ >Cl-Ca
31	G-87	59	25	6.96	27.8		353	138.7	95.4	12.4	55.8	7.2	42.4	0.9	Cl>HCO ₃ -Ca>Na
32	G-63	30	25	6.99	34.4		394	148.2	111.8	14.5	52.5	10.9	55.8	1.7	Cl>HCO ₃ -Ca>Na
33	G-92	33	25	6.94	45.0		422	220.7	80.7	12.9	88.3	6.4	31.5	0.6	HCO ₃ >Cl-Ca
34	G-78	101	25	7.02	27.8		496	175.3	148.4	21.2	71.9	12.2	65.9	1.3	Cl>HCO ₃ -Ca>Na
35	G-34	110	25	6.76	91.8		540	275	99.5	10.8	92.7	10.3	50.7	1.0	HCO ₃ >Cl-Ca>Na
36	G-19	90	25	7.01	30.5		562	143.7	209.3	28.2	60.1	15.3	103.0	2.5	Cl>HCO ₃ -Na>Ca
37	G-61	23	25	7.17	15.4		627	141.8	248.1	34.0	69.6	18.9	111.6	3.5	Cl>HCO ₃ -Na>Ca
38	G-130	7	25	7.21	16.6		675	203.2	234.6	26.8	107.3	17.4	82.9	2.6	Cl>HCO ₃ -Ca>Na
39	G-13	72	25	6.99	40.8		682	228.2	269.3	32.7	9.4	17.1	121.3	3.7	Cl>HCO ₃ -Na
40	G-72	49	25	6.63	222.3		686	321.7	145.7	16.9	115.8	12.8	71.9	1.5	HCO ₃ >Cl-Ca>Na
41	G-127	19	25	7.28	15.2		777	205.2	285.8	40.0	110.3	21.6	120.5	3.5	Cl>HCO ₃ -Ca>Na
42	G-102	44	25	7.01	30.6		1013	192.8	392.6	51.0	145.7	16.0	208.2	6.4	Cl>HCO ₃ -Ca>Na
43	G-48A	15	25	7.13	13.4		1061	170.0	478.1	57.0	116.7	31.8	201.0	6.2	Cl-Na>Ca

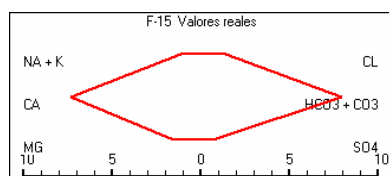
1-M. Rosario (Santa Bárbara); 2- M. Santa Rita (La Fé); 3- M. Ojitos de Santa Lucía (La Fé); 4- M. Ferroso (La Fé); 5- M. Magnésiano (La Fé); 6- M. La Magnésiana (Gerona); 7-22: Fuentes de abasto de la cuenca hidrogeológica La Fé; 23-43: Fuentes de abasto de la cuenca hidrogeológica Gerona.



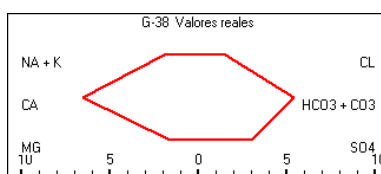
PH: 181-181 (HCO₃-Ca)



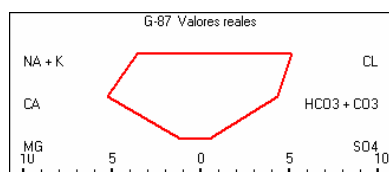
PH: 172-181 (HCO₃-Ca>Mg)



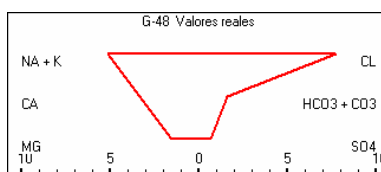
PH: 181-181 (HCO₃-Ca)



PH: 271-253 (HCO₃>SO₄-Ca)



PH: 451-541 (Cl>HCO₃-Na>Ca)



PH: 532-811 (Cl-Na>Ca)

Figura 4. Patrones hidrogeoquímicos de las aguas subterráneas que drenan esquistos y mármoles.

Con el objetivo de interpretar la tendencia evolutiva de las aguas de estudiadas, se procesaron por separado, mediante modelos de regresión y correlación lineal, los datos correspondientes a las aguas minerales y las aguas de abasto público de las cuencas hidrogeológicas de La Fé y Gerona. Los resultados de este procesamiento se resumen en las matrices de correlación que se muestran en las tablas XVII, XVIII y XIX respectivamente.

Tabla XVII. Matriz de correlación de variables. Aguas minerales que drenan carbonatos del Jurásico de origen metamórfico. Isla de la juventud.

N=13	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	TSS
HCO ₃ ⁻	1	0.40	0.13	0.80	0.18	0.27	0.66
Cl ⁻		1	0.64	0.81	0.44	0.98	0.95
SO ₄ ²⁻			1	0.34	0.56	0.65	0.63
Ca ²⁺				1	0.33	0.72	0.91
Mg ²⁺					1	0.43	0.42
Na ⁺						1	0.89
TSS							1

Tabla XVIII. Matriz de correlación de variables. Aguas subterráneas que drenan carbonatos del Jurásico de origen metamórfico. Cuenca hidrogeológica La Fé, Isla de la juventud.

N=727	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	TSS
HCO ₃ ⁻	1	0.41	0.56	0.92	0.34	0.50	0.92
Cl ⁻		1	0.53	0.57	0.45	0.90	0.69
SO ₄ ²⁻			1	0.74	0.25	0.68	0.78
Ca ²⁺				1	0.22	0.63	0.96
Mg ²⁺					1	0.42	0.40
Na ⁺						1	0.76
TSS							1

Tabla XIX. Matriz de correlación de variables. Aguas subterráneas que drenan carbonatos del Jurásico de origen metamórfico. Cuenca hidrogeológica Gerona. Isla de la juventud.

N=1059	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	TSS
HCO ₃ ⁻	1	0.28	0.03	0.54	0.27	0.28	0.56
Cl ⁻		1	0.61	0.49	0.82	0.98	0.95
SO ₄ ²⁻			1	0.31	0.55	0.63	0.60
Ca ²⁺				1	0.31	0.49	0.59
Mg ²⁺					1	0.80	0.79
Na ⁺						1	0.93
TSS							1

A partir de la información que presentan las tablas XVI, XVII, XVIII y XIX, se puede inferir que la tendencia evolutiva de las aguas que drenan los mármoles y esquistos de la Isla de la Juventud es aproximadamente:

HCO₃-Ca (Ca>Mg) → HCO₃>Cl-Ca>Na → Cl>HCO₃-Na>Ca. → Cl-Na>Ca

El hecho de que algunos pozos en la cuenca hidrogeológica de Gerona, adquieren un relativamente alto grado de cloruro de sodio como consecuencia de la intrusión salina debe ser objeto de atención, teniendo en cuenta que este fenómeno se presenta en cualquier tipo de acuífero costeros abiertos e islas oceánicas (Post, 2005). Esto es particularmente grave en los lugares en que las precipitaciones

son escasas, aunque también debe ser objeto de control en zonas tropicales de alta precipitación, en las que los acuíferos están sometidos a un uso intensivo.

Variación temporal de la composición química del agua

En la tabla XX se presentan los resultados del cálculo de los coeficientes de variación del TSS de las aguas subterráneas de las cuencas hidrogeológicas de La Fé y Gerona estudiadas en este trabajo. Se excluyen las aguas minerales por no poseer un número suficiente de datos para el procesamiento estadístico.

Tabla XX Coeficientes de variación del TSS y tipo de agua de las fuentes de abasto público de las cuencas hidrogeológicas de La Fé y Gerona.

Cuenca hidrogeológica La Fé

Pozo	Tipo de agua	CV _{TSS}
F-19	HCO ₃ -Ca	3.1
F-34	HCO ₃ -Ca	3.5
F-40	HCO ₃ -Ca	4.6
F-84	HCO ₃ -Ca	5.4
F-94	HCO ₃ -Ca	5.9
F-85	HCO ₃ -Ca	6.1
F-62	HCO ₃ -Ca	6.8
F-25	HCO ₃ -Ca	8.8
F-15	HCO ₃ -Ca	9.6
F-112	HCO ₃ -Ca	12.8
F-52	HCO ₃ >Cl-Ca>Na	4.3
F-99	HCO ₃ >Cl-Ca>Na	10.0
F-119	HCO ₃ >Cl-Ca>Na	10.5
F-20	HCO ₃ >Cl-Ca>Na	13.6
F-86	HCO ₃ >Cl-Ca>Na	20.3
F-102	Cl>HCO ₃ -Ca>Na	15.9

Cuenca hidrogeológica Gerona

Pozo	Tipo de agua	CV _{TSS}
G-30	HCO ₃ -Ca>Mg	2.3
G-77	HCO ₃ -Ca>Mg	3.6
G-17	HCO ₃ -Ca	4.2
G-38	HCO ₃ >SO ₄ -Ca	7.3
G-28	HCO ₃ >Cl-Ca	5.8
G-50	HCO ₃ >Cl-Ca	11.5
G-92	HCO ₃ >Cl-Ca	15.2
G-72	HCO ₃ >Cl-Ca>Na	9.4
G-34	HCO ₃ >Cl-Ca>Na	11.5
G-59	HCO ₃ >Cl-Ca>Na	20.8
G-57	HCO ₃ >Cl-Ca>Na	33.7
G-130	Cl>HCO ₃ -Ca>Na	13.4
G-63	Cl>HCO ₃ -Ca>Na	21.9
G-78	Cl>HCO ₃ -Ca>Na	28.2
G-87	Cl>HCO ₃ -Ca>Na	34.6
G-102	Cl>HCO ₃ -Ca>Na	30.1
G-127	Cl>HCO ₃ -Ca>Na	47.2
G-19	Cl>HCO ₃ -Na>Ca	7.6
G-61	Cl>HCO ₃ -Na>Ca	9.6
G-13	Cl>HCO ₃ -Na	20.2
G-48A	Cl-Na>Ca	19.7

Del análisis de la tabla XX se deduce que existe un grupo numeroso de pozos, cuyas aguas poseen una composición química relativamente estable (valores del CV_{TSS} por lo general entre 3.1 y 9.6 %), originadas en mediante procesos de interacción agua – roca, cuya composición relativa es principalmente de tipo: HCO₃-Ca, HCO₃-Ca>Mg y HCO₃>SO₄-Ca. Las aguas que poseen en su composición relativamente altos contenidos de Cl⁻ y Na⁺, como consecuencia principal de la intrusión salina, presentan mayormente valores de CV_{TSS} superiores a 10 %. La composición de esta agua corresponde a las facies hidroquímicas: HCO₃>Cl-Ca, HCO₃>Cl-Ca>Na, Cl>HCO₃-Ca>Na, Cl>HCO₃-Na y Cl-Na>Ca.

Las aguas cuya composición presentan una menor fluctuación estacional (menores valores de CV_{TSS}) están más representadas en la cuenca La Fé que en la cuenca Gerona. Por el contrario, en la cuenca Gerona, son más abundantes las aguas con mayores valores de CV_{TSS}.

Origen de la composición química del agua

Aplicando el sistema informático MODELAGUA (Fagundo Sierra et al, 2001) a los datos hidroquímicos de la Isla de la Juventud, se determinaron los procesos geoquímicos que explican el origen de la composición química de estas aguas. Los datos fueron separados en dos grupos, el primero constituido por las aguas cuya composición se adquiere del proceso de interacción agua – roca (aguas minerales y aguas subterráneas potables de las cuencas hidrogeológica La Fé y Gerona con bajo contenido de cloruro), y el segundo por el grupo de aguas que poseían un alto contenido de cloruro, aportado presumible por la intrusión marina (fuentes afectadas por la intrusión salina en la cuenca hidrogeológica Gerona). Los resultados del procesamiento se presentan en las tablas XXI y XXII.

Tabla XXI. Transferencia de masas (mg/l) originada por disolución o reacción química (+) o por precipitación o consumo (-) en los procesos geoquímicos que tienen lugar mediante procesos de interacción lluvia - roca con carbonatos del Jurásico de origen metamórfico. Fuentes de aguas minerales y de abasto, Isla de la juventud.

Proceso geoquímico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Halita	14.6	21.6	38.0	23.4	58.5	24.6	31.9	15.2	48.6	19.3	26.9
Calcita	88.0	109.5	93.5	78.5	131.0	87.0	63.0	68.5	145.0	31.5	100.5
Dolomita	32.4	23.4	38.7	73.8	73.8	55.8	27.0	28.8	32.4	18.9	50.4
Pirita	7.5	6.6	6.9	11.1	11.1	6.3	5.1	5.4	24.3	2.1	35.7
Na-Ca (Ca^{2+})	3.1	3.6	2.4	6.5	6.5	6.5	2.9	1.9	2.4	3.4	-1.9
CO_2	85.8	122.1	74.8	73.0	73.0	36.5	60.1	74.8	136.6	35.6	44.4

1) M. Santa Rita (La Fé); 2) M. Hierro (La Fé); 3) M. Ojitos de Santa Lucía (La Fé); 4) M. Magnesio (La Fé); 5) M. Magnesio (Gerona); 6) M. Rosario (Santa Bárbara); 7) Pozo F-15 (La Fé); 8) Pozo F-94; 9) Pozo F-20 (La Fé); 10) Pozo G-57 (Gerona), 11) Pozo G-38 (Gerona);.

Tabla XXII. Transferencia de masas (mg/l) originada por disolución o reacción química (+) o por precipitación o consumo (-) en los procesos geoquímicos que tienen lugar mediante procesos de interacción lluvia - roca con carbonatos del Jurásico de origen metamórfico. Fuentes de abasto afectadas por la intrusión marina, Isla de la juventud.

Proceso geoquímico	12	13	14	15	16	17
% de mezcla con agua de mar	0.2	0.4	0.4	1.0	1.2	2.2
Halita	0	10.0	1.3	9.1	25.3	62.1
Calcita	62.5	18.3	134.3	24.2	-141.6	51.1
Dolomita	115.0	-4.8	-0.4	-5.2	-8.6	-5.8
Sulfato	0	-2.6	-4.5	-2.6	-1.4	-2.1
Na-Ca (Ca^{2+})	13.0	8.9	1.9	8.1	22.3	56.7
CO_2	49.4	7.6	77.4	11.9	155.7	1.8

Pozos de la cuenca hidrogeológica Gerona: 12) G-50; 13) G-87; 14) G-34; 15) G-19; 16) G-13; 17) G-48 A.

Como puede apreciarse en la tabla XXI, tanto las aguas minerales como las de abasto público, de poca mineralización y contenido de cloruro (Tabla XVI), adquieren su composición química, principalmente, mediante proceso de disolución de halita, calcita y dolomita, oxidación de pirita e intercambio iónico directo.

Las aguas de abasto afectadas por la intrusión marina en la cuenca Gerona, con mezcla con agua marina entre 0.2 y 2.2 % (Tabla XXII), adquieren su composición, además del aporte iónico del agua

de mar, mediante procesos geoquímicas de disolución de calcita, dolomitización, reducción anaeróbica de sulfato e intercambio iónico inverso.

CONCLUSIONES

Las principales facies hidroquímicas presentes en las aguas subterráneas que drenan carbonatos sedimentarios del intervalo Jurásico-Paleógeno, en cuencas no costeras, son: bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas cálcico magnésicas, bicarbonatadas mixtas y sulfatadas cálcicas, evolucionando con respecto a los aniones en el sentido: $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$. Los cationes presentes dependen del tipo de roca drenada a lo largo del recorrido del agua: las calizas aportan principalmente Ca^{2+} y Mg^{2+} (cuando están dolomitizadas); los esquistos y areniscas, Na^+ , y las serpentinitas, Mg^{2+} . Cuando las aguas en su recorrido interactúan con varias litologías, poseen una composición mixta de cationes. Las facies bicarbonatadas están relacionadas con los flujos de carácter más local o intermedio, mientras que las facies sulfatadas corresponden a los flujos de carácter más regional y profundo que interactúan con piritas. En general la concentración tanto de macro como micro constituyentes se incrementa en la dirección del flujo, con el mayor tiempo de contacto agua-roca. Las aguas más profundas y de mayor recorrido se caracterizan por presentar una mayor y más estable temperatura, mayor contenido de gases (H_2S , CO_2) y minerales disueltos (TSS), y de algunos componentes minoritarios (SiO_2 , F, Sr, Li, As, etc), existiendo correlaciones matemáticas altamente significativas entre SiO_2 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , CaCO_3 y TSS. En las aguas de menor recorrido subterráneo las mejores correlaciones se presentan entre HCO_3^- , Ca^{2+} , CaCO_3 y TSS.

Los principales procesos geoquímicos que explican la composición química de estas aguas son: disolución congruente de halita, yeso, calcita, dolomita y serpentinita; disolución incongruente de plagioclasa; oxidación de pirita; reducción de sulfato, generación o escape de CO_2 y disolución o precipitación de sílice; así como por mezcla de aguas en diferentes proporciones.

Las aguas subterráneas que en su composición presentan alto contenido de NaCl, debido a que su recorrido adquieren una gran salinidad durante su infiltración por la zona de alimentación del acuífero, especialmente con suelos salinos, se caracterizan por presentar un alto contenido de minerales disueltos y su composición sigue los siguientes caminos evolutivos: $\text{Cl-Na} \rightarrow \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} \rightarrow \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} \rightarrow \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} \rightarrow \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca}$ (en presencia de calizas dolomitizadas o serpentinitas); $\text{Cl-Na} \rightarrow \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Na} > \text{Ca}$ (en presencia de calizas, calcarenitas y areniscas). En el origen de la composición química de esta agua dominan los procesos geoquímicos de disolución de halita, calcita dolomita (o serpentinita) y plagioclasa.

En las cuencas litorales las facies principales son bicarbonatadas cloruradas cálcicas sódicas o sódicas cálcicas en dependencia del grado de mezcla del agua dulce con el agua de mar. Con respecto a los aniones, evolucionan según: $\text{HCO}_3^- > \text{Ca} > \text{Mg} \rightarrow \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Ca} > \text{Na} \rightarrow \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{Na} > \text{Ca} \rightarrow \text{Cl}^- > \text{Na} > \text{Ca}$. En dirección a la costa las aguas tienden a incrementar su contenido de Cl^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ y TSS, presentándose, por lo general correlaciones altamente significativas entre estos componentes. La dureza del agua suele ser mucho más alta en comparación con las aguas procedentes de las cuencas interiores como resultado del efecto salino.

En los acuíferos cársicos desarrollados en cuencas interiores, los principales procesos que explican la composición química del agua son: disolución de calcita y dolomita, oxidación de piritas e intercambio iónico directo.

En los acuíferos cársicos litorales la composición química del agua se explica mediante procesos geoquímicos de disolución o precipitación de calcita y dolomita, dolomitización, oxidación de pirita, intercambio iónico directo e inverso y reducción anaeróbica de sulfato.

Las aguas correspondientes a los flujos de mayor recorrido subterráneo, que drenan carbonatos del intervalo Jurásico-Paleógeno, constituidos por calizas, dolomitas y mármoles, de poco caudal, suelen

ser útiles para uso terapéutico (aguas mineromedicinales de la Isla de la Juventud, San Vicente, San Diego de los Baños, Soroa, San José del Lago y otras); las que drenan este tipo de depósitos, pero poseen un recorrido menor (flujos de carácter intermedio), son útiles como aguas de mesa embotellada o para abasto público a pequeñas comunidades. Las aguas de más corto recorrido subterráneo, correspondientes a flujos de carácter más local, generalmente de mayor caudal, se suelen utilizar para el abasto público o con fines agrícolas, aunque en zonas costeras es necesario vigilar la explotación del acuífero para lograr un agua de calidad deseable, debido a los procesos de intrusión marina.

BIBLIOGRAFÍA

- Academia de Ciencias de Cuba, 1989. Mapa Geológico de Cuba Escala 1: 250 000. Instituto de Geología y Paleontología. Edición: Instituto de Geología de la Academia de ciencias de la URSS.
- APHA – AWWA – WPCF., 1992. Métodos Normalizados para el análisis de Aguas Potables y Aguas Residuales, Am. Public Assoc., Edición 17th. Editorial, Madrid: Grijalbo, 4-1 – 4-235 p.
- Appelo C.A.J., D. Postma, 1993. Geochemistry, Groundwater and Pollution. Rotterdam, Netherlands: Ed. Balkema, 536 p.
- Armijo-Valenzuela, M. y J. San Martín, 1994. Clasificación de las aguas mineromedicinales. En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia, Madrid: Ed. Complutense, 219-223 p.
- Ergorov, S.V. y J.R. Luge, 1967. Hidrogeología de Cuba. La Habana: Ed. INRH, ICRM, 84 p.
- Fagundo, J.R., 1990. Evolución química y relaciones empíricas en aguas naturales. I- Estudio mediante simulación química del efecto de la litología. Voluntad Hidráulica, 82: 28-37.
- Fagundo, J.R., J.E. Rodríguez, V. Ferrera, P. González, 1997. Geoquímica de acuíferos cársicos de la Sierra del Rosario, Pinar del Río, Cuba. En: Investigaciones Hidrogeológicas en Cuba. Editores: D.M. Arellano, M.A. Gómez, I. Antigüedad. Bilbao, España, Edición: Universidad del País Vasco, 135-149 p.
- Fagundo, J.R., 1996. Química del Agua Kárstica. En: Hidroquímica del Karst. Editores: J.R. Fagundo, J.J. Valdés y J.E. Rodríguez. España: Ediciones Osuna, Universidad de Granada, 14-119 p.
- Fagundo, J.R., 1998. Patrones hidrogeoquímicos y relaciones matemáticas en aguas naturales. Ingeniería Hidráulica, 19 (2): 62-78.
- Fagundo J.R., P. González, M. Suárez Muñoz, J. Fagundo-Sierra, C. Melián, E. Alvarez, 2005 a. HIDROGEOQUIM. En: Contribución a la Educación y Protección Ambiental, La Habana, Edición: ISCTN, 6: Q 58-67.
- Fagundo, J.R.; J.J. Carrillo-Rivera; I. Antigüedad; P. González; R. Peláez; M. Suárez; C. Melián; R. Hernández, D. Cáceres, 2005 b. Caracterización hidrogeoquímica del sistema de flujo local-regional de la Sierra del Rosario (Cuba). Revista Latino-Americana de Hidrogeología, 5: 75-90.
- Fagundo-Sierra, J., J.R. Fagundo, P. González, M. Suárez, 2001. Modelación de las aguas naturales. En: Contribución a la Educación y la Protección Ambiental, La Habana, Edición: ISCTN, 2, 8 p.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A., 1980. Groundwater, Englewood, Cliffs, New York: Ed. Prentice-Hall, 604 p.
- González, P., M. Suárez, G. Benítez, J. Ramírez, J.R. Fagundo, 2000. Caracterización de aguas minerales de algunos yacimientos del país. En: Le Monde du Thermalisme. Paris (Francia) : Ed. L' Organisation Mondiale du Thermalisme (O.M.Th), 14-15 p.
- 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. En: Contribución a la Educación y la Protección Ambiental, La Habana, Edición: ISCTN, 2, 7 p.
- Giménez, E., 1994. Caracterización hidrogeoquímica de los procesos de salinización en el acuífero detrítico costero de la Plana de Castellón. Tesis Doctoral, Universidad de Castellón, España: 469 p.
- Gutiérrez, R., 1995. Condiciones geológicas del desarrollo diferenciado de la carsificación en la cordillera de Guaniguanico, Cuba Occidental. En: El Karst y los Acuíferos Kársticos. A. Pulido-Bosch, J.R. Fagundo, J.E. Rodríguez (editores). Edición: Universidad de Granada, 11- 26 p.
- Leonarte, T., J.R. Facundo, 2005. Calidad de las aguas subterráneas de Gerona y la Fe. En: Contribución a la Educación y la Protección Ambiental, La Habana, Edición: ISCTN, 6: Q 45-58 p.
- Leonarte, T., 2006. Calidad de las Aguas Subterráneas de Gerona y La Fé. Tesis de Maestría en Análisis y Tecnología Ambiental. Nueva Gerona, Isla de la Juventud, 91 p.
- N.C. 93-02, 1985. Norma Cubana de Agua Potable. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, Cuba, 8 p.
- N.C-2, 1996. Norma Cubana de Aguas de Bebida Envasada. Especificaciones. La Habana, Cuba, 5 p.

- N.C. 93-01-218, 1995. Norma Cubana de Agua Mineral. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, Cuba, 8 p.
- Peláez, R., Ma. C. Alvares, R. Nuñez, M. Valdivia, 1990. Informe para la búsqueda detallada. Exploración orientativa de las aguas minero-medicinales de San Diego de los Baños. Empresa Geólogo Minera de Pinar del Río.
- Peláez, R., A. Reyes y R. Núñez, 1991. Informe de exploración orientativo de las aguas minero-medicinales y peloides de San Vicente, Viñales, Pinar del Río, Empresa Geólogo Minera de Pinar del Río.
- Post, V.E.A., 2005. Fresh and saline groundwater interaction in coastal aquifers: Is our technology ready for the problems ahead. *Hydrogeology Journal*, 13 (1): 120-123.
- Pulina, M., J.R. Fagundo, 1992. Tropical karst and chemical denudation of Western Cuba. *Geographia Polonica* (Warsow), 60: 195-216.
- Rodríguez, M., V., Ruiz, A., Álvarez y R. Ching, 1989. Informe Búsqueda y exploración orientativa de aguas minero-medicinales de San José del Lago. Expedición Geológica Villa Clara.
- Rodríguez, J.E., J.R. Fagundo, F. Cutié, C. Cruz, E. Franco, 1989. Hidrología cársica del macizo del Pan de Guajaibón, Sierra del Rosario, Pinar del Río, Cuba, durante el año hidrológico Noviembre de 1984-Octubre de 1985. Monografía. La Habana, Editorial Academia, 60 p.
- Rodríguez, M., R. Ching, S. Borroto, 1990. Informe búsqueda y exploración agua mineromedicinales de San José del Lago (aguas mineromedicinales de mesa) MINBAS, Unión de Empresa Geológica, Expedición Geológica Villa Clara.
- Rodríguez, J.E., J.R. Fagundo, K. Spassov, 1991. Caracterización hidrológica e hidroquímica del carso de la meseta del Guaso (Guantánamo, Cuba). *Lapiáz Monografía II*, Valencia, 3-21.
- Tyc, A., 1992. Action actuelle des processus karstiques dans le karst polygonal du Pan de Guajaibón. En: *Karst et évolutions Climatiques*. J.N. Salomon et R. Maire (editores), Universidad de Bordeaux, Francia, 135-144 p.
- Shuster, E.T. and White, W.B., 1971. Seasonal fluctuation in chemistry of limestone spring: a possible mean for characterizing carbonate aquifers. *J. Hydrology*, 14: 93 -128.
- Tóth, J., 2000. Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones. *Boletín Geológico Minero*, Madrid: 111 (4), 9-25.
- Trelles, F., 1948. Análisis de algunas de las aguas minero-medicinales cubanas estudiadas por este Instituto. *Archivos del Instituto de Hidrología, Climatología Médicas*, Año 2 (2): 171-184.
- Valdés, A.J. e I. García, 1993. Evaluación de fuentes tradicionales de aguas minerales en la provincia Ciudad de La Habana con vistas a su rescate para la explotación. Expedición Geológica Habana - Matanzas, Unión de Geología. MINBAS.
- Wu, Y., 2003. Mechanism analysis of hazards caused by the interaction between groundwater and geo - environment. *Environmental Geology*, Springer-Verlag: 44 (7): 811 - 819.



HIDROGEOQUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA REGIÓN OCCIDENTAL DE LA CUENCA DEL LAGO DE MARACAIBO, VENEZUELA

Ramón Luis Montero Mudarra⁽¹⁾, Carlos E. Yáñez⁽¹⁾ y Ramón Redondo⁽²⁾

(1) Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Los Chaguaramos, Apartado Postal 3895, Caracas 1010-A, Venezuela. Correo electrónico: rmontero@ciens.ucv.ve; cyanes@strix.ciens.ucv.ve

(2) Laboratorio de Isótopos Estables. SIDI, Facultad de Ciencias, C-9, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid, España. Correo electrónico: ramon.redondo@uam.es

RESUMEN

En la región occidental de la Cuenca del Lago de Maracaibo en Venezuela, fueron hidrogeoquímicamente evaluadas 111 muestras de aguas, que incluyen 105 de aguas subterráneas, dos de aguas del lago, dos de río y dos de manantiales, a fin de determinar los factores y procesos que controlan su composición química. Durante las campañas de muestreo, fueron medidos los parámetros fisicoquímicos pH, conductividad y Eh. Esta fase incluyó la determinación del HCO_3^- por titulación potenciométrica, en el transcurso de las 24 horas desde el momento de la toma de la muestra. En el laboratorio fueron determinadas las especies químicas Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y SiO_2 (sílice disuelta), por espectroscopia de emisión atómica con fuentes de plasma de acoplamiento inductivo (ICP); y Cl^- , F^- , SO_4^{2-} , NO_3^- por cromatografía iónica (CI).

Los resultados obtenidos permitieron identificar tres facies hidrogeoquímicas: $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$, $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$ y $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$. Existen una dependencia entre la topografía y el tiempo de residencia con las facies hidrogeoquímicas, así la facies $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ está ubicada a nivel de piedemonte, con bajo tiempo de residencia, y las facies $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$ y $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$ asociadas a la planicie de la cuenca, están en las áreas de baja pendiente y son consideradas de alto tiempo de residencia. Los procesos que controlan la presencia de las facies hidrogeoquímicas, son la mezcla de aguas meteóricas con aguas fósiles o connatas, hidrólisis de silicatos y aluminosilicatos, intercambio iónico, disolución y precipitación de calcita y óxido reducción; mientras que los factores son: relieve, litología, clima, tiempo de residencia y las actividades antrópicas.

ABSTRACT

A hydrogeochemical study was carry on at the Lago de Maracaibo Basin, in Venezuela, in order to evaluate the factors and processes that control their chemical composition. Water samples, including groundwater (105), lake (2), river (2), and spring (2) samples were taken. During the field sampling, the physicochemical parameters pH, electrical conductivity (EC), and Eh were measured. Also HCO_3^- was made by potentiometric titration. Then, at the laboratory, the chemical species Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , and SiO_2 were measured by spectroscopy of atomic emission with inductive couple plasma (ICP). On the other hand, the anions Cl^- , F^- , SO_4^{2-} , NO_3^- by ionic chromatography (IC) were determined. The results allowed to identify three hydrogeochemical facies: $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$, $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$, and $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$. The topography and the residence time are very closed with the hydrogeochemical facies, therefore the $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ facies are located at the higher areas, with low time of residence, while at topographical flat areas $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$ and $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$ facies dominate, and are considered of high residence time. The processes that control the presence of the hydrogeochemical facies are the meteoric water mixing with fossil or connate waters, silicate and aluminosilicates minerals hydrolysis, ionic exchange, dissolution and precipitation of calcite and oxide reduction; whereas the factors are: relief, rock type, climate, residence time, and the anthropogenic activities.

INTRODUCCIÓN

El agua dulce de los ríos y lagos es el recurso natural más extensamente aprovechado por la sociedad desde tiempos remotos. Sin embargo, en décadas recientes se ha incrementado el consumo de agua del subsuelo como consecuencia del paulatino deterioro de las fuentes de agua

superficial. El agua subterránea es, en muchos casos, la fuente primaria de agua para consumo humano, así como también para las actividades agrícolas, pecuarias e industriales. También grandes volúmenes de agua son requeridos como demanda secundaria en labores de jardinería y actividades recreacionales (Demirel y Güler, 2006).

La variabilidad composicional de las aguas subterráneas es predominantemente el resultado de reacciones químicas entre el agua infiltrada y el medio poroso, acompañado a su vez por cambios en el transporte físico del material durante su recorrido a través del sustrato penetrado y por un conjunto de complejos procesos físicos, químicos y biológicos que actúan en el sistema acuífero (Ettazarini, 2004; Panagopoulos et al., 2004; Yamanaka et al., 2005). Los procesos geoquímicos que ocurren durante la interacción entre el agua subterránea y los minerales que conforman a la unidad acuífera, tienen una profunda influencia sobre la calidad del agua (Rajmohan y Elango, 2004). Estos procesos están a su vez afectados por la composición del agua de recarga, y por factores tales como el ambiente geológico que incluye las relaciones estratigráficas y las estructuras geológicas, así como por el clima, la litología, la geomorfología y el tiempo de residencia (Rajmohan y Elango, 2004; Grassi y Cortecci, 2005; Izbicki et al., 2005; Van der Hoven et al., 2005; Tarits et al., 2006; Rao, 2006).

Otro de los factores que controlan la acumulación y composición de las aguas subterráneas es la actividad tectónica. Su importancia radica en que durante eventos orogénicos ocurre no sólo el levantamiento de grandes cordilleras montañosas, sino también la formación de cuencas sedimentarias, las cuales posteriormente pueden formar importantes reservorios de hidrocarburos y de agua subterránea en las áreas intramontanas (Hidalgo y Cruz-Sanjulián, 2001; Van der Hoven et al., 2005). Asimismo, las actividades antrópicas tienen un impacto considerable sobre la condición final del agua. De este modo, los solutos pueden ser directamente incorporados al agua subterránea a través de la infiltración de las aguas servidas de origen doméstico, de desechos industriales, de rellenos sanitarios, de actividades agropecuarias, por derrame de hidrocarburos, por escape de gasolina desde tanques de almacenamiento y por sobreexplotación de pozos (Custodio y Llamas, 1976; Hem, 1985; Domenico y Schwartz, 1990; Diaz et al., 2000; Elhatip et al., 2003; Rodríguez y Candela, 2004; Böhlke et al., 2007).

La historia geológica de Venezuela ha estado caracterizada por un alto dinamismo, asociado a los más importantes períodos orogénicos ocurridos tanto a nivel mundial como regional (Villamil, 1999). Esto trajo como consecuencia, la formación de una diversidad de acuíferos, asociados a una amplia variedad de ambientes geológicos en todo el territorio nacional, especialmente con grandes y pequeñas cuencas sedimentarias. Una de las regiones con alto potencial de reserva en agua subterránea es la Cuenca del Lago de Maracaibo; sin embargo, los estudios hidrogeoquímicos que permitan entender el origen de los solutos en las mismas, están poco desarrollados. Debido a ello, el presente estudio tiene como objetivo principal, identificar cuales son las facies hidrogeoquímicas que dominan en la región occidental de la mencionada cuenca, así como los procesos y factores que controlan la composición química de las aguas subterráneas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la zona de estudio

La zona de estudio está ubicada en la región occidental Cuenca del Lago de Maracaibo, al noroeste de Venezuela (Fig. 1). González de Juana et al. (1980) realizó una descripción de los rasgos fisiográficos y geomorfológicos en dicha cuenca, citada a continuación: la Cuenca del Lago de Maracaibo está emplazada sobre un amplio territorio limitado por un conjunto de sistemas montañosos, dentro de los que destacan la Sierra de Perijá al oeste, la Cordillera de los Andes al sureste y por la estribaciones de la Serranía de Trujillo al este. El marco lo completa el sistema de la falla de Oca en el norte, la cual aparentemente separa esta cuenca de la del Golfo de Venezuela. En

el interior de la cuenca está la fosa de hundimiento, ocupada por el Lago de Maracaibo y las amplias planicies aluviales que convergen en él. Esto determina, desde el punto de vista topográfico, un espacio muy homogéneo, aunque geomorfológicamente variado.

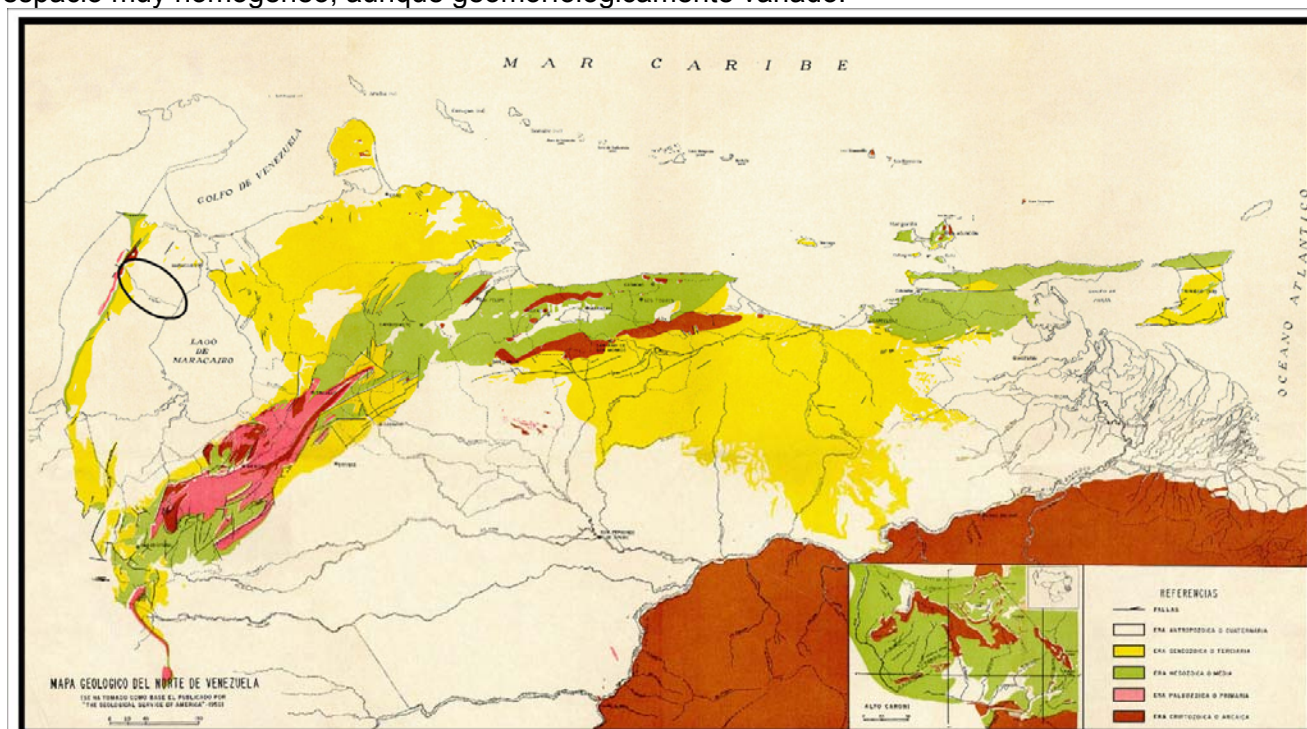


Figura 1.-Mapa que muestra la ubicación de la Cuenca del Lago de Maracaibo, y dentro de ésta limitada por el óvalo, la zona donde fueron captadas las muestras de aguas subterráneas (Modificado de CECPV, 2005).

Las características climatológicas de la cuenca está dominada por el régimen de los vientos alisios, que soplan regularmente del noreste, entre noviembre y abril, incidiendo en las dos fases estacionales observadas, a saber: la estación lluviosa de mayo a noviembre y la estación seca de diciembre a abril; asimismo, los valores de temperatura máximo y mínimo son típicos de una región tropical de poca altura y cercana a un cuerpo de agua (Rodríguez, 1973).

La historia geológica reciente de toda la depresión de la Cuenca del Lago de Maracaibo ha estado sujeta al relleno progresivo y continuado de sedimentos en casi toda su extensión, de aproximadamente 4800 metros. Esto ha sido producto del levantamiento, plegamiento y erosión activa de las cordilleras circundantes, durante finales del Eoceno y principios del Oligoceno, y por la poca capacidad de arrastre del detritus al caer en las aguas del lago a través del tiempo geológico (Rodríguez, 1973; CECPV, 2005). Localmente, la zona de estudio es geológicamente contrastante tanto en edad como en litología, en la Sierra de Perijá afloran rocas metamórficas e ígneas de edad Precámbrica y Paleozoica, y rocas sedimentarias del Paleozoico, Jurásico, Cretácico y Terciario (González de Juana et al., 1980; CECPV, 2005). Por su parte, casi toda la cobertura de la planicie del lago son terrenos originados en el Cuaternario, representando al límite Plioceno-Pleistoceno, ejemplificado por la sedimentación de las formaciones El Milagro y Onia, en general conformadas por arenas friables, finas a gruesas, inter-estratificadas con arcillas arenosas y fragmentos de troncos de madera silicificados, lentes lateríticos, limolitas abigarradas y capas delgadas calcáreas muy localizadas (Tahal Ingenieros, 1970; González de Juana et al., 1980; Borjas y Guerrero, 1984; CECPV, 2005).

Desde el punto de vista hidrogeológico, las formaciones El Milagro y Onia constituyen las unidades reservorios de agua subterránea, particularmente en la región occidental de la cuenca. Estas formaciones conforman el acuífero de Maracaibo-El Palmar que cubre un área superficial de unos 2250 km² y un espesor que va desde 10 a los 120 m. Dicho acuífero está constituido por areniscas friables con grano fino a muy grueso, grava fina, limo y arcilla, y mezclas de todos ellos, formando capas, lentes, cuñas y bancos irregulares (Tahal Ingenieros, 1970; Borjas y Guerrero, 1984). Por otro lado, la región occidental es una de las zonas económicamente más importantes de Venezuela, ya que en ella son desarrolladas una serie de actividades asociadas a la agricultura, la ganadería, con la exploración y explotación de hidrocarburos, así como también con la extracción de minerales no metálicos como el carbón (Maraven, 1987).

Metodología

La metodología seguida en este estudio involucró la realización de dos etapas de trabajo, a saber: campo y laboratorio.

Trabajo de campo

Esta fase estuvo referida al proceso de captación de 111 muestras de aguas en la región occidental, incluyendo dos del lago de Maracaibo, dos del río El Palmar y dos manantiales. Para ello, fueron realizadas tres campañas de muestreo, que permitieron realizar la medida simultánea de los parámetros fisicoquímicos pH, conductividad y Eh. Este último parámetro fue incluido en la tercera visita a la zona de interés. Las muestras de agua fueron envasadas y preservadas de acuerdo a las especies químicas de interés, atendiendo a las metodologías recomendadas por la EPA (1983) y por la APHA (2000). Para el caso de los iones alcalinos y alcalinotérreos Na⁺, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ y la sílice disuelta (SiO₂), las muestras fueron filtradas a través de membranas de filtros con un tamaño nominal de poro de 0,45 µm, y almacenadas en botellas de polietileno de 1 L de capacidad, posteriormente acidificadas con HNO₃ bidestilado, hasta obtener un pH < 2. Mientras que, para la determinación de los aniones Cl⁻, F⁻, SO₄²⁻ y NO₃⁻, las muestras fueron vertidas en frascos de polietileno de 0,5 L, seguidamente preservadas a aproximadamente 5 °C. Por otro lado, la concentración de HCO₃⁻ fue determinada en el transcurso de las 24 después de captar la muestra de agua, mediante titulación ácida usando un potenciómetro para medir los cambios en los valores de pH (Wood, 1976; EPA, 1983).

Trabajo de laboratorio

Las muestras de aguas fueron trasladadas al laboratorio para su posterior análisis según las especies químicas de interés, mediante la aplicación de las metodologías y técnicas señaladas a continuación: la determinación de las especies químicas Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y Si, fue realizada por espectroscopia de emisión atómica con fuentes de plasma de acoplamiento inductivo (ICP); asimismo, las concentraciones de las especies iónicas Cl⁻, F⁻, SO₄²⁻ y NO₃⁻, fueron simultáneamente determinadas mediante inyección directa de las muestras de aguas a un cromatógrafo iónico. Los análisis químicos fueron validados mediante el cálculo del balance iónico, mostrando valores que no superaron el 10%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos a partir del análisis químico de las muestras de aguas, fueron usados para identificar las principales facies hidrogeoquímicas presentes en la región occidental de la Cuenca del Lago de Maracaibo, así como para conocer cuales son los procesos y factores geoquímicos que controlan la presencia de las mismas.

Facies hidrogeoquímicas

Los cambios químicos de las aguas subterráneas en la región occidental de la Cuenca del Lago de Maracaibo, generaron la formación de zonas hidrogeoquímicas en las diferentes partes del sistema

LEYENDA

LITOLOGÍA

- Cuaternario-Cenozoico
- Cuaternario -Cenozoico
- Cuaternario-Cenozoico
- Cuaternario-Cenozoico
- Cuaternario-Cenozoico
- Cuaternario-Cenozoico
- Cuaternario-Cenozoico
- Cuaternario-Cenozoico
- Cuaternario-Cenozoico
- Mesozoico
- Mesozoico
- Mesozoico
- Mesozoico
- Paleozoico-Mesozoico
- Paleozoico
- Paleozoico
- Paleozoico
- Paleozoico
- Paleozoico
- Paleozoico
- Paleozoico
- Precambrio

FALLAS

- Falla
- Falla Normal
- Falla de Corrimiento

RIOS Y LAGOS

Tipos de Aguas

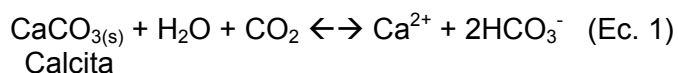
- Ca+2- Cl-
- Na+- Cl-
- Ca2+-HCO3-
- Na+-HCO3-

Guo y Wang (2004) señalan que la meteorización geoquímica de minerales carbonáticos y la hidrólisis de aluminosilicatos, controlan la composición química de las aguas de recarga. El agua meteórica infiltrada contiene una cantidad importante de CO_2 disuelto, lo que facilita la incorporación de HCO_3^- al interactuar con los minerales presentes en los suelos, perfil de meteorización o en el acuífero, generando aguas de la facies $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$. Esta facies es característica de aguas subterráneas con bajo tiempo de residencia (Drever, 1988; Guo y Wang, 2004; Grassi y Cortecchi, 2005).

Por su parte, Custodio y Llamas (1976), Guo y Wang (2004) y Yamanaka et al. (2005) señalan que durante el proceso de evolución geoquímica pueden formarse aguas de la facies $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$, por procesos de intercambio iónico y por disolución de silicatos y aluminosilicatos. Mientras que, Pulido-Lebouef (2004) apunta que la facies $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$ son originadas debido a la presencia de aguas de origen marino, acumuladas durante eventos geológicos; sin embargo Drever (1988), Adams et al. (2001), Guo y Wang (2004) y Grassi y Cortecchi (2005) indican que esta facies puede también ser formada por la disolución de sales acumuladas en la superficie bajo condiciones de fuerte evaporación, posteriormente lixiviadas al subsuelo durante los períodos de recarga. En términos generales, y dependiendo del proceso asociado, Custodio y Llamas (1976), Guo y Wang (2004) y Grassi y Cortecchi (2005) resaltan que estas facies están generalmente ubicadas en áreas de baja pendiente con alto tiempo de residencia.

Procesos hidrogeoquímicos

La meteorización geoquímica de minerales carbonáticos, silicatos y aluminosilicatos de las rocas presentes en la región, es uno de los más importantes procesos que controlan la concentración de solutos en las aguas subterráneas. Particularmente para la facies $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ identificada a nivel de piedemonte, fue construida la gráfica de Ca^{2+} frente al HCO_3^- (figura 3a), obteniéndose una excelente correlación entre ambos iones y una pendiente ($0,42 \pm 0,05$) muy cercana a la reportada para aguas interaccionando con calcita. A nivel del piedemonte de la Sierra de Perijá, González de Juana et al. (1980) han reportado litologías que contienen minerales carbonáticos, ya sea en forma de rocas calcáreas, vetas o formando parte del cemento de las mismas. La reacción que describe este proceso, es mostrada en la ecuación 1.



Asimismo, la distribución espacial de las facies hidrogeoquímicas identificadas en la planicie del lago, permiten sugerir que el Ca^{2+} y el Mg^{2+} aportado a las aguas subterráneas a través de la hidrólisis de rocas calcáreas y de silicatos y aluminosilicatos, pueden ser reemplazados por el Na^+ proveniente de una fuente distinta a la disolución de halita (NaCl), tal como la meteorización de silicatos o del intercambio catiónico. Este proceso puede ser visualizado a través de la elaboración de la correlación en meq/L de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$ como una función de $\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-$ (figura 3b). Obsérvese la presencia de dos grupos de muestras: uno cuya pendiente de $-1,01 \pm 0,05$ indica que al menos todo el Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} están participando en el proceso de intercambio catiónico; mientras que el segundo grupo cuya pendiente es significativamente distinta de la unidad ($-0,70 \pm 0,04$), corresponde con aguas de la facies $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$, lo que permite señalar que esta facies pudiera ser originada por la presencia de aguas fósiles de origen marino o por la disolución de sales depositadas en la superficie (Grassi y Cortecchi, 2005).

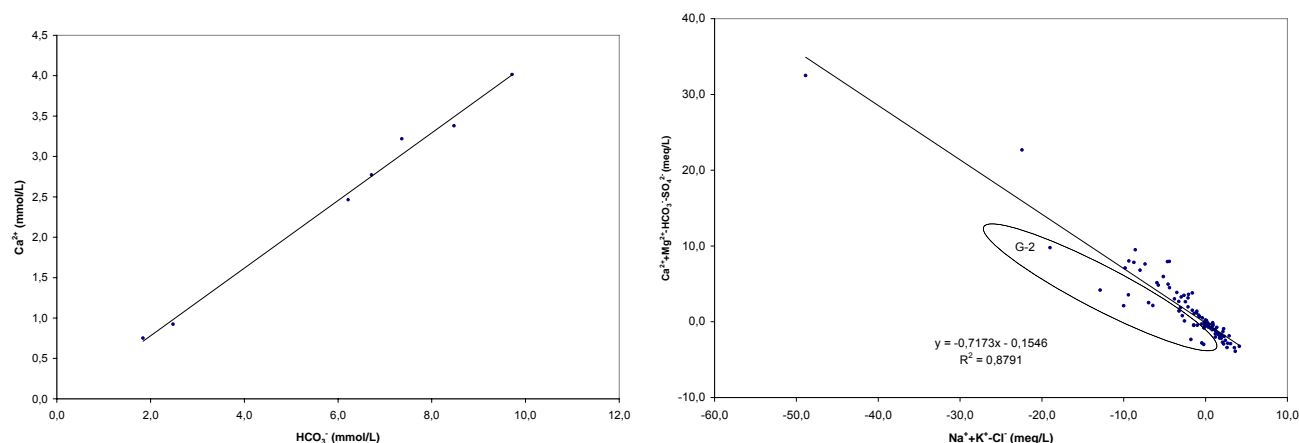
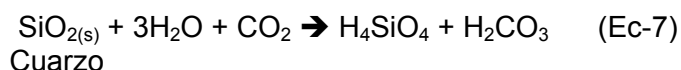
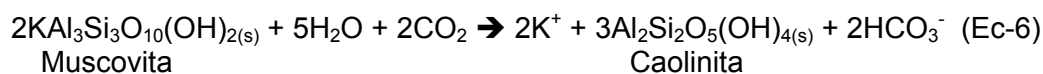
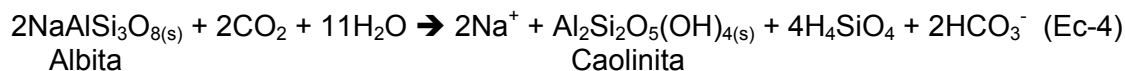
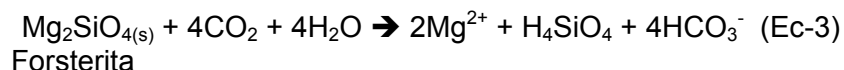
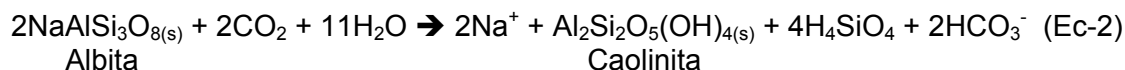


Figura 3.-a) Relación molar del Ca^{2+} frente al HCO_3^- para las aguas de la facies $\text{Ca}^{2+}-\text{HCO}_3^-$; b) relación en meq/L entre $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}+\text{HCO}_3^-+\text{SO}_4^{2-}$ y $\text{Na}^++\text{K}^+-\text{Cl}^-$ para las aguas subterráneas de la región occidental.

La hidrólisis de silicatos y de aluminosilicatos es uno de los procesos responsables de la puesta en solución de especies iónicas como K^+ , Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . Guo y Wang (2004) señalan que una manera de valorar el grado de interacción agua roca, es mediante el uso de los diagramas de estabilidad mineral de los silicatos; igualmente resaltan que aunque estos diagramas fueron originalmente diseñados para el estudio de fluidos hidrotermales, trabajos recientes realizados sobre aguas subterráneas someras han demostrado su aplicabilidad para sistemas a bajas temperaturas.

En ese sentido, las aguas subterráneas y superficiales muestreadas en la región occidental de la Cuenca del Lago de Maracaibo fueron graficadas en el diagrama de estabilidad que representa el $\log[\text{Na}]/[\text{H}]$ frente a $\log[\text{H}_4\text{SiO}_4]$ (figura 4). Puede observarse como las muestras caen en el campo de la caolinita y de la albita, sugiriendo que en general, la meteorización geoquímica de silicatos y aluminosilicatos controlan la presencia de iones alcalinos y alcalinotérreos y de la sílice disuelta. González de Juana et al. (1980) y CECPV (2005) señalan la presencia a nivel de la Sierra de Perijá y en su piedemonte, de rocas que contienen minerales como cuarzo, ortosa, microclino, plagioclasa y ferromagnesianos; mientras que en la planicie han sido identificados minerales como plagioclasa, cuarzo, caolinita y moscovita, así mismo existen niveles lateríticos ricos en óxidos de Fe. El proceso de disolución de dichos minerales puede ser representado mediante las siguientes reacciones:



Por otro lado, la proyección de las concentraciones en milimoles-litros del Na^+ frente al Cl^- mostrada en la figura 5, generó una gráfica con un alto coeficiente de correlación ($r^2=0,92$), cuyo comportamiento es descrito mediante la ecuación matemática: $Y = 0,64 \pm 0,07X + 1 \pm 1$. Grassi y Cortecchi (2005) reportan una relación molar para estas especies de 0,56 para aguas de origen marino que han sido sometidas a procesos de evaporación atmosférica, lo que lleva a concluir que una alta proporción de las muestras de esta facies puede tener ese origen; es decir son aguas connatas, posiblemente sometidas a evaporación atmosférica antes de su acumulación y confinamiento en la cuenca sedimentaria.

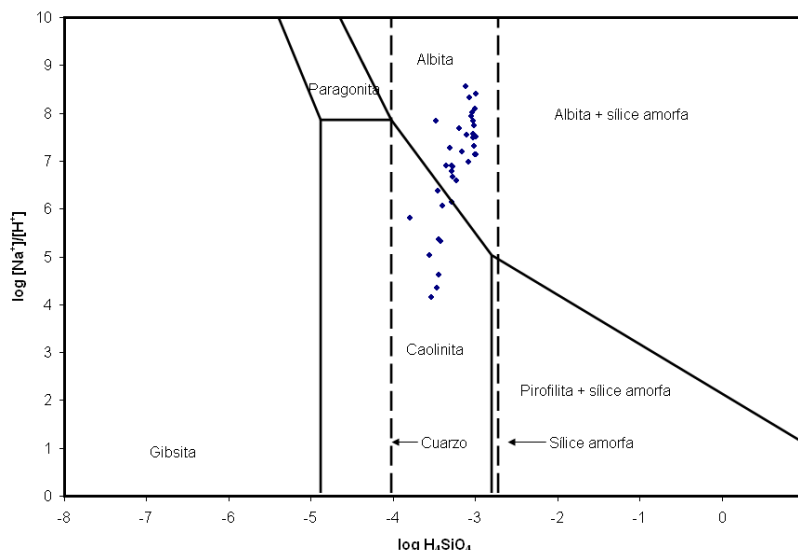


Figura 4.-Diagrama de estabilidad para las actividades del sistema $\text{Na}^+ - \text{H}^+ - \text{SiO}_2$ para las aguas subterráneas tipo $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$, de la región occidental de la Cuenca del Lago de Maracaibo.

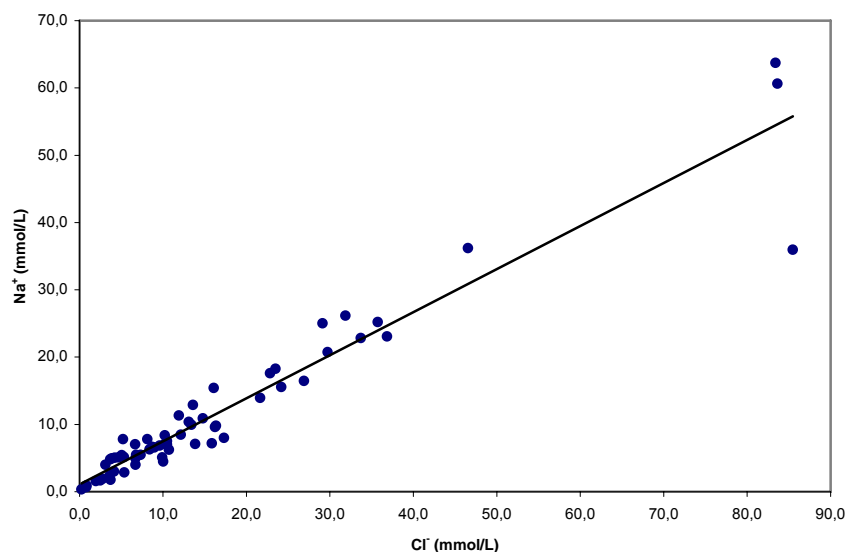


Figura 5.-Relación molar de Na^+ y Cl^- para las aguas tipo $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$, pertenecientes a la región occidental de la Cuenca del Lago de Maracaibo.

Finalmente, las mayores concentraciones del NO_3^- y F^- están espacialmente ubicadas hacia el sur del río El Palmar, donde además, existen los mayores valores de Eh, altas conductividades y bajas

concentraciones de SO_4^{2-} . Elhatip et al. (2203), Jin et al. (2004), Gardner y Vogel (2005) y Tarits et al. (2006) señalan que la lixiviación de NO_3^- hacia las aguas subterráneas, ocurre durante los trabajos agropecuarios, así como por el vertido de aguas servidas. En ese sentido, las altas concentraciones de NO_3^- observadas en este estudio pudieran estar asociadas a las actividades agropecuarias realizadas en la zona. Asimismo, la relación inversa entre la concentración de NO_3^- y el Eh, indican la ocurrencia de un proceso de desnitrificación del agua acompañada del aumento de SO_4^{2-} (Tarits et al., 2006), debido a las condiciones reductoras imperantes. Por otro lado, de acuerdo a Jin et al. (2004), aguas con valores superiores a 10 mg/L son consideradas como tóxicas, lo que permite apuntar hacia la existencia de aguas contaminadas en la región bajo estudio.

CONCLUSIONES

En el occidente de la Cuenca del Lago de Maracaibo, están presentes tres facies hidrogeoquímicas: $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$, $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$ y $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$. Regionalmente, los procesos hidrogeoquímicos que controlan la presencia de estas facies son el intercambio catiónico, mezcla de aguas connatas con aguas meteóricas, precipitación y disolución de calcita, hidrólisis de silicatos y de aluminosilicatos y reacciones redox; mientras que los factores son el relieve, la litología, el clima, el tiempo de residencia y las actividades antrópicas a través de la sobreexplotación de pozos que conllevan a la penetración de aguas del lago a nivel costero. Asimismo, existen áreas donde las aguas subterráneas están contaminadas con NO_3^- y F^- , como consecuencia de actividades antrópicas tales como la ganadería, la agricultura y de la probable influencia de aguas servidas sobre los acuíferos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de desarrollo Científico y Humanístico (CDCH) de la UCV, cuyo financiamiento otorgado a través del Proyecto de Grupo N° 03.30.4811.2000, fue factor fundamental en el desarrollo de cada una de las fases del presente trabajo de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, S., Titus, R., Pietersen, K., Tredoux, G., and Harris, C., 2001. Hydrogeochemical characteristics of aquifer near Sutherland in the Western Karoo, South Africa. *Journal of Hydrology*, 241: 91-103.
- American Public Health Association (APHA). Standard Methods for Examination of Water and Waste Water, 2000. Washington, 20th Edition, 920 p.
- Böhlke, J.K., Verstraeten, and Kraemer, T.F., 2007. Effects of surface-water irrigation on sources, fluxes, and residence times of water, nitrate, and uranium in an alluvial aquifer. *Applied Geochemistry*, 22: 152-174.
- Borjas, O. y Guerrero, L.C., 1984. Estudio hidrogeológico de la planicie occidental del Lago de Maracaibo, Edo. Zulia. Ministerio de Agricultura y Cría. Unidad Estatal del Desarrollo Agrícola, 32 p.
- Código Estratigráfico de las Cuencas Petroleras de Venezuela (CECPV), 2005. Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA). Internet: <http://www.pdv.com/lexico>
- Custodio, E. y Llamas, M. R., 1976. Hidrología subterránea. Ediciones Omega, S. A., Tomos I y II: 2290 p.
- Demirel, Z., and Güler, C., 2006. Hydrogeochemical evolution of groundwater in a Mediterranean coastal aquifer, Mersin-Erdemli basin (Turkey). *Environmental Geology*, 49: 477-487.
- Diaz, M., Navarro, A., Aderete, E., Paumier, V., Rodríguez, M., and Quintana, G., 2000. Evaluation of an hydrocarbons spill in a storage facility. 7th Latin-American Congress on Organic Geochemistry. New Perspectives on Organic Geochemistry for the Third Millennium, Proceedings, Iguazu-Brazil, CD version.
- Domenico, P. A., y Schwartz, F. W., 1990. Physical and chemical hidrogeology. Jhon Wiley and sons, Inc. 824 p.
- Drever, J.Y., 1988. The geochemistry of natural water. Prentice Hall. Second Edition, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 437 p.
- Elhatip, H., Afsin, M., Kuscu, I., Dirik, K., Kumac, Y., Kavumaci, M., 2003. Influences of human activities and agricultura on groundwater quality of Kayseri-Incesu-Dokuzpinar springs, central Anatolian part of Turkey, *Environmental Geology*, 44: 490-494.

- Environmental Protection Agency (EPA), 1983. Methods for chemical analysis of water and wastes.
- Ettazarini, S., 2004. Incidences of water-rock interaction on natural resources characters, Oum Er-Rabia Basin (Morocco). *Environmental Geology*, 47: 60-75.
- Gardner, K.K., and Vogel, R.M., 2005. Predicting ground water nitrate concentration from land use. *Ground Water*, 43, 3: 343-352.
- González de J. C., Iturralde de A., J. Ma y Picard, X., 1980. *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*. Ediciones Foninves, Tomos I y II: 1031 p.
- Grassi, S., and Cortecchi, G., 2005. Hydrogeology and geochemistry of multilayered confined aquifer of the Pisa plain (Tuscany-central Italy). *Applied Geochemistry*, 20: 41-54.
- Guo, H., and Wang, Y., 2004. Hydrogeochemical processes in shallow quaternary aquifers from the northern part of the Datong Basin, China. *Applied Geochemistry*, 19: 19-27.
- Hem, J. D., 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254, 3^{ra} Edition, 263 p.
- Hidalgo, M.C., and Cruz-Sanjulián, J., 2001. Groundwater composition, hydrochemical evolution and mass transfer in a regional detrital aquifer (Baza basin, southern Spain). *Applied Geochemistry*, 16: 745-758.
- Izbicki, J.A., Christensen, A.H., Newhouse, M.W., and Aiken, G.R., 2005. Inorganic, isotopic, and organic composition of high-chloride water from wells in a coastal southern California aquifer. *Applied Geochemistry*, 20: 1496-1517.
- Jin, Z., Chen, Y., Wang, F., and Oruga, N., 2004. Detection of nitrate sources in urban groundwater by isotopic and chemical indicators, Hangzhou City, China. *Environmental Geology*, 45: 1017-1024.
- Maraven, 1987. Serie estudios regionales sistemas ambientales venezolanos. 2 Región Zuliana, Edo. Zulia. Ediciones Maraven, 100 p.
- Panagopoulos, G., Lambrakis, N., Tsois-Katagas, D., and Papoulis, D., 2004. Cation exchange processes and human activities in unconfined aquifers. *Environmental Geology*, 46: 542-552.
- Pulido-Leboeuf, P., 2004. Seawater intrusion and associated processes in a small coastal complex aquifer (Castell de Ferro, Spain). *Applied Geochemistry*, 19: 1517-1527.
- Rajmohan, N., and Elango, L., 2004. Identification and evolution of hydrogeochemical processes in the groundwater environment in an area of the Palar and Cheyyar River Basins, Southern India. *Environmental Geology*, 46: 47-61.
- Rao, N.S., 2006. Seasonal variation of groundwater quality in a part of Guntur District, Andhra Pradesh, India. *Environmental Geology*, 49: 413-429.
- Rodríguez, G., 1973. El sistema de Maracaibo, biología y ambiente. IVIC 73, Editora San José, 395 p.
- Rodríguez, R., and Candela, L., 2004. Changes in groundwater chemistry due to metallurgical activities in an alluvial aquifer in the Moa area (Cuba). *Environmental Geology*, 46: 71-82.
- Tahal Ingenieros Consultores de Venezuela, S.A., 1970. Estudio para el desarrollo de los recursos de aguas subterráneas en las regiones de Valencia, Barquisimeto, Coro, Pedregal, Maracaibo: Volumen V, Región de Maracaibo, Informe. Instituto Nacional de Obras Sanitarias.
- Tarits, C., Aquilina, L., Ayraud, V., Pauwels, H., P. Davy, Touchard, F., and Tour, O., 2006. Oxido-reduction sequence related to flux variations of groundwater from a fractured basement aquifer (Ploemeur area, France). *Applied Geochemistry*, 21: 29-47.
- Van der Hoven, S.J., Solomon, D.K., and Moline, G.R., 2005. Natural spatial and temporal variations in geochemistry in fractured, sedimentary rocks: scales and implications for solute transport. *Applied Geochemistry*, 20: 861-873.
- Villamil, T., 1999. Campanian-Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and western Venezuela. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 153: 239-275.
- Wood, W.W., 1976. Guidelines for the collection and field analysis of ground-water samples for selected unstable constituents. US Geological Survey Techniques for Water Resources Investigations, Book 1, Chapter D2, 24 p.
- Yamanaka, M., Nakano, T., and Tase, N., 2005. Hydrogeochemical evolution of confined groundwater in northeastern Osaka Basin, Japan: estimation of confined groundwater flux based on a cation exchanged mass balance method. *Applied Geochemistry*, 20: 295-316.

RIESGOS Y CONSECUENCIAS AMBIENTALES A LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS POR EL USO DEL AGUA RESIDUAL GENERADA EN LA CIUDAD DE SANTA CLARA

MSc. Ing. José Luis Peñate Fleites.

Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos. Ave Libertadores No. 201. e/ Danielito y Jesús Menéndez. Santa Clara, Villa Clara. Cuba. Teléfonos (42)206028-29 y (42)214283-85. Fax: (42)202330. E-Mail: penate@eiphvc.hidro.cu

RESUMEN

El 79% de Ciudad de Santa Clara vierte directamente sus residuales líquidos para la cuenca del Río Arroyo Grande a través de sus principales afluentes. Esto es debido a que la expansión de la población y el crecimiento industrial en la década de los años 60 no eran compatibles con el sistema de alcantarillado y la Planta de Tratamiento de Residuales existente por lo que ambos dejaron de funcionar.

A principio de la década de los años 70 del siglo anterior se construyeron dos embalses: Arroyo Grande I y II sobre el mismo río y se concibieron para el riego a la vez de realizarle un tratamiento de los albañales para que no pasaran al río Sagua la Grande.

Las aguas de ambos embalses en el presente trabajo han sido valoradas para el riego atendiendo diferentes normativas y atendiendo a la posibilidad de salinización de los suelos se clasifican como de Buenas para el riego.

No sucede lo mismo con la composición química de las aguas subterráneas en la que los valores de metales pesados son elevados sobre todo en las zonas bajo riego del embalse Arroyo Grande I y por lo tanto no son aptas para el riego.

De forma general está la contaminación de nitratos en esta agua que prácticamente las invalidan las concentraciones detectadas como aguas potables y no hay relación directa entre las aguas de los embalses y esas concentraciones elevadas.

Por tanto se debe tener en cuenta al usar esta agua las concentraciones de nitratos monitoreándolas frecuentemente y usar para regar solo las del embalse Arroyo Grande II.

En sentido general son buenas para el riego teniendo en cuenta la capacidad de autodepuración de las presas, que funcionan como lagunas de oxidación que incorporan sus aguas al río Sagua la Grande con una baja carga contaminante a la vez que se le da un reuso a las aguas residuales.

ABSTRACT

The 79% of City of Santa Clara pours its residual liquids directly for the basin of the River Arroyo Grande through its main ones flowing. This is because the population's expansion and the industrial growth in the decade of the years 60 were not compatible with the sewer system and the Plant of Residual Treatment existent for what both stopped to work.

To principle of the decade of the years 70 of the previous century two reservoirs were built: Arroyo Grande I and II on the same river and they were conceived at the same time for the watering of carrying out him a treatment of the sewers so that they didn't pass to the river Sagua la Grande one.

The waters of both reservoirs presently work has been valued for the watering assisting different normative and assisting to the possibility of salinization of the floors is classified as of Good for the watering.

The same thing doesn't happen to the chemical composition of the underground waters in which the values of heavy metals are elevated mainly in the areas under watering of the reservoir Arroyo Grande I and therefore they are not capable for the watering.

In a general way it is the contamination of nitrates in this water that practically they invalidate them the concentrations detected as drinkable waters and there is not direct relationship between the waters of the reservoirs and those high concentrations.

Therefore it should be kept in mind when frequently using this water the concentrations of nitrates monitoring and to use to water alone those of the reservoir Arroyo Grande II.

In general sense they are good for the watering keeping in mind the capacity of auto- depuration of the preys that you/they work as lagoons of oxidation that incorporate their waters to the river Sagua la Grande one with a drop loads pollutant at the same time that he/she is given an I reuse to the residual waters.

INTRODUCCIÓN

Las aguas utilizadas para riego varían grandemente en su composición mineral. Independientemente de cual sea su origen (superficial, subterráneo o residual) todas las aguas de riego contienen sales disueltas, cuya cantidad y clase determinan, en gran medida, su calidad.

Dentro del grupo de componentes menores en las aguas de riego se incluyen: sílice, fluoruro, ioduro, litio, nitrato, nitrito, amonio, sulfato, fosfato, hierro, aluminio, manganeso, cinc, plomo, cromo, cadmio, pesticidas, herbicidas, materia orgánica, aceites, fenoles, etc.,. Algunos de estos constituyentes son de origen natural, y otros procedentes de actividades humanas agrícolas (fertilizantes, plaguicidas, etc.), industriales (metales pesados, aceites, detergentes, etc.) o domésticas (materia orgánica, detergentes, etc.).

En los análisis ordinarios de agua de riego se determinan: la conductividad eléctrica y el pH. La primera se utiliza comúnmente, como indicadora de la concentración total de sales solubles. El pH no constituye realmente un criterio de calidad del agua de riego.

En el caso de aguas residuales, es importante conocer la concentración de metales pesados por su incidencia en la contaminación de los suelos y en la cadena trófica; los sólidos en suspensión, que pueden afectar a la permeabilidad del suelo al agua y al aire y además, pueden crear problemas en los sistemas de riego por aspersión o por goteo y, los elementos nutritivos (amonio, nitrato y fosfato) que confieren al agua un cierto poder fertilizante. Estas determinaciones junto a un análisis microbiológico completan la información necesaria para el diagnóstico de su calidad.

Por lo general después del triunfo revolucionario se comenzó la construcción de sistemas de riego para agricultura cañera y no cañera. En la década de los años 70 del pasado siglo sobrevino la Primera Voluntad Hidráulica del país con la construcción de numerosos embalses para asegurar el agua a los sistemas concebidos.

A partir de los años 90, producto de las afectaciones económicas provocadas por el fin de las relaciones comerciales preferenciales con los países socialistas, las áreas de riego en Cuba fueron disminuyendo progresivamente principalmente en técnicas de gravedad y aspersión por ser las menos eficientes.

Ahora que el País se ha recuperado en gran parte de las afectaciones de la década de los noventa, atraviesa una de las sequías hidrológicas mas serias que se tenga conocimiento, se comienzan a activar los sistemas de riego sobre todo un riego altamente eficiente para mantener la producción agrícola y el suministro de aguas a la población y a las industrias.

Es por esto que el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos enfrenta retos para mejorar el aprovechamiento y la gestión de agua a nivel de complejos hidráulicos y cuencas hidrográficas.

Se determinó (Instituto nacional de Recursos Hidráulicos, 2001) que para nuestras condiciones edafo climáticas existen tres vías factibles para llegar a un incremento de la eficiencia en el uso del agua en la agricultura:

Tratamiento y conducción de aguas residuales.

Uso de tecnologías adecuadas (riego subsuperficial)

Alternativas apropiadas.

Aunque se han establecido las pautas para regar en la agricultura con aguas residuales, solo hay reporte de ello en nuestra provincia y en dos zonas: Empresa de Cultivos Varios Manacas, donde los residuales de la cervecería "Antonio Díaz Santana" alimentando el embalse "La Ceja". De este se bombea para parte del sistema de riego.

El otro caso es el de la Empresa de Cultivos Varios Valle del Yabú con los embalses Arroyo Grande I y II, que si se han caracterizado.

En ambas empresas no se cumple con las líneas trazadas por el INRH ya que el riego por lo general es por aspersión y no localizado sub superficial.

DESARROLLO

La agricultura en Cuba consume como promedio de los últimos 10 años el 79,7% del agua total utilizada. La provincia de Villa Clara se abastece tanto de aguas superficiales como subterráneas, sobre todo la cabecera provincial que lo hace de las superficiales embalsadas.

Santa Clara es una ciudad de 221463 habitantes, de ellos 201043 viven en la Cuenca del Río Arroyo Grande (ríos Bélico, Cubanicay y arroyo Los Mangos) para un 91% del total; el resto pertenece a la cuenca del río Sagua la Chica.

El suministro de agua a la Ciudad normalmente la cubren tres sistemas: el Ochoíta con 0,6 m³/s, Agabama 0,26 m³/s y Palmarito con Hanabanilla 0,9 m³/s para un total de 1,76 m³/s.

En base a esa entrada de agua se considera que sale el 80% de residual líquido por lo que el entorno urbano emite al exterior 1,4 m³/s de residuales y la parte que corresponde al Arroyo Grande es de 1,27 m³/s.

Este caudal de salida es incrementado por las aguas superficiales normales que alimentan los ríos y arroyos que conforman la red hidrográfica de la ciudad llegando al embalse Arroyo Grande I que funciona como una laguna de oxidación anaeróbica. Aquí ocurre la decantación de los sólidos y la digestión anóxica con un tiempo de retención de 22 días.

Luego estas aguas pasan al embalse Arroyo Grande II que su función también es una laguna de oxidación donde ocurren los procesos anaeróbicos haciendo la digestión las algas. En este embalse las aguas tienen un tiempo de retención de 123 días.

Los parámetros en la salida mejoran considerablemente en comparación a los que llegan a dichos embalses pero aun distan mucho de lo sugerido en la NC 93-02-1985.

Las aguas subterráneas presente en todo el territorio son libres, de poros y fisuras fundamentalmente con una capa cobertora correspondiente al paquete superficial friable descrito en el epígrafe de Geología con una potencia máxima de 5 m.

El espesor del manto acuífero (H) está en el intervalo de hasta 10 m en todo el tramo.

La trasmisividad (T) predominante del manto acuífero desarrollado en las rocas colectoras se presenta en el intervalo de hasta 100 m²/d en casi toda su superficie con excepción de puntos aislados diseminados valores de 100 a 1 000 m²/d.

La conductividad hidráulica (K) de las rocas colectoras está en el intervalo de hasta 10 m/d , excepto en los puntos de mayor trasmisividad, donde alcanza el rango superior (de 10 a 50 m/d). Los caudales predominantes (Q) y por tanto más probables de obtener mediante las obras de captación (sobre todo pozos) de las rocas colectoras se presentan en el intervalo de hasta 3 l/s.

La profundidad de yacencia de las aguas subterráneas es variable desde las mas profundas al Noreste del área y va acercándose a la superficie según nos acercamos a los embalses.

Hacia el centro Este en las cercanías de la comunidad “Julián Grimau” hay otro valor extremo de profundidad. De ahí disminuye la profundidad tanto hacia el Norte (cuenca Yabú) como al Sur (Cuenca Arroyo Grande).

La amplitud de la oscilación de los niveles de las aguas subterráneas difundidas en este tramo se presenta en el rango de hasta 5 m en casi toda su superficie.

La alimentación de las aguas subterráneas difundidas en este subtramo ocurre por la infiltración de las aguas pluviales en toda su área de difusión, sobre todo donde el espesor de la capa cobertora es menor.

La descarga (drenaje) de las aguas subterráneas ocurre fundamentalmente por causas naturales, entre las cuales la principal es el drenaje causado por el flujo subterráneo hacia las bases locales de erosión, también tiene lugar la evapotranspiración donde la yacencia de las aguas subterráneas es cercana a la superficie del terreno.

El valor del gradiente hidráulico medio también varía por las causas antes mencionadas: hacia el extremo noroeste se observa el valor de 0,0033 (el valor más pequeño observado); hacia el noroeste el valor de 0,00975; hacia el oeste alcanza un valor de 0,00922; en la zona central el valor de 0,0075. Se observan otros valores —en sentido al río Yabú— tales como 0,010 al norte; y 0,0133 y 0,008 hacia el centro del tramo. En general hacia el este y el sudeste se observa el incremento en el valor de los gradientes hidráulicos medios al acercarse a las zonas del relieve con mayores pendientes.

La vulnerabilidad a la contaminación del acuífero desarrollado en este tramo presenta diversos valores en dependencia de la variabilidad de las condiciones hidrogeológicas en el área, de tal manera en el sur el índice de vulnerabilidad es igual a 0,448 indicador de una moderada vulnerabilidad; en el resto del área el valor del susodicho índice es igual a 0,504 correspondiente a una alta vulnerabilidad.

La composición química (iónica) de las aguas subterráneas difundidas es muy abigarrada debido a sus peculiares características hidrogeológicas: las aguas bicarbonatadas clóricas cálcicas, las bicarbonatadas clóricas cálcicas magnésicas; las bicarbonatadas clóricas magnésicas y las bicarbonatadas clóricas sódicas.

El contenido de sales solubles totales (S.S.T.) de las aguas subterráneas difundidas en este tramo se presenta en toda su superficie en el intervalo comprendido en el rango de hasta 1 g/l, con excepción de algunos puntos aislados diseminados por el tramo con valores en el rango de 1 a 1,5 g/l.

El contenido de cloruros (ión cloro) de las aguas subterráneas difundidas en este tramo se presenta en el rango de 250 g/l en casi toda su superficie, ya que se observan varios puntos aislados con valores por encima de ese rango, sobre todo en aquellos puntos con elevada mineralización.

El contenido medio de NO_3 de las aguas subterráneas difundidas en este tramo está por encima de 45 mg/l (contenido máximo deseable por normativas de salud pública) en la casi totalidad de su superficie, por lo cual estas aguas no son aptas para su consumo humano; sólo en puntos aislados diseminados por el tramo se observan valores superiores a 100 mg/l.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al regarse una gran parte de la zona con las aguas de los embalses se monitoreó el agua de los mismos para poder comparar los resultados obtenidos en las aguas subterráneas, las que prácticamente son utilizadas como aguas potables.

Es por esta razón que se analizará la comparación de los elementos que limitan la potabilidad en la NC

Nitratos y Nitritos:

Solo se muestrearon los embalses Arroyo Grande I y II en el año 2002 en época de seca. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Embalse	Nitratos (mg/l)	Nitritos (mg/l)
Arroyo Grande I	2.67	0.21
Arroyo Grande II	0.8	-

Estas concentraciones pueden considerarse bajas, o sea, no deben ser causa de problemas, ni para los cultivos, ni respecto a la contaminación de las aguas subterráneas ya que la (University of California Comitee of Consultants, 1974) clasifica las aguas con un rango de variación del Nitrógeno total de 0,0 a 5,0 mg/l como buenas sin restricciones para su uso.

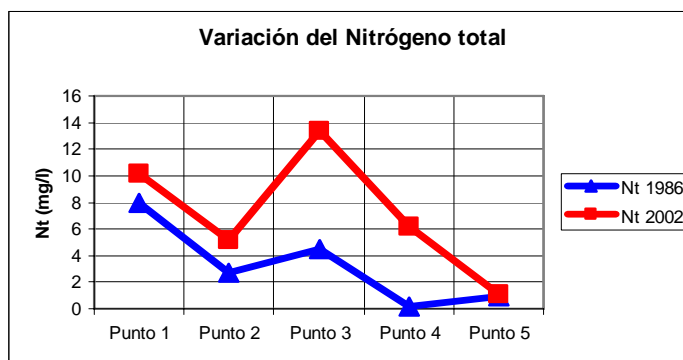


Figura 1. Variación del Nitrógeno total en las aguas superficiales

Los puntos de muestreo superficial son: El punto 1 salida de Santa Clara, el 2 Arroyo Grande I, el 3 intermedio entre los embalses, el 4 Arroyo Grande II y el 5 el aliviadero de este último embalse.

Los residuales de la Ciudad de Santa Clara salen con valores elevados de nitrógeno y fósforo total elevado producto residual urbano; sin embargo el embalse Arroyo grande I funciona como una laguna de oxidación anaeróbica donde se decantan los sólidos y ocurre una digestión anóxica por tanto los valores del nitrógeno y el fósforo disminuyen.

En el Punto 4 (Arroyo Grande II) se reducen nuevamente los valores ya que ocurren procesos aeróbicos con presencia de algas y plantas acuáticas que realizan la digestión removiendo el fósforo y el nitrógeno.

A la salida del embalse Arroyo Grande II los valores del nitrógeno y el fósforo descienden grandemente. Esto demuestra la efectividad de ambos embalses en el tratamiento de residuales de la ciudad de Santa Clara.

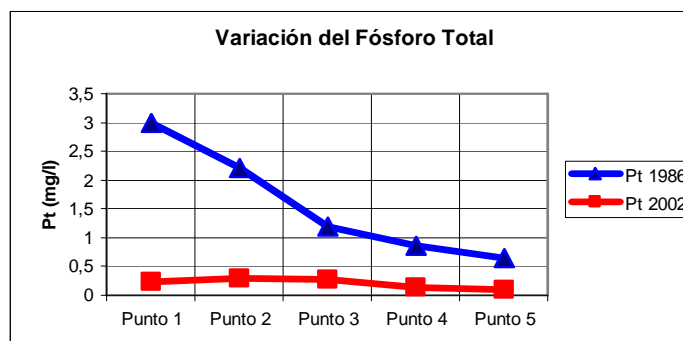


Figura 2. Variación del Fósforo total en las aguas superficiales

Concentración de Metales pesados:

Teniendo en cuenta las fuentes contaminantes existentes en la ciudad de Santa Clara y que a través de los ríos Bélico y Cubanicay, vierten finalmente en estos embalses, consideramos imprescindible realizar determinaciones de algunos de ellos, cuyas concentraciones vemos en la siguiente figura.

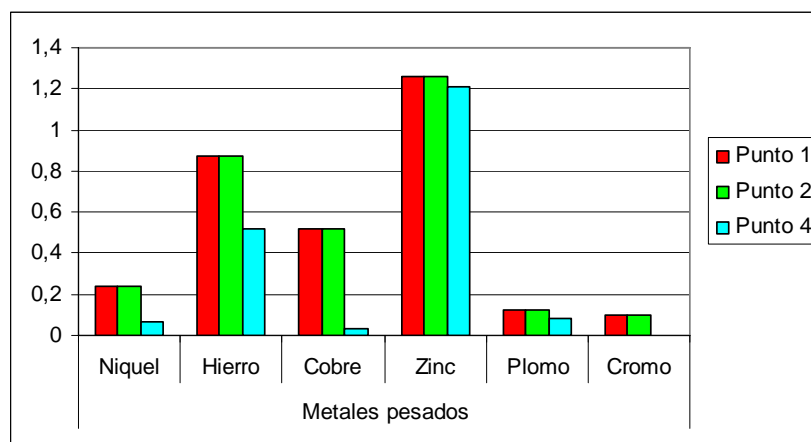


Figura 3. Variación de los Metales Pesados en las aguas superficiales.

En base a los resultados obtenidos en el Embalse Arroyo Grande I se observan valores elevados del hierro, cobre y zinc.

En el embalse Arroyo Grande II sin embargo son mucho menores los valores de los mismos. Esto indica que estos elementos, producto de las industrias de la ciudad, se decantan en el Embalse Arroyo Grande I disminuyendo su concentración para la siguiente.

Diferentes autores no condicionan las aguas con metales pesados para el riego por su efecto a las plantas. Esto se basa en que el riego con aguas que presenten metales pesados pueden contaminar las aguas subterráneas y por supuesto en los sistemas de riego el agua de abasto se obtiene de fuentes subterráneas.

Es esta la razón que los límites de concentración de metales pesados sean los mismos que los de las aguas potables, que en nuestro caso se contempla en la norma NC-93-02:1985. Agua Potable. Requisitos Sanitarios y Muestreo.

Sin embargo aunque las concentraciones de metales pesados no sean tan elevados, sobre todo en Arroyo Grande II; al usar esta agua para el riego, ellas migran con las aguas de infiltración por gravedad y se van acumulando en las aguas subterráneas incrementándose las concentraciones al paso del tiempo.

Podemos afirmar, en fin que las aguas del Sistema Arroyo Grande no presentan peligrosidad alguna, en cuanto a las concentraciones de metales pesados que presentan, al menos desde el punto de vista de su relación con los cultivos y el suelo.

Concentración de Metales pesados:

En el año 2002 se tomaron muestras bacteriológicas para un análisis completo de las aguas de riego en los Puntos 2 y 4 obteniéndose los siguientes resultados:



Puntos	Ubicación	Coliformes (NMP x 100 ml)		<i>Pseudomonas aeruginosas</i> (mmP x 100 ml)
		Totales	Fecales	
2	E. Arroyo Grande I	> 24 000	240	240
4	E. Arroyo Grande II	4 600	-	150

Los microorganismos presentes en el agua de riego, pueden acarrear consecuencias negativas para la salud humana, ya sea por la vía de la contaminación de los productos agrícolas o mediante la transmisión de enfermedades a los propios trabajadores que laboran en la actividad del riego.

En el grupo de las bacterias coliformes, el más representativo es el género *Escherichia* (especie *E. coli*), siendo el más indicativo de la existencia de contaminación fecal.

Conociendo de antemano, que gran parte de los residuales humanos de la ciudad de Santa Clara, fluyen hacia el sistema Arroyo Grande, era esperado encontrar elevados niveles de microorganismos presentes en esta agua, lo cual quedó corroborado en las determinaciones realizadas.

- **Evaluación de la calidad de las aguas subterráneas para su utilización como aguas potables.**

Se utilizaron 31 pozos distribuidos en el territorio, algunos particulares, otros de abasto y el resto de la red de observaciones de Recursos Hidráulicos. En su totalidad se muestrearon para caracterizar esta agua determinándose los parámetros que monitorea sistemáticamente dicho Instituto. Los resultados de esos análisis se ofrecen en la tabla 1.

Llama la atención los elevados valores de los nitratos como se muestra en el gráfico 1, que se van por encima de la norma de potabilidad.

En base a la cantidad de parámetros que no cumplen con la norma se hizo un Mapa de contaminación Potencial en el área analizada (ver anexo gráfico 2) donde se muestra la zonificación en base a la contaminación; pero si analizamos el movimiento de las aguas subterráneas pueden provocar la contaminación de zonas aún no contaminadas.

Con relación a la contaminación bacteriológica no se realizaron determinaciones a las aguas subterráneas pero si a los embalses, Sin embargo en base a (Lewis, 1980) los coliformes tienen una vida media de 17 horas; solamente sin tener en cuenta el tiempo de bombeo y regadío.

Los suelos tienen una parte “biológicamente activa” que es la zona por encima a la fluctuación de los niveles (lluvia – seca), y es el resultado del predominio de las arcillas y la materia orgánica, así como a una “población bacteriana”, muy numerosa. Los procesos de atenuación y eliminación de los contaminantes es más activa.

A veces este poder de alternación no es aprovechado correctamente, voluntaria o involuntariamente, pues las sustancias son introducidas a una cierta profundidad por debajo de la superficie del terreno como puede ocurrir en excavaciones, fosas, pozos, etc. Que no es el caso nuestro que se basa en el riego por aspersión.

CONCLUSIONES

1. El uso para el riego de las aguas embalsadas en las presas Arroyo Grande I y II no provocan efecto de salinización a los suelos de la Empresa de Cultivos Varios Yabú.
2. En base a los análisis biológicos realizados a las aguas de las presas, se determinaron altas concentraciones de microorganismos patógenos que provocan su ineptitud para el riego.
3. No existe una relación entre la composición de las aguas empleadas en el riego y las del manto subterráneo.

4. Los valores de nitratos obtenidos en los análisis de las aguas subterráneas no se corresponden con los contenidos del mismo elemento en las aguas superficiales. Por tanto no son causa directa del riego sino de otros factores como puede ser un manejo no correcto de fertilizantes nitrogenados.
5. Los Embalses Arroyo Grande I y II funcionan como un sistema de tratamiento de residuales (lagunas de oxidación) de los residuales de la ciudad de Santa Clara cuya eficiencia se considera de buena.

RECOMENDACIONES

1. Evitar el uso de las aguas del Embalse Arroyo Grande I para trasvase y riego de áreas de cultivo.
2. Realizar un control sistemático de los valores de los nitratos a las aguas de riego de la presa Arroyo Grande II a fin de que las empresas que usan sus aguas para riego puedan hacer un cálculo preciso de los abonos nitrogenados a utilizar. Esto evitaría aumentar la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas y ahorro en los costos del abono.
3. Implantar cultivos que su desarrollo y productividad dependan de los parámetros que caracterizan al embalse para que no se realice abonado artificial. Deben analizarse medidas de fitorremediación que incluya la evaluación económica de las externalidades.
4. Hacer una valoración económica que incluya los riegos por aspersión, goteo, etc., que tenga en cuenta usar lo menos posible el agua y al menos evitar el de aspersión.
5. Buscar como fuentes alternativas de agua de consumo aquellos pozos cuyas aguas no están contaminadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Ayers, R.S; Westcot, D.W. La calidad del agua en la Agricultura. Estudio FAO. Riego y Drenaje No. 29. Rev. I. Roma. 1987. 48 pp.
- Comité Estatal de Normalización. NC-93-02:1985. Agua Potable. Requisitos Sanitarios y Muestreo. Ciudad de la Habana. 1985.
- Comité Estatal de Normalización. NC-27:1999. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. Ciudad de la Habana. 1999.
- Custodio, E.; Llamas, M.R. Hidrogeología subterránea. Primera Edición, 2 v. 2308 pp. Sección 18: Calidad del agua subterránea. 1879-1961 pp, Editorial Omega. Barcelona. 1976.
- Lewis, W.J; Foster, S.S.; Drassar, B.S; The risk of Groundwater pollution by on-site sanitation in Developing Countries. International Reference Centre for Wastes Disposal, Duebendorf, Suiza. 1980. 79 pp.
- Oficina Territorial de Estadísticas de Villa Clara. Estudios y datos sobre la población. Publicación No.31. Departamento de Demografía y Censos. Villa Clara. 2002. On-line.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). Aprovechamiento de efluentes, métodos y medidas de protección sanitaria en el tratamiento de aguas servidas. Series de Informes No 517. Ginebra. 1973.
- Peñate Fleites, J.L. Análisis actual y perspectiva de la cuenca del Río Sagua la Grande en relación con el desarrollo hidráulico. Memorias del III Simposio Internacional Arquitectura e Ingeniería Aplicada a la Construcción. ARINSEMA 2004. On line. Gráfica de Ingeniería. CUJAE. ISBN-959-247-006-5. Ciudad de la Habana. 2004.
- Peñate Fleites, J.L. Contaminación de las aguas superficiales de la cuenca del Río Sagua la Grande. Revista Voluntad Hidráulica No. 97. Ciudad de la Habana. 2005a. pp 23 – 29.
- Pérez Pérez, H.; Embalses Arroyo Grande I y II. Su calidad para el riego e influencia en algunas características de las aguas subterráneas y los suelos. Trabajo de titulación para el título de Master en Ciencias. Fac. Ciencias Agropecuarias. Santa Clara, 2003.
- Pérez Zaballa, M; De León Hernández, G. Estudio en cuencas superficiales pequeñas afectadas por cargas contaminantes. Revista Voluntad Hidráulica No. 70 – 71. Ciudad de la Habana. 1986. pp 16 – 23.

Roque Rodés, R.; Fernández Richelme, A.; La Eficiencia en el aprovechamiento de las aguas para la agricultura como parte del manejo integrado de las cuencas hidrográficas. Memorias del IV Foro Centroamericano y del Caribe de Cuencas Hidrográficas. Ciudad de La Habana, 2004. On-line.

Tabla 1
Comparación de los parámetros obtenidos con los de la Norma Cubana

No	No de Pozo	Resultados Químicos									
		NO ₃ mg/l	Na mg/l	pH	Cl mg/l	Ni mg/l	Fe mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Pb mg/l	Cr mg/l
1	EH-1	25	30	7,0	31	0	0	0	0	0	0
2	EH-3	130	40	7,0	91	0	0	0	0	0	0
3	EH-8	118	39	7,1	77	0,09	0,12	0,05	0,87	0	0
4	EH-12	87	23	7,1	14	0,05	0,14	0,05	0,86	0	0
5	EH-13	27	24	7,1	27	0	0	0	0	0	0
6	EH-19	25	44	7,1	78	0	0	0	0	0	0
7	EH-29	124	48	6,9	136	0,09	0,11	0,04	0,77	0,03	0
8	EH-37	105	37	6,8	70	0,07	0,91	0,46	0,58	0	0,014
9	H-10	130	69	7,2	126	0	0	0	0	0	0
10	H-12	105	40	7,0	105	0,11	0,15	0,05	0,47	0,1	0
11	H-13	124	55	6,4	136	0	0	0	0	0	0
12	H-14	31	163	6,8	283	0	0	0	0	0	0
13	H-15	118	67	6,8	129	0	0	0	0	0	0
14	H-17	124	36	7,0	77	0	0	0	0	0	0
15	H-20	27	36	7,0	35	0	0	0	0	0	0
16	H-25	124	39	7,1	105	0,12	0,05	0,03	1,03	0	0
17	H-59	122	37	6,8	87	0,05	0,33	0,2	1,09	0,06	0
18	H-65	25	11	7,6	24	0	0	0	0	0	0
19	H-120	44	28	7,2	56	0	0	0	0	0	0
20	H-121	124	40	7,8	70	0	0	0	0	0	0
21	H-130	99	46	7,8	105	0	0	0	0	0	0
22	H-130 A	25	44	7,1	78	0	0	0	0	0	0
23	SG-467	25	26	7,0	38	0	0	0	0	0	0
24	SG-468	23	37	7,1	27	0	0	0	0	0	0
25	SG-474	33	209	7,8	322	0	0	0	0	0	0
26	SG-494	25	42	7,0	420	0	0	0	0	0	0
27	SG-500	124	48	6,6	920	0	0	0	0	0	0
28	SG-501	99	30	7,4	774	0	0	0	0	0	0
29	SG-502	43	56	7,6	1067	0	0	0	0	0	0
30	SG-513	99	30	6,5	620	0	0	0	0	0	0
31	VC-105	104	40	7,8	830	0	0	0	0	0	0

830
6,5

Valores fuera de Norma
Valores en Norma

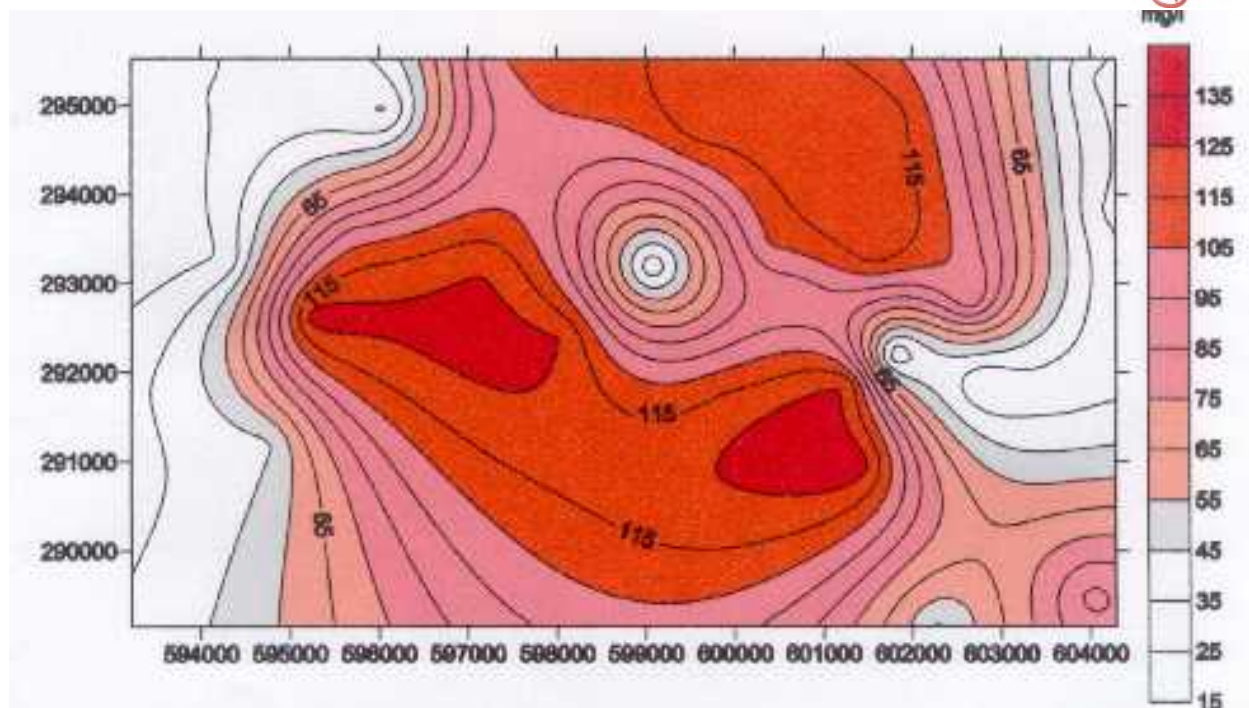


Figura 1. Variación de los Nitratos en el área.

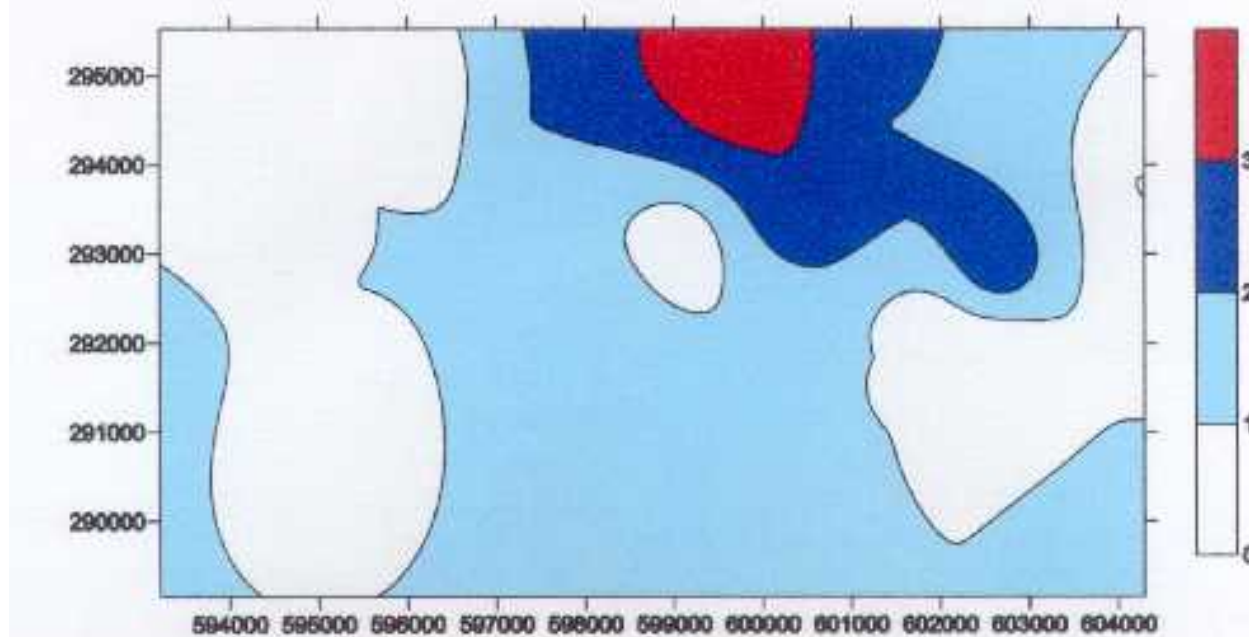


Figura 2. Contaminación Potencial

“EL KARST DE LA CIÉNAGA DE ZAPATA. ALGUNAS CONSIDERACIONES ACERCA DE SU GÉNESIS Y CARACTERÍSTICAS DISTINTIVAS”

Evelio J. Balado Piedra¹

(1) *Instituto Superior de Cultura Física, Sta. Catalina, entre Primelles y Boyeros, Sociedad Espeleológica de Cuba, borisn@infomed.sld.cu*

RESUMEN

En las calizas que constituyen el territorio de la Gran Ciénaga de Zapata se encuentra desarrollado uno de los más interesantes sistemas kársticos de todo el Archipiélago Cubano, en primer lugar por las condiciones de su origen y desarrollo y en segundo lugar debido a que gran parte de este sistema se encuentra reinundado producto de el ascenso del nivel del mar ocurrido durante la última gran retirada de los hielos polares durante el Pleistoceno. El estudio e interpretación de la información aportada por estas formas del karst en el presente trabajo resulta muy importante para la comprensión de los cambios climáticos ocurridos durante los últimos dos millones de años aproximadamente, lo cual puede resultar muy útil para enfrentar cambios futuros, sobre todo en una región muy influenciada por la intrusión marina de los acuíferos costeros, las penetraciones marinas y otros desastres naturales.

ABSTRACT

In the limestone of the territory of the Greed Zapata Swam founder the some of the most interesant karst system of the Cuban Island, first fort the origin conditions, and second, because the most important area of the system are submerged because of the last retreat of the polar ice in the Pleistocene Age. The study and interpretation of the information of these form of karst in these paper are very important for the underhand of the change of the environment in the last two million of years approximate, because these are very useful for confront the future changes in these region because have a big influence for the marine water in the on short water table, and other natural disaster.

INTRODUCCIÓN

En la segunda década del siglo XX, el ingeniero J.A. Cosculluela, realizó una serie de estudios y observaciones de campo sumamente importantes para el real conocimiento de esa vastísima región del occidente cubano conocida como Ciénaga de Zapata, tanto que aún hoy su libro **“4 años en la Ciénaga de Zapata”**, es considerado como un clásico y la base para cualquier estudio que se pretenda hacer de la naturaleza de esa región.

En esa época, Cosculluela fue el primer ingeniero en explorar detalladamente la singular geografía de ese territorio tratando de determinar las reales posibilidades de aprovechamiento económico de todo ese territorio, dejando constancia de ello en esa joya de la literatura científico-técnica que es el volumen mencionando en el párrafo anterior.



Imagen satelital de la Ciénaga de Zapata

En dicho trabajo se abordan muchas ideas, observaciones y datos recogidos por el autor, acerca de las cavernas, manantiales, casimbas y otros accidentes del karst de la gran Ciénaga, permitiéndonos llegar a una idea acerca de cómo ha cambiado el escenario de la región en los últimos 100 años, producto del accionar del hombre y el incorrecto manejo de la naturaleza.

Muchos años después, en 1967, al explorar la **Laguna de Facundo**, una dolina kárstica muy profunda ubicada al norte del poblado de Playa Larga, en la Bahía de Cochinos, el Dr. Antonio Núñez Jiménez, establece dos hitos en la exploración karstológica en Cuba, realiza la exploración de la dolina kárstica más profunda hasta el momento estudiada en el archipiélago cubano, alcanzando los -47 metros de profundidad por debajo del nivel del mar, he iniciando con ello la exploración de karst sumergido o reinundado que se encuentra desarrollado en el territorio cubano (ya sea este terrestre o marino).

Sin embargo, no es hasta el año 1975, en que se le da continuidad a la exploración de las cavernas inundadas de la Ciénaga de Zapata, aunque dicha exploración y estudio no se hizo sistemática hasta la década de los años **80**, cuando en el propio año 1980 se realizará la **Primera Expedición Conjunta** entre la **Sociedad Espeleológica de Cuba** (SEC), y el **Club de Espeleología Subacuática Hranicky Kras** de Olomuc en la antigua Republica Socialista de Checoslovaquia, con el fin de esclarecer las características hidrogeológicas de la Ciénaga Oriental de Zapata y favorecer de esta forma el sistema de riego del **Plan Citricola Victoria de Girón**, en Jagüey Grande, el mayor del país y ubicado en el sur de la provincia de Matanzas y al norte de la Ciénaga de Zapata.

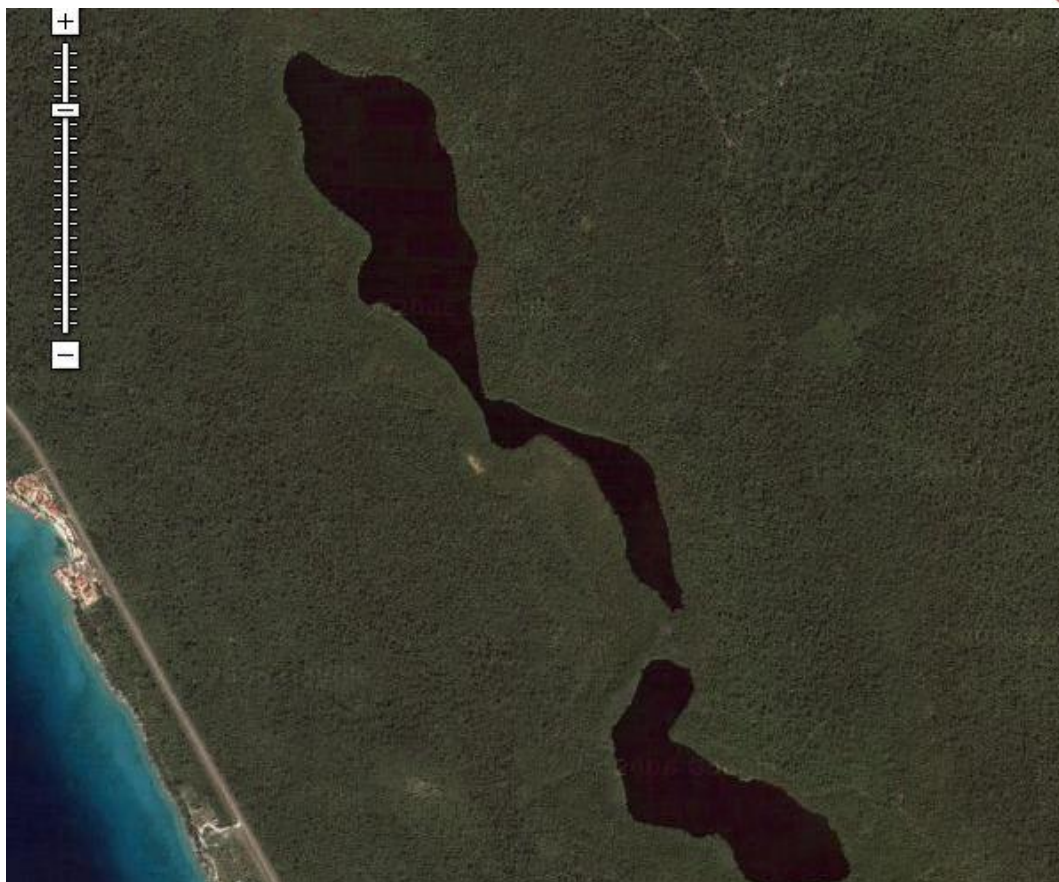
A partir de esa primera gran expedición, la sistematicidad de la exploración y la investigación del karst de esa región a permitido revelar la existencia de más de 100 cavernas inundadas, una complejísima red de circulación subterránea, alimentada por un territorio donde existe un gran desarrollo de de los procesos kársticos superficiales, los cuales le dan unas características muy especiales a toda la región.

CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DESARROLLO DEL KARST

La región de Zapata al igual que todo el tramo sur del occidente de la isla de Cuba, comenzó a formarse a partir de sedimentos marinos provenientes de los grandes arrecifes coralinos que se desarrollaron en toda la cuenca, fundamentalmente desde principios del Mioceno, producto de un ascenso de las temperaturas que favoreció enormemente el desarrollo de los grandes arrecifes de barrera y con ello un gran aporte de material carbonatado para dicha cuenca.

Y una vez consolidados los materiales sedimentarios e incluso mucho antes de que emergieran dichos territorios por primera vez (finales del Terciario), sufrieron el acondicionamiento tectónico, proceso que presumiblemente fue iniciado por la ocurrencia de la falla Cochinos, así como todos los movimientos derivados y provocados por este gran evento tectónico ocurrido presumiblemente a finales del Cretácico o principios del Terciario, pero cuyas consecuencias se manifiestan aun hoy en la morfología de toda la región de Zapata.

El agrietamiento posterior de las rocas que forman el borde de la bahía de Cochinos, fue originado por el acondicionamiento de las rocas en dichos bordes, al quedar las masas de rocas carbonatadas prácticamente colgados en el borde de una fosa marina de pequeña profundidad (500 a 700 metros por debajo del nivel del mar), y a lo cual contribuyo todo el sistema de fallas de plumaje originado por el gran esfuerzo que significó el desarrollo de la falla principal.



Linealidad estructural de las formas kársticas en la Ciénaga de Zapata

Además, se encuentra demostrado (Iturralde-Vinent, 1977), que desde el punto de vista estructuro-tectónico, la Península de Zapata forma parte del graben Batabanó y que dada la activa subsidencia que tiene lugar en el área desde principios del Eoceno Superior, esta ha sido denominada como **Depresión Estructural de Zapata**. La geología que comprende el territorio ocupado por los municipios Jagüey Grande, Ciénaga de Zapata y otros del sur de la provincia de Matanzas, se caracteriza por la existencia en superficie rocas de la cobertura neógeno-cuaternaria, fundamentalmente sedimentos cuaternarios, dichas rocas yacen en contacto discordante unas con otras y representan fases transgresivas según la clasificación de los depósitos cuaternarios (L. Peñalver, 1988), dichas rocas se clasifican como formadas durante el Pleistoceno Seco (las rocas que afloran claro esta), y son de las formaciones Jaimanitas, Vedado, Guines, las cuales describimos de forma muy breve a continuación:

- **Formación Jaimanitas** (js): Formada por calizas organógenas y organógenas detríticas, masivas generalmente karstificadas, muy fosilíferas, conteniendo principalmente conchas bien preservadas, fragmentos de corales de especies actuales y ocasionalmente biohermos. Pasan a calcarenitas masivas o finamente estratificadas. La cementación es variable. La coloración predominante es blanco cremoso. Según el estudio del **ICGC** (1993), en la Ciénaga de Zapata se aprecian dos facies de esta formación: una facie coralina ubicada a lo largo de la costa abrasiva y que se encuentra hasta unos 800 metros tierra adentro, y una facie conchífera con abundancia de moluscos poco alterados que puede encontrarse hasta varios kilómetros hacia el interior del territorio. En la Ciénaga Occidental cubriendo la Formación Jaimanitas aparecen las evaporizas

Mandadero, compuestas por capas finas de arena del Holoceno, las cuales pueden alcanzar hasta 30 centímetros de espesor y deben su origen a los cambios estacionales anuales (ICGC, 1993). Por lo general la Formación Jaimanitas sobreyace a la Formación Vedado, aunque hipsométricamente en algunos sectores al norte del territorio pueden estar por debajo de la Formación Vedado. Se le atribuye una edad de Pleistoceno Superior, a partir de criterios geomorfológicos y a su posición estratigráfica. Según el Nuevo Léxico Estratigráfico de Cuba (IGP, 2003), “**Jaimanitas es correlacionable con las formaciones Pamlico, Anastasia, Calizas Key Largo Y Oolita Miami, todas del Pleistoceno de la costa Atlántica de Norteamérica**”

- **Formación Vedado** (vd): Según el “Nuevo Léxico Estratigráfico de Cuba”, esta formación se encuentra formada por calizas biohérticas, coralino-algáceas y biodetríticas, masivas o con estratificación local poco clara, duras, a veces aporcelanadas, en parte porosas y cavernosas, recristalizadas, que contienen corales en posición de crecimiento o sus fragmentos, con frecuencia dolomitizadas. Su matriz puede ser micrítica o micrito-arenítica. Contienen por lo general, numerosas impresiones tubulares del coral **Acropora prolifera**. Contiene rellenos de un material rojizo carbonatado arcilloso con goethita, puede contener lentes de calcarenitas. Presenta colores blanco, amarillo y en ocasiones rosado. En la Ciénaga de Zapata se encuentra debajo de la Formación Jaimanitas y por los datos de las perforaciones realizadas en el área de Playa Girón, estas rocas fueron cortadas a -196 metros de profundidad (ICGC, 1993). Se le asigna una edad Plioceno Superior- Pleistoceno Inferior.
- **Formación Güines** : La formación en su conjunto se compone de calizas, en general masivas, organógenas, que se caracterizan por presentar un carso bien desarrollado, tanto superficial como subterráneamente. Entre las variedades de calizas que componen esta formación podemos encontrar las calizas coralinas, o arrecifales, las calizas organógeno detríticas, las organógeno relícticas, las calizas recristalizadas, las calizas dolomitizadas, las calizas arcillosas, las margosas y otras. En algunos casos es posible encontrar dolomitas, dolomitas calcáreas, calcarenitas y en algunas localidades margas calcáreas. En la Ciénaga, estas calizas se encuentran subyaciendo las rocas más jóvenes o aflorando en el borde norte de la cuenca.



Formación Güines

ESCENARIO GEOMORFOLÓGICO

La geomorfología de la región estudiada se caracteriza por el predominio de la morfología kárstica y la existencia de importantes depósitos de sedimentos fluvio-lacustres, los cuales en algunos sectores cubren las manifestaciones kársticas. Dicha morfología kárstica se encuentra representada por el predominio de las formas negativas (formas de absorción del karst), desarrolladas sobre las rocas descritas en el acápite anterior.

Esta región se encuentra constituida por mega estructuras formadas en el basamento plegado pre Eoceno Superior (Orogenia Cubana), son llanuras con predominio de ascensos neo tectónicos débiles o descensos relativos de bloques escalonados en estructuras monoclinales. Según Orbera (1988), la amplitud de los movimientos neo tectónicos alcanzan entre 0 y 10 metros, siendo esta una zona con un gradiente moderado de los movimientos y caracterizada por la existencia de fallas y tectó alineamientos bien definidos y paralelos a la costa de la Bahía de Cochinos.

Según la regionalización geomorfológico de Cuba, la zona de la Bahía de Cochinos, se encuentra ubicada en la mega región de Cuba Occidental, región Habana – Matanzas, en las llanuras cársicas del sur y este de La Habana – Matanzas, llanuras de Zapata, constituida por la llanura Mandadero – Jagua.

En la Ciénaga de Zapata aparecen un conjunto bien diferenciado de lagos o dolinas lacustres (**“casimbas”**, en la Ciénaga), muchas de ellas con depósitos fluvio-lacustres, los cuales constituyen marcadores o indicadores de los cambios climáticos ocurridos durante el Pleistoceno-Holoceno, lo cual se encuentra registrado en el polen fósil presente en dichas dolinas, las diatomeas y algas, así como otros elementos indicadores de las condiciones paleo ambientales y paleogeográficas presentes.

El estudio espeleométrico de las casimbas del Sistema Espeleolacustre de Zapata pone de manifiesto la existencia de varios niveles generales de karstificación, destacándose los niveles de -10 m, -35 m, -46 m, y -70 m (Balado et al, 1985, 1992, 1998), (Núñez Jiménez, 1985), ubicadas por lo general sobre la primera o la segunda terrazas emergidas con una altura promedio de 1 a 3 metros sobre el nivel del mar y cuyo modelaje pudiera estar asociado a etapas tardías del Interglaciario de Sangamon (aproximadamente 75 000 años A.P.).

Acerca de estos niveles, resulta muy interesante que el nivel de -30 a -35 metros por debajo del nivel del mar resulta un nivel generalizado en todo el área desde Las Bahamas, hasta Belice, por lo que podemos empezar a especular acerca de un período glaciario durante el cual los niveles del mar bajaron mucho y durante un largo tiempo, lo cual permitió el desarrollo de galerías y grandes espeleothemas en estas cavernas, de lo que son prueba todas las que hallamos en las cavernas de Belice, Yucatán, Cuba y Las Bahamas, sin olvidar República Dominicana y otros sitios del área (Balado y Nieto 2006).

En el caso de la Ciénaga Occidental de Zapata, los valores hipsométricos oscilan entre los 3 metros de altura en la porción oeste de la Ciénaga y los 2,2 metros sobre el nivel del mar en la porción este (quizás algo más según los últimos estudios).

Ahora bien, los rasgos que distinguen la morfología superficial de la Ciénaga de Zapata son sin lugar a dudas una serie de formas kársticas, fundamentalmente:

- Lapies
- Dolinas lacustres (casimbas)
- Cañones kársticos
- Puentes naturales
- Sumideros
- Manantiales kársticos
- Cavernas
- Caletas



Caleta típica de la costa de la Ciénaga de Zapata

Los grandes campos de lapies costeros y desarrollados en el interior del territorio (diente de perro, como se le conoce en la región y en Cuba en general), las caletas, que no son más que formaciones costeras producto de la asociación de manantiales que brotan a la costa con la erosión costera (R. Gutiérrez, E. Balado, 1992), los manantiales submarinos y costeros, las casimbas, las cuales difieren mucho en su morfología, génesis y desarrollo de los cenotes de Yucatán, razón por la cual nos oponemos firmemente a que sean denominadas estas formas con este nombre (incluso en plan comercial por la entidades turísticas, desmereciendo de esta forma nuestro propio paisaje). Además se hace necesario destacar, que las casimbas se encuentran asociadas en muchos casos a cavernas inundadas y manantiales los cuales no son más que otra manifestación del drenaje kárstico de la región.

Otra forma muy característica del karst de la región son las “**pozas**”, las cuales no son más que dolinas kársticas que quedaron sumergidas bajo el nivel del mar durante el último retroceso de los hielos polares y de las cuales podemos encontrar una gran cantidad en las áreas al sur de la Ciénaga Occidental.

Todas estas formas, encabezadas por las casimbas y las cavernas son las que distinguen el paisaje de la Ciénaga y constituyen un paisaje tan particular.

EL SISTEMA ESPELEOLACUSTRE DE ZAPATA

En el años 1800, el naturalista alemán Alejandro de Humboldt realizó un boqueo por la costa sur de la Península de Zapata, por lo que en su obra “**Ensayo Político de la Isla de Cuba**”, plantea.....”No se debe confundir con este calizo (Jurásico), de Güines, unas veces poroso y otras compacto, otra formación tan moderna que se puede creer que crece todavía en nuestro tiempo: quiero decir la del conglomerado calizo, que he visto en los cayos o islotes que rodean la costa entre el Batabanó y la bahía de Jagua, principalmente al sur de la ciénaga de Zapata, en Cayo Bonito, Cayo Flamenco y Cayo de Piedras”, y continua diciendo....” Muchos de los cayos de la isla de Cuba contienen agua

dulce y yo la he encontrado muy buena en medio de Cayo de Piedras. Cuando se reflexiona sobre la extremada pequeñez de estos islotes, se hace difícil creer que las charcas de agua dulce sean agua de lluvia no evaporada. Acaso provienen de una comunicación submarina del calizo de la costa, tonel que sirve de base a la reunión de pulpos litófitos, de modo que el agua dulce de Cuba se eleve por una presión hidrostática al través de la roca de corales de los Cayos, como sucede en la bahía de Jagua, donde en medio del mar forman fuentes que frecuentan los manatíes”.

Coscolluela (1914), en sus investigaciones sobre la Ciénaga de Zapata plantea...”Las cuevas de Zapata, muy numerosas en la zona oriental, manifiestan las aguas corrientes que han llevado en su seno, allá en tiempos remotos, por la concavidad de sus huecos en la piedra y que al desaparecer luego obedeciendo causas cuyas huellas abundan tanto en esta zona, como hemos visto, han dejado en seco sus antiguos cursos que han venido a ser luego cuevas y cavernas, algunas de difícil acceso, en toda la porción comprendida entre la Bahía de Cienfuegos y la Laguna del Tesoro”.

El conjunto de dolinas lacustres, cuevas, casimbas y lagos subterráneos, ubicados en el la zona kárstica de la Ciénaga Oriental, entre las bahías de Cochinos y Cienfuegos ha sido definido por la unicidad que presentan sus formas kársticas, drenaje y geología como el “**Sistema Espeleolacustre de Zapata**” (Núñez Jiménez, 1985). Este vasto sistema de cavernas y formas superficiales del karst se encuentra desarrollado a lo largo de un sistema de grietas de más de 70 kilómetros de longitud con dirección NW-SE y paralelo a la línea costera.



Casimba típica de la Ciénaga de Zapata

Las cavernas y formas kársticas pertenecientes al Sistema Espeleolacustre de Zapata, se encuentran en la actualidad inundadas por las aguas del acuífero costero.

La profundidad máxima de estas cavernas ha sido registrado en la “**Casimba XXXV Aniversario**” con -73 metros por debajo del nivel del mar, mientras que la caverna de mayor longitud, hasta el momento estudiada es el subsistema de casimbas “**Susana – Dagmar**”, con más de 450 metros de desarrollo lineal t que posiblemente pueda ser conectado con la casimba “**Ilona**” (El Copey), que tiene 366 metros de galerías exploradas linealmente.

Las cavernas del área son cavidades directas del subtipo transcurrentes, y que en algunos casos se encuentran inactivas hidrológicamente o al menos poseen un funcionamiento estacional o episódico. La sección transversal de sus galerías es gravitacional y la sección longitudinal sigue un modelo de canal lo cual se debe con toda seguridad a que se encuentran originadas siguiendo el patrón tectónico.

Las formas de erosión que aun pueden ser reconocidas en las paredes de dichas cavernas son los scallops, aunque muy enmascarados por otros procesos erosivos y el recubrimiento calcáreo, dichas formas también pueden ser observadas en los techos de las cavidades.

En algunas cavernas pueden ser observados espeleothemas, sobre todo en techo y paredes, es decir estalactitas y coladas y mantos. Sin embargo los sedimentos producto de la clastificación los más abundantes en estas cavernas, siendo los conos de origen graviclástico bastante abundantes en las cavernas de este sistema, así como las acumulaciones de sedimentos terrígenos mal consolidados, los cuales son capaces de enmascarar la real morfología del piso de estas cavernas.

A partir de todas las observaciones realizadas a lo largo de muchos años de exploración y estudio de las cavernas y el karst de esta región, hemos logrado elaborar una hipótesis acerca de la génesis y desarrollo de las mismas:

Al bajar el nivel del mar producto del primer gran avance de los hielos polares (glaciación **Nebraskiense**), quedan al nivel de la circulación de las aguas subterráneas (nivel de base), una serie de cavidades y grietas por las que comienza a producirse la circulación de las aguas subterráneas, tanto las provenientes de las precipitaciones, como las que ya se habían acumulado, ampliando dichos conductos por la acción de la corrosión y la disolución en las rocas de las aguas.

Cuando se produce el deshielo por la retirada de los hielos polares algunos conductos quedan inundados, mientras que por otros continúan circulando las aguas de las precipitaciones y las subterráneas, de esta manera se continúan los procesos de karstificación y cavernamiento en mayor o menor grado.

Al producirse un nuevo avance de los hielos (**Glaciación Kansaniense**), con el consabido descenso del nivel del mar, nos encontramos con que muchos conductos se han anastomosados producto de la disolución y también producto del descenso de las aguas las bóvedas de los techos de muchas galerías quedan descompensadas y se desploman, ya que las aguas en muchos casos ayudaban a compensar el peso de las mismas. Ello da inicio a los procesos clásticos en dichas galerías. En esta etapa dan comienzo también los procesos de depositación lito química.

Al final esta etapa se produce otro ascenso del nivel del mar, retroceden los hielo, el clima se hace mucho más húmedo, aumentan las precipitaciones y con ellas aumenta la mezcla de las aguas, reanudándose los procesos de disolución y corrosión de las rocas, aumentados por la mayor agresividad de las aguas de mezcla. En esta etapa se detienen los procesos lito químicos y se

minimizan los graviclásticos. Producto de la corrosión y la disolución son destruidas algunas formaciones lito químicas y huellas existentes en las paredes y techos de las cavernas.

Los hielos polares invaden de nuevo los territorios del Sur (**Glaciación ILLioisiense**), el nivel de los mares vuelve a descender, las cavernas ya formadas quedan secas de nuevo. En ellas se reanudan los procesos lito químicos y graviclásticos. En muchos casos las bóvedas de cavidades situadas paralelamente se unen formando cavernas con inmensos salones y largas galerías (Ilona, Laguna Larga, Dagmar, etc.), Durante esta etapa, en dichas cavidades se depositan también abundantes sedimentos terrígenos provenientes de los arrastres del exterior.

Se produce otro interglaciar, el último del este período glacial, las cavernas quedan sumergidas o parcialmente sumergidas durante un tiempo y muchos de los procesos iniciados se interrumpen por un largo tiempo, pues durante este período las aguas en algunos sitios suben hasta niveles jamás alcanzados. Gradualmente comienza a bajar la temperatura y ha cambiar el clima, se producirá el último gran avance de los hielos (**Glaciación Wisconsinense**), el descenso de las temperaturas alcanza niveles muy bajos en algunos períodos provocando un gran descenso del nivel del mar en esta región. Las bóvedas de muchos salones se desploman, dando lugar a aperturas de las cavidades hacia el exterior por primera vez en toda la historia de su desarrollo, lo que podríamos denominar como una etapa de **“dolinización”** en el desarrollo de las cavidades.

Finalmente, los hielos retroceden por última vez, se produce un gran deshielo y sube mucho el nivel del mar, quizás más que durante el último interglaciar. Muchas de las cavernas desarrolladas quedan ocupadas por las aguas, inundadas o reinundadas, aunque en muchos casos no completamente y solo pueden ser localizadas siguiendo los desplomes de sus salones (dolinas lacustres o casimbas).

Resulta muy importante tener en cuenta que el área abarcada por el avance de los hielos polares nunca fue la misma y por tanto cada una de las fluctuaciones del nivel de los mares fue completamente diferente y siempre alcanzo diferentes niveles y duración en el tiempo.

Desde el plano teórico se ha calculado que la fluctuación en el Mar Caribe y El Golfo de México alcanzó una intensidad de más menos 300 metros por lo que teóricamente pudiera esperarse hallar superficies karstificadas hasta esa profundidad o altura (lo segundo es un hecho comprobado), ahora bien se han hallado y estudiado cavidades karstificadas con una profundidad de 200 metros por debajo del nivel del mar actual en el archipiélago de Las Bahamas, como prueba del alcance e intensidad que tuvieron estos procesos en toda esta región.

Este hecho entonces nos permite comprender el por que de tanta diferencia entre las profundidades alcanzadas por las cavernas en un mismo sistema kárstico, lo cual no habla de cavidades con períodos muy largos de desarrollo, cavidades muy jóvenes, así como de cavidades que quedaron desconectadas de la red de circulación subterránea en algunos de sus períodos de desarrollo y de esta forma fue truncado el proceso de cavernamiento en las mismas.

Todo ello también nos habla de los complejos procesos que han dado origen a este complejísimo sistema kárstico donde cada hecho debe ser analizado con mucho detenimiento y siempre en relación con todos los procesos que han tenido lugar en la región en los diferentes períodos geológicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Balado, E. J., 1982. El fenómeno de la intrusión salina en las dolinas cársticas de Playa Larga, Bahía de Cochinos, Matanzas. Simposio 20 años de Desarrollo Hidráulico de Cuba, Ciudad de La Habana, 18 pp.
- Balado, E. J., 1986. Estudio Hidrogeoquímico de las aguas de una casimba cárstica en la Ciénaga de Zapata. CENIC, Ciudad de La Habana, 16 pp.
- Balado, E. J., 1986. Breves notas acerca del carso y la espeleometría de la costa este de la Bahía de Cochinos, Prov. Matanzas. Simposio Sociedad Espeleológica de Cuba, Ciudad de La Habana, 10 pp.
- Balado, E. J., 1989. Hidrogeoquímica del carso litoral del este de la Bahía de Cochinos. Sociedad Espeleológica de Cuba, Ciudad de La Habana, 25 pp.
- Balado, E. J., 1991. El carso de la costa este de la Bahía de Cochinos, Ciénaga de Zapata, Prov. De Matanzas. Sociedad Espeleológica de Cuba, Ciudad de La Habana, 44 pp.
- Balado, E. J., 1992. Las cavernas y el karst del estado de Yucatán, Republica de México. Segundo Encuentro de Espeleólogos de Yucatán, UADY, Mérida, 20 pp.
- Balado, E. J., 1995. Las Cavernas Sumergidas del Sur de Cuba Occidental. Primer Congreso de la Sociedad Espeleológica de Cuba, Ciudad de La Habana, 15 pp.
- Balado, E. J., 2002. Los karst sumergidos de la región del Caribe y el Golfo de México. Conferencia.
- Balado, E. J., 2002. Niveles de cavernamiento y erosión en la llanura kárstica sur-este de la Republica Dominicana. 3er Congreso de Ciencias Geológicas, La Habana, Cuba, 20 pp.
- Balado, E. J., 2004. Desarrollo del karst de la Ciénaga de Zapata, provincia de Matanzas, Cuba. Solicitud del sistema como Patrimonio Natural de la Humanidad, documento entregado a la UNESCO
- Balado, E. J., 2004. Características generales del karst y las cavernas del Sistema Espeleolacustre de Zapata, Ciénaga Oriental de Zapata. Prov. Matanzas, Cuba. Taller Internacional Antropología 2004, Ciudad de La Habana, 10 pp.
- Bueno Naranjo, M., 1992. Trabajos varios sobre la Ciénaga de Zapata. INRH. Delegación Provincial de Matanzas, Cuba, 1992.
- González, A. y Feitó, R., 1997. Obras costeras contra la intrusión salina para el beneficio de los recursos explotables de una cuenca subterránea. Libro Investigaciones Hidrológicas en Cuba, pp. 71-86. Eds. D. M. Arellano, M. A. Gómez-Martín, I. Antigüedad.
- Núñez Jiménez, A., 1985. El Sistema Espeleolacustre de Zapata. Libro Resumen Simposium XLV Aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba, La Habana, pp. 38-40.
- Pajón, J. M., 2001. Reconstrucción paleo climática y paleo ambiental del Pleistoceno Tardío – Holoceno para Cuba Occidental. Monografía, Ciudad de La Habana, 273 pp.

BREVE CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS Y EL CARSO EN LA CUENCA SUPERIOR DEL RÍO MAYABEQUE

Efrén Jaimez Salgado⁽¹⁾, Mario Guerra Oliva⁽¹⁾, Mario Campos Dueñas⁽¹⁾, Betty Gutiérrez Pérez⁽¹⁾

(1) Instituto de Geofísica y Astronomía, Agencia de Medio Ambiente, CITMA. Calle 212 No. 2906 e/ 29 y 31. Reparto La Coronela, La Lisa, C. de la Habana.

RESUMEN

Se realiza una caracterización de los suelos y el carso en la *Cuenca Superior del río Mayabeque* a partir de la actualización del Mapa de Suelos, escala 1:25 000 y muestreos de comprobación de campo. Se corrobora que la erosión es el principal proceso degradativo en la cuenca (34.9 %). A pesar de eso, la misma alcanza categoría fuerte sólo en el 9.6 %. Las principales medidas deberán estar encaminadas a la reforestación y prácticas integrales de manejo de suelos. Otros procesos degradativos son la alcalinización, hidromorfía, compactación, y empobrecimiento de los suelos por la actividad sufosiva en áreas de carso activo. Se constató que el 71.4 % de la cuenca está desarrollada sobre rocas solubles, siendo el subtipo carso cubierto por una delgada capa de suelos predominante en la cuenca (38.3 %), mientras el carso estabilizado constituye el segundo por su distribución (16.5 %). Las unidades con subtipo de carso desnudo y semidesnudo (4.5 %), son las que presentan mayor grado de peligro y vulnerabilidad dentro del conjunto de peligros de origen cársico.

ABSTRACT

It's made a karst and soils characterizations into Superior Basin of Mayabeque River from update Soil Map, 1: 25 000 scale, and confirmation field samplings. It's corroborated that erosion is the mean degradativo process in the basin (34.9 %). However, this one gets the strong category only for 9.6 %. The most important measures must be guided to reforestation and integral practices in soil management. Other degradativos processes are alcalinization, redox, compaction, and soils impoverishment because sufosiva activity in active karst areas. It's verified that 71.4 % of the basin is developed on soluble stones, being the covered karst for a thin soil layer predominant (38.3 %), while stabilized karst is the second one for distribution (16.5 %). The units with naked and seminaked karst (4.5 %) are those one which most danger and vulnerability grade into the group of the karst threats in the region.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Mampostón, con unos 460.5 km² aproximados de extensión superficial, se encuentra ubicada en la mitad norte de la cuenca del río Mayabeque, Municipio Güines, provincia Habana.

La misma se caracteriza por presentar un interesante mosaico de suelos entre los cuales son predominantes los pertenecientes al agrupamiento *Ferráltico* (38.3 %), seguidos por los del agrupamiento *Pardo Sialítico* (23 %) y en tercer lugar por los suelos del agrupamiento *Ferrálico* (16.5 %).

En el presente trabajo se presenta una breve caracterización de este recurso natural agotable y su estado ambiental actual en el área de la cuenca superior del Mayabeque, así como la identificación de las principales unidades cársicas (a nivel de subtipo de carso) de la misma, de acuerdo con la

intensidad de los procesos de carsogénesis presentes en la cuenca en combinación con el tipo y grado de cobertura edáfica del carso epigeo o carso de superficie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo parte de todo un conjunto de datos e información cartográfica disponibles a partir del uso combinado de los mapas, Genético de Suelos del área, escala 1: 100 000 (Instituto de Suelos) y Mapa de Suelos, escala 1: 25 000 del MINAG, los que fueron utilizados como bases cartográficas para los recorridos y comprobaciones de campo para la identificación de los principales procesos degradativos y la actualización del diagnóstico y clasificación de los suelos, así como los diferentes grados de cobertura edáfica (según profundidad pedológica y efectiva). Se realizaron varias expediciones de comprobación y caracterización de suelos a partir del muestreo y aplicación de técnicas empíricas y analíticas simples. Se tomó como criterio para la confección del *Mapa de Erosión Actual de los Suelos*, el de la comparación de patrones de pérdidas del “solum” de acuerdo con los “horizontes de referencia” del *Soils World Reference Base* y su correlación con los *horizontes normales de diagnóstico* de la *Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba* (Instituto de Suelos, 1999).

Se identificaron y se cartografiaron las principales unidades cársicas a niveles de tipo y subtipo de carso superficial, tomando como criterios la “presencia – ausencia” de rocas solubles en el territorio (geología) en combinación con los escalones altitudinales (relieve) para la identificación de los tipos de carsos, así como la intensidad de la carsogénesis en combinación con el tipo y grado de cobertura edáfica para la identificación y representación cartográfica de los diferentes subtipos de carso epigeo.

DISCUSIÓN

En términos generales, puede decirse que los suelos del agrupamiento *Ferralítico* (Instituto de Suelos, 1999) son los de mayor distribución geográfica dentro del contexto del área que ocupa la cuenca superior del río Mayabeque. Estos se caracterizan en sus condiciones naturales, por ser suelos productivos y en ocasiones hasta muy productivos (Clases Agrológicas I y II según Cairo y Quintero, 1980), de perfil completo (ABC), con muy buena estructura para el laboreo agrícola, adecuado pH, buena aireación, buena retención de humedad, adecuado contenido de materia orgánica, etc. No obstante ello, hay que admitir que siglos de explotación agrícola no racional e insostenible, han provocado que muchos de estos valiosos suelos se encuentren afectados hoy día en alguna medida por determinados procesos degradantes que ocasionan mermas en los rendimientos óptimos esperados por cultivo. El área de estudio no escapa de esta realidad, tal y como se aprecia en el mapa de la Fig. 1. con la presencia de todo un mosaico de colores (Leyenda en Anexo, al final del informe) en el que sólo el fondo cualitativo determinado por el color verde oscuro, representa aquellas unidades de suelos en las que no fue detectado proceso degradativo alguno.

La Tabla I ofrece un resumen general del conjunto de procesos degradantes presentes en los suelos del área, que pudieron ser identificados y cartografiados en la cuenca superior del río Mayabeque durante los trabajos de campo realizados.

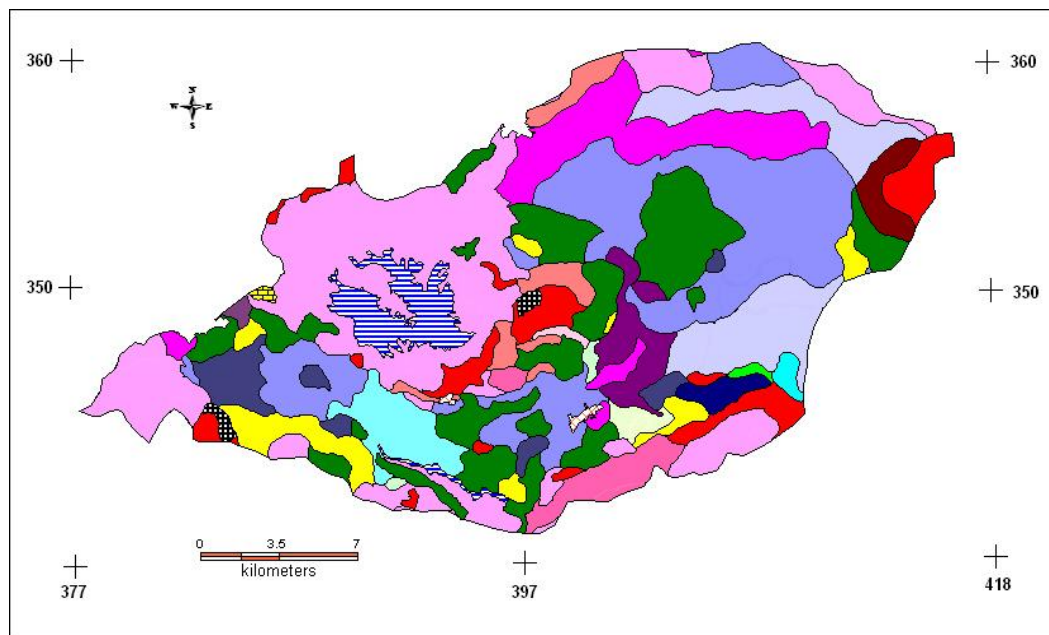


Fig. 1 Mapa de los principales procesos degradativos en los suelos del área de estudio

Tabla I. Principales procesos degradantes identificados en los suelos del área de estudio

No	Principales procesos degradativos	Principales agrupamientos de suelos afectados	Área (km ²)	%
1	Erosión actual	Todos excepto Hidromórfico y Vertisol	160.7	34.9
2	Alcalinización potencial	Ferrálico, Fersialítico, Hidromórfico, Vertisol	76.2	16.5
3	Alcalinización actual	Húmico Sialítico y Pardo Sialítico	67.1	14.6
4	Otros problemas de drenaje	Vertisol, Ferrálico, Ferralítico	61.8	13.4
5	Compactación intensa	Ferrálico, Vertisol, Ferralítico	41.48	9
6	Procesos reductores intensos (hidromorfía)	Hidromórfico	32	6.9
7	Empobrecimiento	Ferrálico y Ferralítico	20.6	4.5
8	Disminución materia orgánica	Ferrálico	2.4	0.5

Como se aprecia en la tabla, los suelos del agrupamiento *Ferralítico* son los que poseen menor grado de afectación por procesos degradativos, lo que se traduce en términos ambientales y agrícolas en una mejor aptitud agroproductiva (Clase I y II) en relación a los restantes grupos de suelos presentes en el área. No obstante, es necesario destacar la presencia de un evidente proceso de empobrecimiento de algunos de estos suelos (disminución de la profundidad efectiva y pedológica del suelo) como consecuencia de la actividad combinada del carso y la tala de la vegetación natural en estas áreas. No obstante lo anterior y como se puede apreciar a su vez en la Tabla I, la erosión actual y potencial de los suelos de la cuenca del Mampostón, es sin lugar a dudas el principal proceso degradativo que afecta una mayor área de suelos en la subcuenca del Mampostón, estando representada la misma en diferente grado en todos los agrupamientos con excepción del *Hidromórfico* y el *Vertisol*.

La siguiente tabla ofrece un resumen del comportamiento de la erosión actual dentro de esta subcuenca de la cuenca superior del río Mayabeque.

Tabla II. Erosión actual de los suelos en la Cuenca Superior del Mayabeque (pérdidas de suelo por horizontes de diagnóstico o de referencia)

Categorías de erosión	Principales agrupamientos afectados	Área (km ²)	%
Muy Fuerte	Poco Evolucionados	11.6	2.5
Fuerte	Poco Evolucionados, Pardo Sialítico, Húmico Sialítico, Ferrálico	32.7	7.09
Moderada	Todos excepto Hidromórfico y Vertisol	16.5	3.6
Moderada a Poca	Pardo Sialítico, Húmico Sialítico, Ferrálico	62.2	13.5
Poca	Pardo Sialítico, Ferralítico, Ferrálico, Fersialítico	37.4	8.12
Muy Poca	Hidromórfico, Vertisol, Ferrálico, Ferralítico	299.8	65.1

Del análisis de la Tabla II se deduce que, aún cuando alrededor de unos 160.7 km² de esta importante subcuenca están afectados en uno u otro grado por el fenómeno de erosión de sus suelos (el 34.9 % del total), este pernicioso fenómeno que puede conducir a mediano o largo plazo a la desertificación, es como se aprecia en la Fig. 2 de categoría severa (fuerte a muy fuerte) sólo en alrededor del 9.6 % del área, por lo que las principales medidas deberán estar encaminadas a una repoblación forestal y manejo eficiente de estas áreas caracterizadas por sus tierras magras, así como a prácticas adecuadas de manejo de los suelos agrícolas en las áreas restantes.

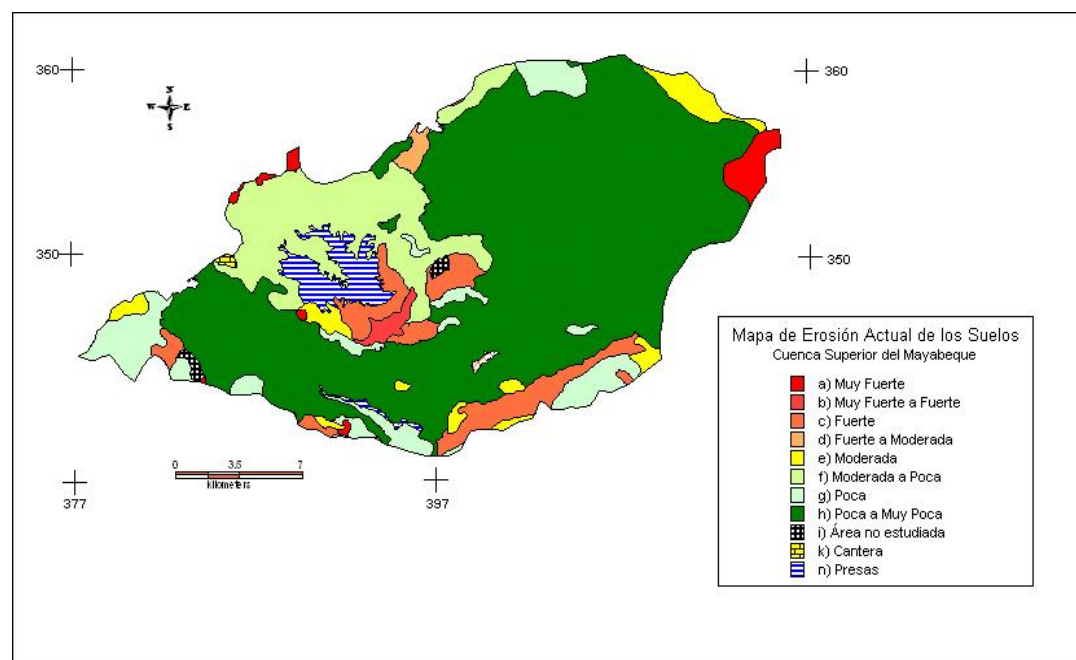


Fig. 2 Mapa de Erosión Actual de los Suelos del área de estudio (según patrones de pérdida de suelos por horizontes de diagnóstico u horizontes de referencia).

Los suelos del agrupamiento *Pardo Sialítico* son como se expuso al inicio, los segundos en cuanto a su distribución geográfica en el área de la subcuenca del Mampostón (algo más del 23 %) y a diferencia de los *Ferralíticos*, son los suelos agrícolas con mayor grado de afectación por erosión

actual y potencial dentro de la misma, con categorías de Moderada en la mayor parte de los casos, por lo que en este sentido, deberían ser objeto de un mejor análisis en cuanto al uso y manejo que poseen actualmente, así como de las medidas antierosivas que se aplican o deberían aplicarse en caso de no existir, con vista a minimizar este proceso.

El tercer agrupamiento de suelos de importancia en el área, está representado por los suelos *Ferrálicos* (16.5 %), los que junto con los suelos *Ferralíticos*, ocupan una parte significativa de las partes más llanas y estables de la subcuenca. Estos suelos no habían sido separados como un agrupamiento independiente antes de 1995 (Instituto de Suelos, op. cit) por lo que sus características edáficas y agroproductivas estuvieron hasta entonces en sinonimia con sus análogos (pero no homólogos) del agrupamiento *Ferralítico*. A diferencia de los últimos, los suelos *Ferrálicos*, formados también bajo un proceso pedogenético de ferralitización (incompleta), se caracterizan por sus elevados tenores de cationes intercambiables (con $T > 20 \text{ cmol (+). Kg}^{-1}$), pH neutro hasta ligeramente alcalino, y estructura de los agregados algo mayor que en los *Ferralíticos*, lo que los hace algo más densos y desfavorables para el laboreo agrícola, con elevada tendencia a la compactación de sus horizontes superiores y horizonte de diagnóstico. Justamente, estos suelos son los que mayor afectación por compactación intensa, presentan en el área de estudio, con alrededor de 9 % del total afectado por este proceso degradativo. Otros suelos presentes en la Cuenca Superior del Mayabeque son los del agrupamiento *Hidromórfico* (10.8 %) con presencia de fuerte procesos reductores en ambientes de drenaje insuficiente (encharcamiento prolongado), los suelos del agrupamiento *Húmico Sialítico* (3.7 %) con predominio de suelos rendziniformes (*Rendzinas*) y marcada tendencia a la alcalinización por altos tenores de CaCO_3 residual en el perfil, los suelos Poco Evolucionados con predominio del tipo *Lithosol Éutrico* (3.3 %) fuertemente erosionados, los suelos *Fersialíticos* (1.4 %), los vertisuelos (*Vertisoles*) caracterizados por el predominio de las arcillas hinchables en el perfil (0.8 %) y finalmente el agrupamiento *Fluvisol* (sólo el 0.5 % del total), asociados a algunos planos de inundación y primeras terrazas aluviales del río Mampostón y sus tributarios como se muestra en la Fig. 2). La tabla siguiente resume los diferentes agrupamientos de suelos y su grado de distribución, en el área de interés.

Tabla III. Agrupamientos de suelos del área de estudio (actualizado según Instituto de Suelos, Op. Cit).

No	Agrupamiento de Suelo	Clase Agrológica	Área (km ²)	%
1	Ferralítico	Clases I y II	176.5	38.3
2	Pardo Sialítico	Mayormente Clase III	105.99	23.01
3	Ferrálico	Clase II	76.2	16.5
4	Hidromórfico	Clases III y IV	49.6	10.8
5	Húmico Sialítico	Clases IV y V	17.01	3.7
6	Poco Evolucionados	Clases VI a VIII	15.1	3.3
7	Fersialítico	Mayormente Clase III	6.2	1.3
8	Vertisol	Clase IV	3.8	0.8
9	Fluvisol	Clase III	2.4	0.5

Leyenda de la Tabla III según Clase Agrológica del Suelo

I: Muy Productivos. II: Productivos. III: Medianamente Productivos. IV: Medianamente a Poco Productivos. V: Poco Productivos VI y VII: Muy Poco Productivos (sólo valor forestal). VIII: Improductivos (sólo valor ecológico).

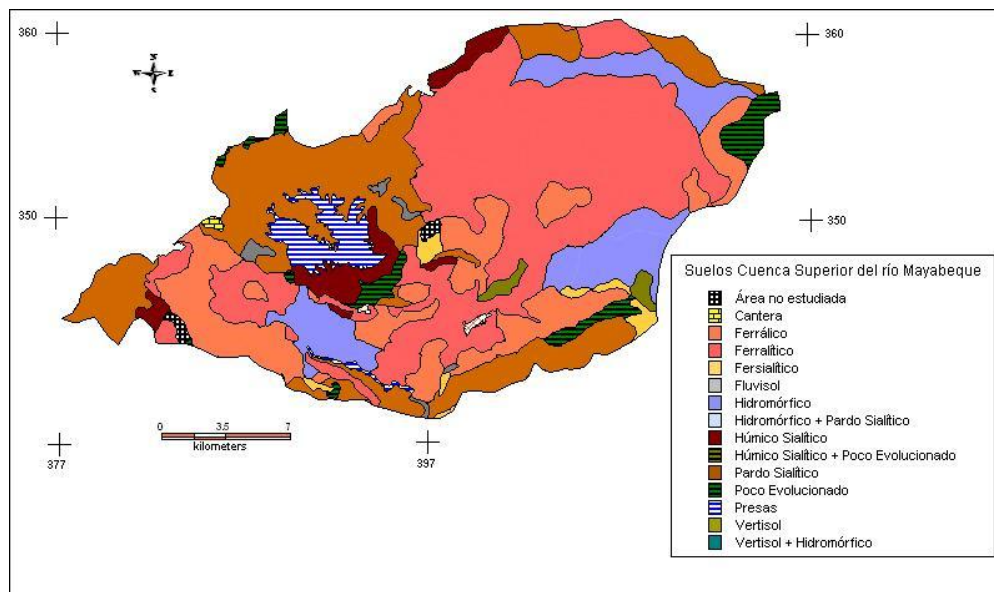


Fig. 3 Mapa Genético de Suelos actualizado de la Cuenca Superior del río Mayabeque

Las principales medidas que deben ser tomadas en consideración en el área, encaminadas a lograr un desarrollo agrícola y silvícola sostenible son:

- ✓ La adecuada y eficiente repoblación forestal de la cuenca, fundamentalmente en las franjas hidrorreguladoras y las áreas más afectadas por erosión actual y potencial
- ✓ El establecimiento de otras prácticas antierosivas en las áreas con suelos agrícolas afectados por erosión (especialmente suelos *Pardos* y *Húmicos Sialíticos*) tales como: el arroje del suelo durante los períodos de barbecho, empleo de tranques y barreras artificiales en el caso de desarrollo de surcos y/o cárcavas, evitar el sobrepastoreo, la aradura incorrecta, y la utilización de estas áreas en frutales y otros cultivos de ciclo largo
- ✓ La implementación de técnicas de labranza mínima y el empleo de implementos agrícolas especializados tales como el multigrado.
- ✓ La aplicación de medidas adecuadas de riego y drenaje de las áreas afectadas por encharcamientos temporales, así como el uso de agua de buena calidad (en lo posible evitar el uso de aguas bicarbonatos magnésicas)

Breve Caracterización del Carso superficial (epigeo) en la Cuenca Superior del río Mayabeque

La Cuenca Superior del río Mayabeque (subcuenca del Mampostón) discurre en su mayor parte sobre un territorio con un relieve de características cársicas (relieve carsificado).

De acuerdo con datos obtenidos de la topología del *Sistema de Información Geográfica* montado sobre plataforma de MapInfo Profesional (Versión 8), alrededor del 71.4 % del total de la Subcuenca del río Mampostón (328.7 km²), está desarrollada sobre rocas solubles, esencialmente calizas y en menor grado calizas margosas, cada uno de ellas con diferente grado de carsificación. De ellas, las llanuras cársicas constituyen el tipo de carso superficial (epigeo) predominante dentro del área de estudio ocupando alrededor del 64 % del área total, mientras que las alturas cársicas distribuidas básicamente hacia la periferia de la subcuenca del Mampostón (Fig. 4), representan solamente el 7.6 % del área total de la misma.

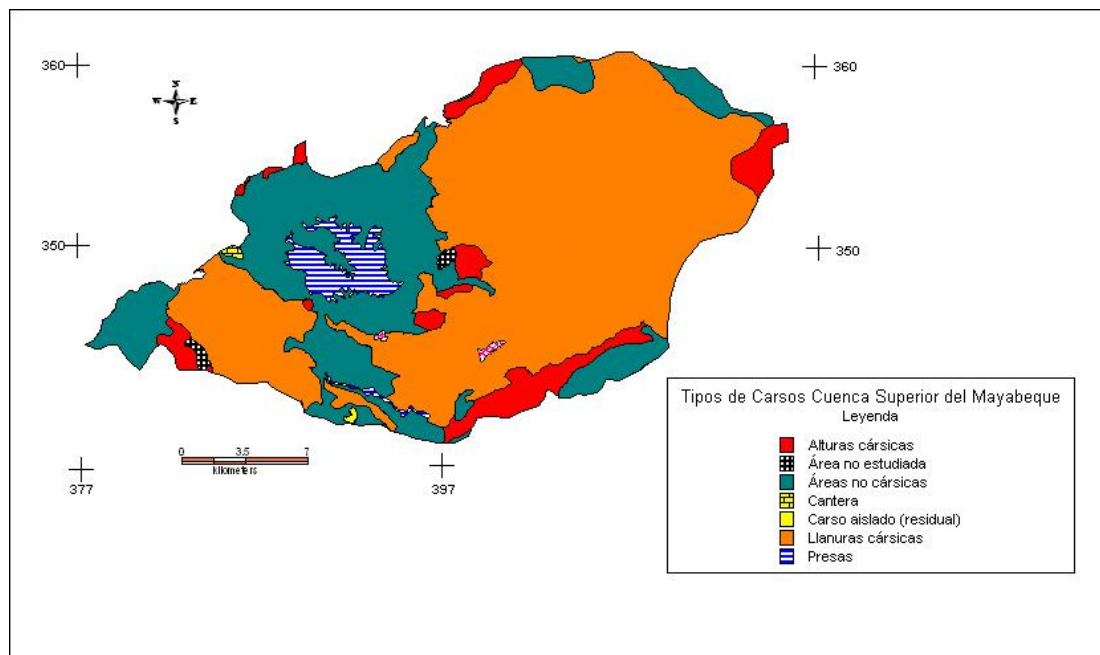


Fig. 4. Mapa de Distribución de los Tipos de Carsos presentes en el área de la cuenca

Como se aprecia en la figura, más del 70 % del área total de esta subcuenca posee un relieve de origen cárstico, predominando dentro de este las llanuras cársticas (color naranja) en tanto las alturas de este tipo se limitan a las áreas periféricas. Las regiones destacadas en color verde olivo, se corresponden en el mapa con áreas no cársticas. La tabla siguiente ofrece una idea más acabada de la vulnerabilidad del territorio de acuerdo a los subtipos de carso presentes a su vez en la misma, definidos de acuerdo con Mateo (1981) y Núñez Jiménez et al (1984).

Tabla IV. Grado de distribución de los Subtipos de Carsos presentes en la Cuenca Superior del Mayabeque

No	Subtipo de Carsos según tipo y grado de cobertura edáfica y carsogénesis	Área (km ²)	%
1	Carso cubierto por una delgada capa de suelo	176.5	38.3
2	Carso estabilizado (variante del carso cubierto, con grado de carsogénesis inferior que el primero)	76.2	16.5
3	Carso cubierto por depósitos potentes (marinos, lacustres, aluviales, etc)	40.8	8.8
4	Carso desnudo y semidesnudo (con afloramiento de lapiez, carsolitos, etc)	20.8	4.5
5	Paracarso desnudo (en calizas suaves o margosas)	6.4	1.4
6	Paracarso cubierto por una delgada capa de suelo (calizas suaves)	1.97	0.4

Como se aprecia en la tabla, el subtipo de carso cubierto por una delgada capa de suelos es predominante dentro de las llanuras cársticas presentes en la cuenca (38.3 %), lo que constituye un aspecto que debe ser tenido muy en cuenta desde el punto de vista del manejo de los territorios en virtud de la vulnerabilidad ambiental de acuíferos en cuanto aportes posibles contaminantes, subsidencias e incluso eventuales hundimientos por colapsos de bóvedas de cavernas, así como pérdidas en el escurrimiento que pueden tener lugar por infiltración al carso.

El subtipo de carso estabilizado (variante del carso cubierto con grado inferior de los procesos de

carsogénesis), es el segundo en cuanto a su distribución geográfica dentro del área de la Cuenca Superior del Mayabeque, tal y como se muestra en la Tabla IV, siendo estas las áreas o unidades del carso superficial y subterráneo con menor grado de peligro y vulnerabilidad dado el relleno natural de cavidades y estabilidad general de los procesos. Con todo, hay que prestar atención ante posibles fuentes y focos contaminantes por efluentes orgánicos, que no sólo podrían llegar a contaminar eventualmente los acuíferos subterráneos, sino desobstruir “paleoconductos” en proceso de estabilización a largo plazo.

La siguiente figura ofrece una idea más general de la distribución de los diferentes subtipos de carso superficial (epigeo) presentes en el área, de acuerdo al grado de cobertura edáfica y actividad del carso (carsogénesis).

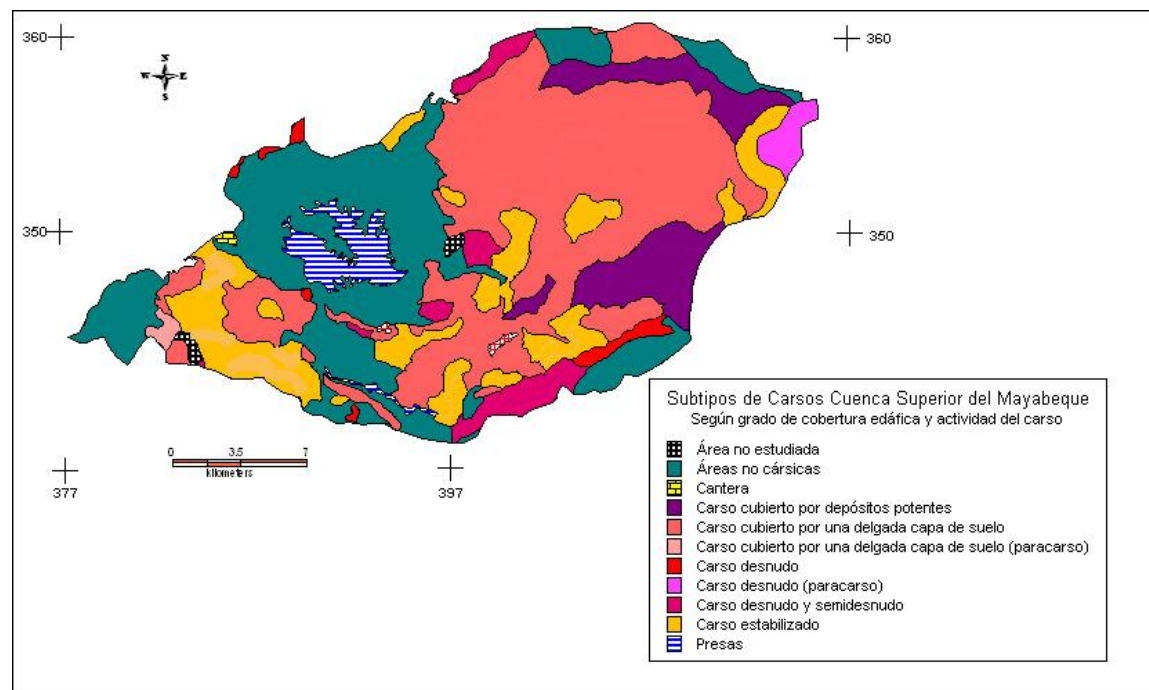


Fig. 5. Mapa de los Subtipos de Carsos presentes en la Cuenca Superior del Mayabeque

Como se puede apreciar en la Fig. 5, el subtipo de carso cubierto por depósitos de potencia (en ocasiones con más de 10 m de espesor), representado en el mapa por el fondo en color violeta, ocupa el tercer lugar dentro del área (8.8 %) constituyendo estas las unidades menos vulnerables dentro del conjunto del área con presencia de rocas solubles (carsificables) en la subcuenca.

Las unidades de mayor grado de peligro y vulnerabilidad son aquellas correspondientes al carso desnudo y semidesnudo (4.5 %), con abundantes campos de lapiez, pavimentos calcáreos, carsolitos, dolinas, etc., las que en el área de esta subcuenca sólo aparecen distribuidas hacia la periferia de la misma. Estas unidades, constituyen a nuestro juicio aquellas que deberán ser objetos de una mayor atención y vigilancia en cuanto a la protección del recurso agua (tanto superficial como subterránea) dentro del conjunto de las unidades cársticas que afloran en la Subcuenca del Mampostón. Capítulo aparte sin embargo es el caso de unidades clasificadas con subtipo “paracarso” desnudo (de acuerdo con Panos, 1988), fundamentalmente distribuidas hacia el extremo nordeste de la subcuenca, (1.4 %) y en la que a pesar del poco grado de cobertura edáfica, el grado e intensidad de los procesos de carsificación superficial y subterránea es mucho menor que las unidades antes

referidas, dado el carácter menos soluble de las litologías aquí presentes (calizas suaves o margosas). La tabla siguiente ofrece un estimado del grado de peligro (P) entre 0 y 1, para los escenarios cársicos en el área, de acuerdo con criterios de autores.

Tabla V. Principales escenarios de peligros cársicos según subtipos de carsos en la cuenca

No	Subtipo de Carso según grado de cobertura edáfica y carsogénesis	(P)	Categoría de Peligro
1	Carso desnudo y semidesnudo	0.9	Fuerte hasta Muy Fuerte
2	Carso cubierto por una delgada capa de suelo	0.7	Medio
3	Carso estabilizado	0.5	Bajo a Medio
4	Paracarso desnudo (en calizas suaves o calizas margosas)	0.4	Bajo
5	Paracarso cubierto por una delgada capa de suelo (calizas suaves)	0.3	Bajo
6	Carso cubierto por depósitos potentes (marinos, lacustres, aluviales, etc)	0.2	Muy Bajo
7	Áreas no cársicas	0	Ausente

Como se aprecia, el valor estimado del Índice $P = 0.9$ es equivalente a una categoría de peligros considerada como *Fuerte*, en virtud de la muy escasa cobertura de suelo y el grado de intensidad de la carsogénesis superficial y subterránea. No se consideraron valores de P iguales a 1 en virtud de la escala de trabajo, lo que indica la necesidad de realizarse estudios a escala detallada (escalas 1:10 000 o superiores), en caso de evaluación de áreas puntuales para microlocalización y emplazamiento de futuras obras ingenieras o de cimentación, evitándose en este sentido la posible imposición de cargas superiores a la capacidad soportante de bóveda de los paquetes de rocas carsificadas.

Resumiendo, puede decirse que aunque el territorio de la Cuenca Superior del Mayabeque (Subcuenca del Mampostón) es de carácter fuertemente cársico, el grado de mayor peligrosidad y vulnerabilidad aquí se centra en las unidades cartografiadas pertenecientes al subtipo de carso desnudo y semidesnudo (4.5 %) y en segunda instancia, en las unidades de carso cubierto por una delgada capa de suelos, con el 38.3 % del total del área estudiada.

Finalmente las unidades no cársicas (28.6 %) constituyen las áreas completamente exentas de este tipo de peligro y aparecen en el Mapa de Tipos y Subtipos de Carsos con fondo de color verde intenso.

CONCLUSIONES

1. Los suelos del agrupamiento *Ferralítico* son los de mayor distribución geográfica (176.5 km²) dentro del área que ocupa la cuenca superior del río Mayabeque (subcuenca del Mampostón).
2. A pesar de que se trata de los suelos con mejores aptitudes agroproductivas (Clases I y II) es necesario señalar la existencia de un proceso enmascarado de *empobrecimiento* de algunas unidades (4.5 %), con disminución de la profundidad efectiva del solum, consecuencia de la actividad combinada del carso y la tala de la vegetación natural en estas áreas.
3. La *erosión actual y potencial* constituye el principal proceso degradativo que afecta la mayor parte de los suelos presentes en la subcuenca, afectando en diferente grado o categoría a todos los agrupamientos, con excepción del *Hidromórfico* y el *Vertisol*. A pesar de que alrededor del 34.9 % del área está afectada por *erosión*, este pernicioso fenómeno que puede conducir a la desertificación de los territorios afectados alcanza categorías de fuerte a muy fuerte solamente en el 9.6 % del área de la cuenca. Las principales medidas deberán estar encaminadas a una

repoblación forestal y manejo eficiente de sus tierras magras, así como a la aplicación de prácticas integrales de manejo de suelos en las tierras agrícolas restantes.
























4. Otros procesos degradativos presentes en los suelos de la cuenca son: la *alcalinización* (14.6 %), *problemas de drenaje* (13.4 %) incluida la *hidromorfía* del perfil (6.9 %), la *compactación* intensa (9.0 %) y el ya referido proceso de *empobrecimiento* de algunas áreas de suelos rojos debido a la tala y la actividad sufosiva del carso (4.5 %).
5. Alrededor del 71.4 % del total de la subcuenca del río Mampostón (328.7 km²), está desarrollada sobre rocas solubles de distinto grado de pureza e intensidad de los procesos de carsificación, siendo las llanuras cársicas el tipo de carso superficial predominante (64 %), mientras que las alturas cársicas, distribuidas hacia la periferia, representan solamente el 7.6 % del total.
6. El subtipo de *carso cubierto por una delgada capa de suelos* es predominante dentro de las llanuras (38.3 %), mientras que el subtipo de *carso estabilizado* (16.5 %), es el segundo por su distribución geográfica, siendo este último el de menor peligrosidad dentro del conjunto del área carsificada.
7. Las unidades de mayor grado de peligro y vulnerabilidad corresponden al carso desnudo y semidesnudo (4.5 %), con abundancia de campos de lapiez, pavimentos calcáreos, carsolitos, dolinas, cuevas, etc.; las que en el área de la subcuenca aparecen distribuidas también hacia la periferia. Las mismas, han sido evaluadas provisionalmente con categoría “fuerte” dentro de los peligros cársicos (con un Índice de Peligrosidad estimado de $P = 0.9$), en virtud de la escasa cobertura edáfica y alto grado de intensidad de la carsogénesis superficial y subterránea que presentan.

BIBLIOGRAFIA

- CAIRO, P.; G. QUINTERO (1980): Suelos. Editorial Pueblo y Educación. La Habana: 353 – 358.
INSTITUTO DE SUELOS (1999): Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Editorial AGRINFOR. La Habana: 64 pp.
MATEO, J. (1981): Morfología Cársica. Edición Universitaria. La Habana: 310 pp.
NÚÑEZ JIMÉNEZ, A. et al (1984): Cuevas y Carsos. Editora Militar. La Habana: 431 pp.
PANOS, V (1988): Carsos de Cuba Oriental: Regionalización, Tipología, Utilización. *Studia Geographica* (91). Ceskoslovenska Akademie Ved Geografický Ústav. Brno: 194 pp.

ANEXO I. Leyenda de la Fig. 1

Suelos Cuenca Superior del Mayabeque
Principales Procesos Degradantes

-  Alcalinización actual o potencial
-  Área no estudiada
-  Cantera
-  Compactación
-  Compactación y alcalinización actual o potencial
-  Compactación y problemas de drenaje
-  Compactación, empobrecimiento, alcalinización actual o potencial
-  Empobrecimiento (antrópico), alcalinización actual o potencial
-  Empobrecimiento y alcalinización actual o potencial
-  Empobrecimiento y problemas de drenaje
-  Empobrecimiento, problemas de drenaje, alcalinización actual o potencial
-  Erosión
-  Erosión y empobrecimiento
-  Erosión y empobrecimiento (antrópico)
-  Erosión, alcalinización actual o potencial
-  Erosión, empobrecimiento, alcalinización actual o potencial
-  Hidromorfía y problemas de drenaje
-  Hidromorfía y problemas de drenaje, compactación
-  Presas
-  Problemas de drenaje
-  Problemas de drenaje y alcalinización actual o potencial
-  Problemas de drenaje, compactación, alcalinización actual o potencial
-  Sin procesos degradantes

REGIONALIZACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS CONTENIDAS EN EL MACIZO SERPENTINÍTICO DE LA CIUDAD DE HOLGUÍN CON VISTAS AL ABASTO EMERGENTE

Autores: MSc. Sara Fernández Cruz¹, DrC. José Manuel Cordovéz Pedrianes²

- (1) Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales y Tecnológicos. CISAT. CITMA. Calle 18 e/ Primera y Maceo, Holguín. sara@cisat.holguin.inf.cu
(2) Agencia de Investigaciones Regionales. Geocuba. Holguín. Car. Central km 2½, vía Bayamo. Holguín. agrcitec@holguin.geocuba.cu

RESUMEN

Las desfavorables características acuíferas de las rocas serpentiniticas localizadas en zonas de la ciudad de Holguín, asociadas a las condiciones meteorológicas críticas de persistente sequía, y el mal manejo de explotación de las fuentes de abasto, son los factores de mayor incidencia en los problemas de escasez de este recurso en la localidad holguinera. Estas razones evidencian la imperiosa necesidad de elevar la calidad y eficiencia de la Gestión del recurso agua a través de la evaluación de los elementos físicos y climáticos que intervienen en el comportamiento del régimen de las aguas subterráneas contenidas en el macizo serpentinitico, ya que el 80% de la población se abastece de esta fuente. Se presenta a partir de la aplicación del Modelo Digital del Terreno, la utilización de imágenes satelitales, y Sistemas de Información Geográfica, una Regionalización Hidrogeológica. Esta Zonificación de las áreas perspectivas para la explotación de las aguas subterráneas, es el resultado del análisis de mapas temáticos como son: mapa geológico, mapa de agrietamiento, mapa de profundidad de yacencia, mapa de hidroisoipsas y químico. Con este resultado se garantiza el uso racional y sostenibilidad de este recurso ya que permite y facilita la elección de alternativas más favorables de proyectos de abastos que reducen el costo de explotación y el costo ambiental, a partir de la propuesta de un sistema de principios para la validación de los resultados de los indicadores espaciales para el abasto emergente, que a su vez son generalizables a la aplicación de proyectos perspectivas similares

ABSTRACT

The unfavorable aquiferous characteristics of the serpentinitic rocks located in areas of the Holguín city, associated to critics meteorological conditions of persistent drought, jointly with a poor management of exploitation of the supply sources, constitute the most incidence factors related with the shortage of this resource in Holguín city. These reasons evidence the imperious necessity to raise the quality and efficiency of the administration of the water resource through the evaluation of the physical and climatic elements that intervene in the behavior of the regime of underground waters, contained in the serpentinitic massif, since the population's 80% it is supplied from this source. It is presented starting from the application of the Digital model of the terrain, the use of satellites images, and Systems of Geographical Information, a hydrogeological regional dissection. This zonal classification of the perspective areas for the exploitation of the underground waters is the result of the analysis of thematic maps as: geologic map, cracking map, laying depth map, hidroisoipsas map and chemical one. With this result it is guaranteed the rational use and sustainability of this resource, since it allows and facilitates the election of more favorable alternatives of supply projects that reduce the cost of exploitation and the environmental cost, starting from a proposal of principles system of validation of results of the spatial indicators for the emergent supply that in turn can be generalizable for the application of similar perspective projects.

INTODUCCIÓN

En Cuba, la conservación del medio ambiente y la protección de los recursos naturales se realizan sobre bases científicas, por lo que existen condiciones óptimas para salvaguardar la naturaleza en beneficio de las actuales y futuras generaciones, lo que se corresponde con la necesidad de un desarrollo sostenible. (ley 81 MA, 1997).

El artículo 27 de la Constitución de la República de Cuba establece: “para asegurar el bienestar de los ciudadanos, el Estado y la Sociedad protegen la naturaleza”. Incumbe a los órganos competentes y además a cada ciudadano velar porque sean mantenidas limpias las aguas y la atmósfera y que se proteja el suelo, la flora y la fauna. El desarrollo sostenible requiere de una nueva ética, una nueva percepción de las vinculaciones entre el medio ambiente y las actividades.

El desarrollo económico de cualquier país impone como necesidad objetiva el aprovechamiento racional de sus recursos naturales, entre ellos el agua desempeña un papel fundamental. (CITMA, EA, 1997).

El aseguramiento del agua es condición obligatoria al desarrollo agropecuario e industrial y premisa indispensable para el bienestar y la salud del hombre.

El presente trabajo surge ante la necesidad de garantizar el uso racional y sostenible del recurso agua en tiempos de sequías y brindar elementos básicos, con vistas a la conformación de un modelo de gestión de las aguas subterráneas en el macizo serpentinitico en la ciudad de Holguín.

Según investigaciones del Centro Meteorológico Provincial de Holguín, (Durán, 2005), en el territorio holguinero el período 1996-2005 se considera el más seco en los últimos 104 años, marcándose este período con una intensificación paulatina (con una ligera recuperación en el 2005). Esta sequía agotó las reservas de los embalses y también amenazó fuertemente con el agotamiento de importantes fuentes de abasto de aguas subterráneas, este fenómeno ha traído consecuencias negativas a la población, produciendo afectaciones importantes en las condiciones económicas, sociales y ambientales.

Esta situación consecuentemente conllevó a la perforación desordenada de pozos, tanto por parte de la población como a nivel institucional, provocando la sobreexplotación del acuífero, la ascendente y paulatina contaminación de las aguas, y la proliferación de enfermedades de transmisión hídrica.

Además de los factores meteorológicos, en el régimen de hídrico del territorio ejercen influencia los factores físico geográficos, geomorfológicos y geológicos.

En el territorio de la ciudad de Holguín y sus alrededores predominan las rocas de la asociación ofiolítica mesozoica en la que tienen gran desarrollo las serpentinitas y dunitas serpentinizadas de edad cretácico. Estas rocas constituyen el acuífero y son de poca permeabilidad con transmisividad menor de 100 m²/día aunque existen zonas donde la transmisividad aumenta por los procesos de meteorización alcanzando valores entre 100-1000 m²/día, también existen zonas aisladas, de pequeñas dimensiones, donde pueden localizarse gastos entre 5 y 10 l/seg, relacionados con áreas de alto agrietamiento, fallas, etc. (Fuentes, 2002).

Las razones expuestas anteriormente evidencian la imperiosa necesidad de la caracterización, análisis y comparación de los elementos físicos y climáticos que intervienen en el comportamiento del régimen de las aguas subterráneas contenidas en el macizo serpentinitico localizado en los límites de la ciudad de Holguín con el objetivo de elevar la calidad y eficiencia de la Gestión Ambiental, permitiendo desde una óptica científica, la valoración del comportamiento del fenómeno sequía, su influencia en la dinámica de las aguas subterráneas, su impacto ambiental y sus consecuencias para el hombre para un mejor uso y manejo del recurso.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolla en fase preliminar, y para una mejor ejecución se dividió en tres etapas, correspondiendo las etapas I y II a la fase preliminar, y la fase III a la fase continuante de detalle.

Etapas:

- I. Regionalización hidrogeológica
- II. Evaluación de las reservas
- III. Programa de gestión de las aguas subterráneas

Los métodos aplicados se basaron en la Recopilación y análisis de la bibliografía especializada, trabajos e investigaciones realizados con anterioridad, así como otras fuentes de información, Levantamiento de la información de campo, Métodos hidrogeológicos de evaluación de reservas de las aguas subterráneas (Klimentov, 1982), Cartografía digital a partir de fotos satelitales y MDT, (Felicísimo, 1999), modelo digital del terreno a escala 1:25000

RESULTADOS

Los resultados obtenidos están en correspondencia con las etapas de trabajo planteadas, y constituyen las premisas para las etapas posteriores.

Etapas I

Se obtuvo:

- Base de datos
- Mapa geológico
- Mapa de la red de drenaje
- Mapa de agrietamiento
- Mapa de profundidad de yacencia
- Mapa de hidroisohipsas
- Mapa de quimismo
- Mapa de Regionalización hidrogeológica (resultante)

Etapas II

El volumen resultante de la evaluación de las reservas de las aguas subterráneas, (Peña, 2005) es de $11.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$.

DISCUSIÓN

La confección y análisis de la base de datos y los mapas temáticos, constituyeron la base clave para la generación del mapa de Regionalización hidrogeológica como resultante, el cual presenta una zonificación de las áreas perspectivas para la explotación de las aguas subterráneas.

El análisis incluyó la litología, el grado de agrietamiento de las rocas, zonas de recarga y descarga, movimiento, profundidad de yacencia y composición química de las aguas subterráneas, (Valera, 2002). Los focos contaminantes localizados dentro del área serán objeto de análisis en la fase II de detalle, con vistas a la generación de un plan de medidas correctoras.

El cálculo de reserva, (Peña, 2005) se realizó por el método Hidrodinámico, tomando como datos bases;

H : Potencia acuífera promedio (17,31 m)
S : Descenso planificado al 40%H (6,90 m)
K : Coeficiente de filtración promedio (8,26 m/días)
R_r : Radio reducido de influencia para 15 años (2516,56 m)
r₀ : Radio de gran pozo (2151,46m)

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permitirán:

- La elección de alternativas más favorables de proyectos de abastos que reducen el costo de explotación y el costo ambiental, a partir de la propuesta de un sistema de principios para la validación de los resultados de los indicadores espaciales para el abasto emergente.
- Desde una perspectiva social permitirá: Una explotación más racional del recurso agua y la sostenibilidad del mismo en armonía con el desarrollo económico y además permitirá conferir los proyectos un carácter participativo comunitario.

BIBLIOGRAFÍA

Durán, G. 2005. Fenómeno de la sequía en la provincia Holguín en el período 1996-2005. Informe Científico Técnico. Centro Meteorológico Provincial. Holguín.
Felicísimo, A.M. 1999. Modelos Digitales del Terreno. Introducción y Aplicaciones en las Ciencias Ambientales. <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>
(____). 1997. Gaceta Oficial de la República de Cuba No.7 (ed). Ley 81 del medio Ambiente, Ciudad de la Habana,
Klimentov.P.P, V.M. Kononov, 1982. Metodología de las Investigaciones Hidrogeológicas. Edición Ciencias Técnicas, Moscú, editorial Mir, 447 pp.
Fuentes, M. M. 2002. Regionalización Hidrogeológica. Informe técnico, EAH. INRH. Holguín.
(____). 1997. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (ed). Estrategia Ambiental Nacional, Ciudad Habana.
Peña, D. 2005, Abasto emergente a la ciudad de Holguín mediante pozos. (ponen), XVI Jornada CT de la SIH. Holguín.
Varela, M. 2002. Caracterización del medio físico, Vulnerabilidad y Zonificación en la protección de las aguas subterráneas frente a la contaminación. Edic. Ministerio de Medio Ambiente. D.G. de Obras Hidráulicas, España, CEDEX, 21 pp.

ABASTO EMERGENTE A LA CIUDAD DE HOLGUÍN MEDIANTE POZOS

Ing. Damián Orlando Peña González

DPRH Holguín Carretera Central Km. 2 ½ Vía Bayamo .Holguín. Teléfono 465906

RESUMEN

Una de las líneas definidas en la sequía por el estado cubano es la búsqueda de nuevas fuentes de abasto. El objetivo de este informe es dar una idea de los trabajos que se ejecutaron en un corto plazo para abastecer con agua subterránea los diferentes consejos populares que conforman a la ciudad de Holguín. En él se reflejan las perforaciones con diferentes tecnologías que se han ejecutado, los muestreos de agua que se han hecho, así como las pruebas hidrogeológicas. Con él se logra por primera vez evaluar las reservas de aguas subterráneas que yacen por debajo de la ciudad y así explotar éstas de una manera más racional. La red de pozos construidos servirá para otros períodos de intensas sequías que se presenten en nuestra provincia y en el abasto de la población en tiempo de guerra. El costo de estos trabajos para mitigar los efectos de la sequía fue de \$1087840.00.

ABSTRACT

One of lines circumscribed in drought by the Cuban Government is the search of new sources of provisioning. The objective of this report is to give an idea of the works that were executed in a short time to supply the different popular groups that conform Holguín city with subterranean water. The perforations are reflected with different technologies executed, the samplings of water made as well as the hydrogeology tests. With the fact that they lie underneath the city achieves itself for the first time to evaluate the subterranean- water stock and thus exploding those of a more rational manner. The net of constructed wells will be useful for another period of intense droughts that shows up at our province and in the provisioning of the population in wartime. The cost of these works to mitigate the effects of drought went from \$1087840.00.

INTRODUCCIÓN

La sequía es una catástrofe natural que afecta a gran parte de nuestro planeta, muchos científicos coinciden que en los años venideros se tendrán que adoptar medidas altamente eficientes para resolver todas las dificultades que este mal acarrea. En nuestro país ya se toman medidas que ayudan a mitigar este efecto. El presente estudio es un ejemplo de estas medidas, aplicado específicamente en la provincia Holguín, donde este efecto se ha venido agravando fundamentalmente desde hace dos décadas.

Planteamiento del problema

El colapso de las tres fuentes de abasto a la ciudad de Holguín (Presas Cacayogüín, Güirabo y Gibara), producto de la intensa sequía que sufre la región oriental, hace que el organismo INRH y el estado cubano busquen alternativas de fuentes de abasto en corto, mediano y a largo plazo. Debido a la agravante situación existente, no se puede pensar únicamente en dar una solución a mediano o largo plazo. Por esta razón el objetivo del presente trabajo es la construcción de un sistema de pozos de abasto en la ciudad de Holguín, como una medida a corto plazo.

Hipótesis

De los estudios existentes se conoce que los gabros son perspectivas hidrogeológicamente en la zona para la búsqueda de agua subterránea en cantidad. Estos yacen por debajo de la ciudad de Holguín, presentan parámetros hidrogeológicos aceptables, los cuales están relacionados con el agrietamiento y fallamientos de estas rocas.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS

La zona hidrogeológica estudiada yace principalmente por debajo de la ciudad de Holguín en las hojas cartográficas 1:25 000 Las Biajacas (4978-I-c) y Holguín (4978-IV-d) entre las coordenadas norte 243000-251300 y este 556000-566000. La región de estudio se encuentra enclavada en un valle rodeado por diferentes elevaciones. Este se ubica en el sistema orográfico Maniabón. La mayor altura que se encuentra es Loma de la Cruz con 276.9 m. En la zona es característico encontrar dos períodos, el húmedo y el seco. El período húmedo (742 mm) se desarrolla entre los meses de mayo a octubre y el período seco (291 mm) desde principios de noviembre hasta abril. El promedio anual de las precipitaciones es de 1 033 mm. La red hidrográfica está representada por el río Holguín al cual se le unen 2 afluentes más que atraviesan la ciudad. Estos corren permanentemente, ya que además de su escurrimiento superficial se le unen las aguas albañales de la ciudad. Holguín se comunica con otras ciudades del país y de la provincia por las carreteras Central, a Gibara, a Guardalavaca y a Mayarí. Además a 14 Km. al sur se ubica el Aeropuerto Internacional Frank País y en la Loma de la Cruz se encuentran antenas de radio y televisión de alcance nacional. La economía en el área de estudio está basada en la Industria Sideromecánica, Materiales de Construcción, Comercio y el Turismo.

VOLUMENES Y METODOLOGÍA PROPUESTA

Para la recolección de los datos de la investigación se analizó un área de 14.5 km² en escala 1:25 000, la cual yace en un gran por ciento por debajo de la ciudad de Holguín, donde se investigaron los gabros que afloran por debajo y en los alrededores de esta ciudad.

Primera Etapa (Análisis de los datos existentes):

En esta etapa se recopiló toda la información existente como: columnas litológicas, quimismo (167 muestras) y pruebas hidrogeológicas (135 aforos). Estos datos se procesaron en un tabulador electrónico (Excel) y se calcularon todos los parámetros hidrogeológicos y estadísticos por pozo de interés. Se utilizó el Levantamiento Geológico Cubano-Húngaro 1:50 000 CAME IV. Además se tuvo en cuenta el censo de pozos existentes en cada consejo popular.

Segunda Etapa (Cálculo de las reservas de agua subterránea):

Seguido a la primera etapa, se calcularon las reservas de agua subterránea mediante los métodos Hidrodinámico e Hidráulico para esta zona conformada mayormente por rocas gabroideas.

Tercera Etapa (Ejecución de pozos de abasto):

Una vez realizado el análisis de los datos aportados por el cálculo de las reservas de agua subterránea se perforaron 167 pozos y se ejecutaron 18 aforos para suplir la demanda de agua a la población e industria, así como instalaciones hospitalarias. Aparejado a esto se instalaron 9 puntos de pipeo de agua potable con el fin de abastecer a la población.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL ÁREA

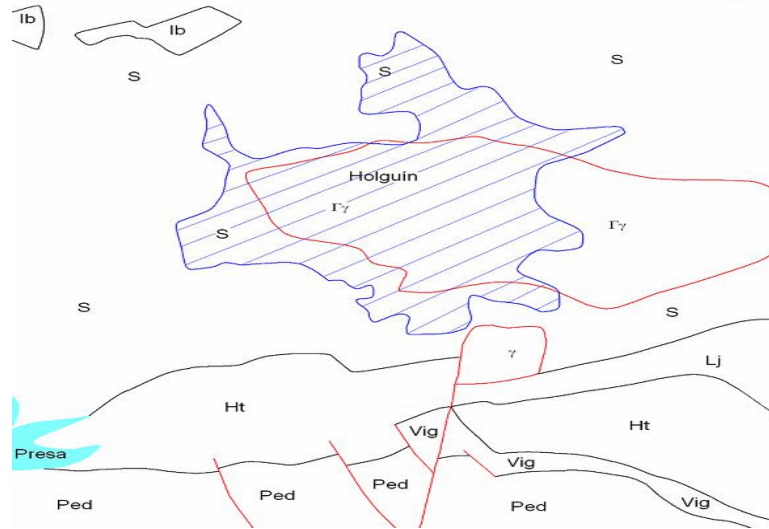


Figura 1. Esquema geológico.

Como se observa en la zona se presentan las rocas de la Asociación Ofiolítica conjuntamente con las formaciones Iberia (Ib), La Jíquima (Lj), Vigía (Vig), Haticos (Ht) y Pedernales (Ped).

Serpentinitas(S).- Están formadas fundamentalmente por peridotitas más o menos serpentinizadas, en nuestra área de estudio las peridotitas afloran en las elevaciones que rodean a la ciudad presentando edad J?-K₁. Se desarrollan en estrecha relación con rocas de composición básica, siendo su emplazamiento tectónico.

Gabros (Γγ).- Se distinguen por la presencia de pequeños cristales máficos y félsicos, su emplazamiento es tectónico. Los gabros yacen en las partes bajas. Estas rocas presentan edad J?-K₁.

Fm Iberia.-Está formada por Lavas Andesíticas, Andesito-basálticas, basálticas, diques de Diabasas, Tobas y Aglomerados. Está fuertemente tectonizada, con espesores que llegan a 1200 metros, presentando edad Albiano, Senomaniano, Turoniano.

Fm La Jíquima.-Está constituida por Arenisca Tobácea y Arenisca vulcano-clástica bien estratificada. Estas se alteran muy fácilmente y están bastantes agrietadas, aunque las grietas son muy finas y en muchos casos se encuentran rellenas.

Fm Haticos.-Se presenta como un Conglomerado poco estratificado de grano medio a grueso con intercalaciones de Areniscas gruesas. La matriz es margosa y los clastos son de Diabasa, Gabrodiabasa, Tobas, Tufitas y Calizas rosáceas del Cretácico Superior. Tiene una edad Paleoceno Inferior con potencias que llegan hasta 200 metros.

Fm Vigía.-En la parte inferior afloran Areniscas y Limonitas con intercalaciones de Calizas y Margas, en la superior se presentan Tufitas, Tobas y Margas bien estratificadas. Presenta una edad que va del Paleoceno Superior al Eoceno Medio.

Fm Pedernales.-Está formada por un conglomerado polimíctico de matriz aleurolítica, sin cementación, con clastos de Diabasa, Gabros, Harzburgita más o menos serpentinizadas, y más subordinadamente Tobas y Tufitas. Presenta potencia que llega a 150 metros con una edad Aquitaniano Superior.

Las fallas geológicas presentan una edad P₂.

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS LOCALES

Las rocas que presentan cierta acuosidad están constituidas por gabros que en la parte superior del corte aparecen fracturadas y fisuradas, pero a medida que se profundizan son menos agrietadas. Son rocas de poca permeabilidad (8.26 m/días) con transmisibilidad (86.80 m²/días) y un coeficiente de almacenamiento de 0.141. Es característica la presencia de pozos con caudales entre 1 y 3 l/s que ocasionalmente alcanzan 15 l/s.

Tabla I.- Parámetros hidrogeológicos del gabbro.

PARÁMETROS	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
Potencia Acuífera. (m)	2.60	39.07	17.31
Gasto Específico (l/s/m)	0.02	12.30	0.91
Transmisibilidad (m ² /días)	1.90	1358.10	86.80
Coeficiente de Filtración (m/días)	0.10	97.90	8.26
Conductividad (m ² /días)	22.00	6302.30	514.10
Coeficiente de Almacenamiento	0.084	0.225	0.141

Las otras formaciones geológicas que se observan en la zona presentan parámetros hidrogeológicos muy pobres como son el coeficiente de filtración que va de 0.31 m/día en la formación Vigía a 3.2 m/día en la formación Pedernales y la transmisibilidad que oscila de 5.2 m²/días en la formación Vigía a 43.0 m²/días en la formación Pedernales. Los gastos que se presentan son menores de 1 l/s.

QUIMISMO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Se muestrearon alrededor de 167 muestras, las cuales se le hicieron análisis en los laboratorios del INRH e Higiene y Epidemiología. Principalmente se le hizo el ciclo del nitrógeno. Aunque a las que se aforaron se le determinaron todos los elementos químicos. Estos análisis arrojaron que las aguas son del tipo Bicarbonatada Sódica y por lo general presentan una mineralización menor de 1 gr/l.

Las características hidrosanitarias de las aguas subterráneas son en sentido general contaminadas, debido a la actividad antropogénica, por mal funcionamiento del sistema de alcantarillado, viviendas no conectadas al sistema, ausencia del mismo, e indisciplinas sociales (vertimiento directo de desechos sólidos y líquidos a ríos y arroyos). De los 154 pozos perforados, sólo 67 arrojaron resultados favorables para el abasto a la población.

CÁLCULO HIDROGEOLÓGICO Y SU FUNDAMENTACIÓN

En la investigación se estudiaron los cuerpos intrusivos conformados por gabros, a los cuales se le calcularon las reservas de aguas subterráneas mediante los métodos Hidrodinámico e Hidráulico.

El método Hidrodinámico tiene como objetivo principal definir el abatimiento permisible en estas rocas, con el cual se satisface la extracción de un volumen determinado.

En el método Hidráulico generalmente se utilizan datos empíricos y en nuestro caso determinamos la dependencia del abatimiento en relación con los gastos de los pozos.

Método Hidrodinámico

Utilizamos el esquema de cálculo para acuíferos no confinados donde la cuenca subterránea presenta tales dimensiones que puede considerarse ilimitada en relación con el tramo que se evalúa.

$$Q = \frac{[H^2 - (H - S)^2] \pi K}{2,3 \log \frac{R_r}{r_0}} \quad (\text{Dupuit})$$

Donde:

H: Potencia acuífera promedio (17,31 m)

S: Descenso planificado al 40% H (6,90 m)

K: Coeficiente de filtración promedio (8,26 m/días)

Rr: Radio reducido de influencia para 15 años (2516,56 m)

r₀: Radio de gran pozo (2151,46 m)

Por lo tanto $Q = 31700.40 \frac{m^3}{días} = 11,6 \times 10^6 \frac{m^3}{año}$

Método Hidráulico

Se utilizó en nuestro caso la fórmula de Dupuit para calcular el gasto de explotación en cada pozo.

$$Q_e = \frac{Q_a (2H - S_e) S_e}{(2H - S_a) S_a}$$

CONCLUSIONES

- Con este trabajo la sequía no fue un desastre para nuestra provincia ya que la actividad social y económica de la población, los hospitales y las industrias de nuestra ciudad no se detuvo.
- Los pozos más productivos se encuentran en los gabros.
- La zona hidrogeológica enclavada en la ciudad es capaz de aportar 31 700.40 m³/días (366.9 l/s) en un año.
- De los 1100 l/s que necesita la ciudad se están ofertando 500 l/s del Cauto por lo que hay un déficit de 600 l/s, el cual por norma reducida para caso extremo nos daría 213.8 l/s. Balanceando estos valores daría para 1 año más 8 meses y medio.
- Los 9 pozos que funcionan para cargadero de pipas son potables o presentan regular calidad.
- En la ciudad de Holguín actualmente existen alrededor de 63 habitantes por pozo como promedio (Tabla III).
- Con el cargue de pipas se bombea actualmente 57 l/s en 16 horas, lo cual representa un volumen de 3283.2 m³/día.

RECOMENDACIONES

- Se debe preservar este sistema de abasto para tiempo de guerra u otros desastres.
- Todas las fuentes de cargue de pipa deben clorarse.
- Se tiene que construir una red de sondeo para así monitorear el régimen de las aguas y poder evaluar las reservas por el método de balance.

- Se deben buscar otras fuentes alternativas como son investigar horizontes profundos y el trasvase para las soluciones a largos plazos.

BIBLIOGRAFÍA

- De Miguel, C., 1980. Principales Métodos de Evaluación de Reservas de Cuencas Subterráneas que se adaptan a las condiciones de Cuba. Voluntad Hidráulica. 54:2-7.
- De Miguel, C., 1981. Reevaluación de las Reservas de Explotación de las Aguas Subterráneas del Tramo II de la Cuenca La Cana, fuente de abasto a la Ciudad de Las Tunas. Voluntad Hidráulica. 57:10-19.
- Pentelényi, L. y otros, 1990. Informe Final Levantamiento Geológico y Búsquedas Acompañantes Polígono IV CAME-Holguín. Archivo E. G. M. O. Santiago de Cuba.

ANEXOS

Tabla II.- Relación de pozos construidos con distintas técnicas de perforación.

CONSEJO POPULAR	PERCUSIÓN (u)	ROTO PERCUSIÓN (u)	ROTARIA (u)	AFOROS (u)
Alcides Pinos	6	-	1	-
Vista Alegre	10	-	6	8
Pedro Díaz Coello	19	37	12	4
Pueblo Nuevo	9	3	8	3
Alex Urquiola	7	-	-	-
Harlem	1	1	-	-
Distrito Lenin	19	3	-	3
Centro Ciudad Norte	3	4	-	-
Centro Ciudad Sur	-	5	-	-
TOTAL	74	53	27	18

Tabla III.- Relación de Habitantes por pozos.

CONSEJO POPULAR	HABITANTES	CANTIDAD DE POZOS ESTIMADOS	CENSO DE POZOS LEVANTADOS	POZOS HECHOS	% HAB x POZOS
Alcides Pinos	25 926	1 870	948	7	28
Vista Alegre	33 940	1 260	784	16	43
Pedro Díaz Coello	26 770	40	23	67	298
Pueblo Nuevo	35 504	110	104	22	282
Alex Urquiola	23 658	450	441	7	53
Harlem	18 650	320	121	1	153
Distrito Lenin	31 493	1 400	387	22	77
Centro Ciudad Norte	21 131	900	153	7	132
Centro Ciudad Sur	24 831	800	787	5	32
TOTAL	241 903	7 150	3 718	154	63

Tabla IV.- Cargue de Pipas.

CONSEJO POPULAR	POZO	GASTO (l/s)	CALIDAD
A. Pino	Mario Pozo esq. Independencia	3	Regular
V. Alegre	Impedidos Físicos	10	Regular

P. D. Coello	Nuevo Holguín (101)	4	Buena
P. D. Coello	La Ceiba (231)	7	Buena
P. D. Coello	Edif. 18 Plantas	3	Buena
P. D. Coello	EIDE	6	Buena
P. Nuevo	T. Sociales	12	Buena
D. Lenin	Matamoros	5	Buena
D. Lenin	La Yabita	4	Buena

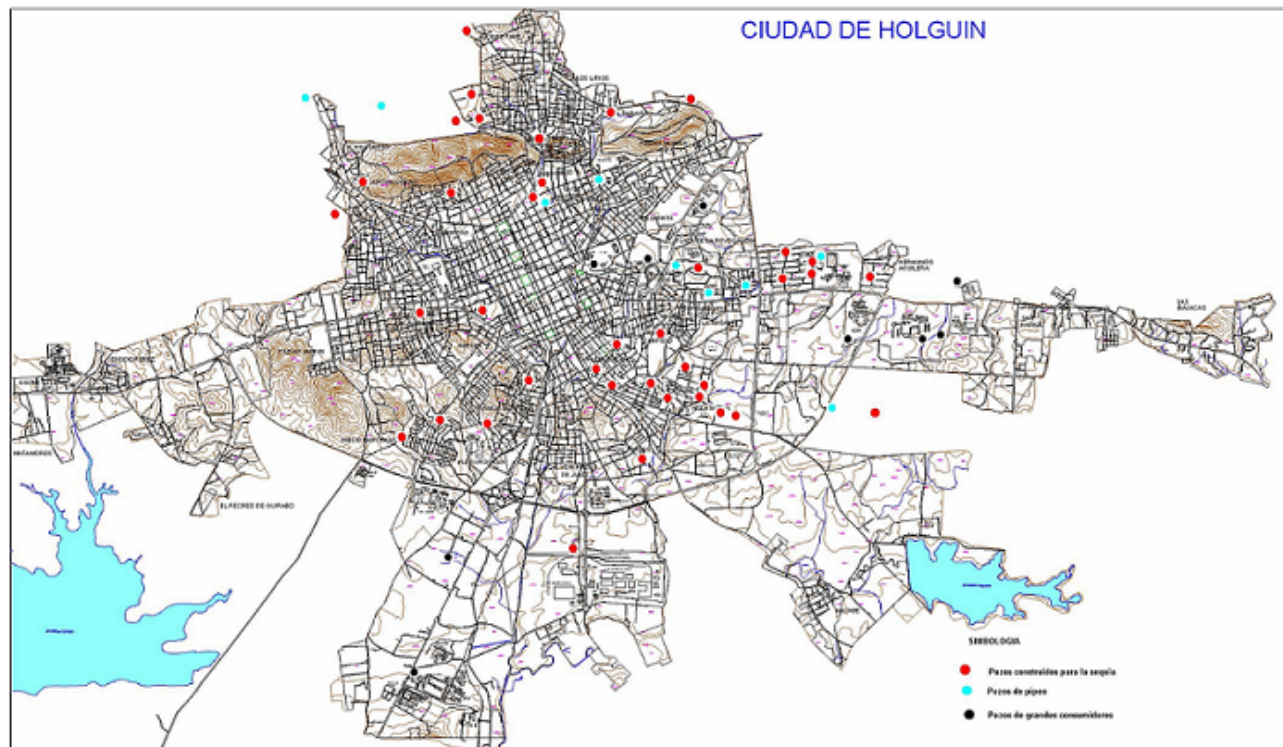


Figura 2. Esquema de ubicación geográfica.

ABASTO A LA PLAYA CORINTIA

Damián Orlando Peña González

DPRH Holguín Carretera Central Km. 2 ½ Vía Bayamo .Holguín. Teléfono 465906

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es hacer una valoración cuantitativa y cualitativa de las reservas de aguas subterráneas en las terrazas aluviales de los ríos Cabonico y Téneme, con el fin de abastecer al futuro Polo Turístico Playa Corintia. En él se utilizan las técnicas de Teledetección y de Procesamiento Digital de Imágenes, sustentados en el Levantamiento Hidrogeológico, muestreo y datos de archivo. En el Trabajo se utilizó el Modelo Digital del Relieve confeccionado por investigadores del Grupo GER-CITEC de Construcciones Militares, con el cual se hizo la morfometría, se corrigieron contactos litológicos, además con la red de drenaje de los ríos y los datos de los niveles de los pozos, se modeló preliminarmente la superficie de las aguas subterráneas y la dirección del flujo. Se construyeron además otros mapas con datos de archivo, como el de quimismo, de potencia, acuosidad, cálculo de reservas, etc. Con él se cumplió el objetivo previsto.

ABSTRACT

The objective of this work is to do a quantitative and qualitative evaluation of the subterranean- waters stock in the earthy one belonging to rivers alluvial Cabónico and Téneme, with the aim of supplying Tourist Resort Corintia Beach to the future. In the they utilize Teledetección's techniques and of Digital Processing Images, held in the Hydrogeology Raising, sampling and data of file. At work GER utilized the Mode Digital of the Relief manufactured by investigators of the Group himself CITEC of Military Constructions, in which the morphometry was made, the lithologic corrected contacts themselves, besides with the drainage system of rivers and the data of the levels of wells, it was modeled preliminarily the surface of groundwater and the address of the flow himself aqueousness, calculus of stock, etc constructed besides other maps with data of file, like the one belonging to chemison, of potency. The foreseen objective was fulfilled.

INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo es un estudio de factibilidad para abasto de agua subterránea en un área de 10 km² y en escala 1:25 000. La investigación se ejecutó en las Terrazas de los ríos Téneme, Quemado, Cabonico y La Marea, las cuales se localizan a unos 30.0 Km. al este de la ciudad de Mayarí. Este se basó en analizar los trabajos existentes en nuestro archivo, las investigaciones hechas por el Grupo de Estudios Regionales del CITEC y el levantamiento geólogo-hidrogeológico por el Ing. Carlos Llorens. Posteriormente se procedió a confeccionar el informe hidrogeológico por el Ing. Damián Peña González. Las muestras de agua se procesaron en el Laboratorio de agua de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Holguín.

Planteamiento del problema.

La escasez de fuente de trabajo en la región hace que el estado cubano priorice el desarrollo turístico de ella. Debido a esto, se prevé la futura construcción de un Polo turístico en la Playa Corintia para el cual deben localizarse en zonas cercanas a la inversión 126.2 l/s de agua subterránea con una calidad óptima según tarea técnica emitida por el inversionista y aceptada por el investigador.

Hipótesis

Los sedimentos aluviales del Cuaternario (alQ_{IV}), pertenecientes al complejo acuífero del cuaternario son los más perspectivas hidrogeológicamente en la zona, para la búsqueda de agua subterránea en cantidad y calidad. Estos se localizan en el cauce y en las orillas de los ríos Téneme, Quemado, La Marea y Cabónico, formando terrazas compuestas por guijarros, gravas, arenas aleurolitas y arcillas. Puede existir relación hidráulica entre estos sedimentos y las rocas colindantes de otras formaciones geológicas.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS

Las Zonas Hidrogeológicas estudiadas se localizan en un área que está ubicada al este de la provincia de Holguín, aproximadamente a 30 km de la ciudad de Mayarí. Limitan al norte con el Océano Atlántico, al este con la Bahía de Sagua de Tánamo, al oeste con la Bahía de Cabonico y al sur con la carretera Mayarí - Sagua de Tánamo. Se encuentra situada en la llanura costera del macizo montañoso de Sagua-Baracoa, en la cual las alturas son bajas, menores de 20.0 metros (s.n.m.m.). El clima está influenciado por la orografía, sirviendo las barreras montañosas de pantalla a los vientos alisios del noreste, que descargan abundantes lluvias en la vertiente norte. La región presenta un clima tropical con lluvias de poca duración, pero de grandes intensidades. En la zona es característico encontrar dos períodos, el húmedo se desarrolla entre los meses de mayo a noviembre y el seco desde principios de diciembre hasta abril. El promedio anual de las precipitaciones en el territorio varía entre 1 200 a 1 600 mm. Las temperaturas medias anuales de la región oscilan de 24,7 a 26 °C, siendo los meses más cálidos julio, agosto y septiembre. La evaporación media anual en la región es de 1 900 mm aproximadamente. La red hidrográfica está desarrollada en el área, estando representada por los ríos Cabonico y Téneme, los cuales corren de forma permanente durante todo el año y los ríos La Marea y Quemado, cuyos cursos de agua se secan en algunos meses del año.

VOLÚMENES Y METODOLOGÍAS DE LOS TRABAJOS EJECUTADOS

El estudio se ejecutó en un área de 10 km², en escala 1:25 000, donde se investigaron las terrazas aluviales de los ríos Téneme-Quemado y Cabonico-La Marea. Éste se ejecutó en 3 etapas, las cuales describiremos a continuación:

Primera Etapa:

Primeramente se procedió a estudiar todos los materiales existentes en nuestro archivo. Además nos apoyamos en el “Estudio Ingeniero-geológico Regional” realizado por el Grupo de Estudios Regionales del CITEC, en el cual analizamos el Mapa Geológico 1:25 000 elaborado por ellos mediante fotointerpretación y el modelo digital del terreno.

Segunda Etapa:

En esta etapa se ubican todos los trabajos de campo ejecutados en estas terrazas aluviales como son:

- Levantamiento Geólogo-Hidrogeológico.
- Sondeo de pozos.
- Muestreo de agua.
- Recorrido de campo con el hidrólogo.

Tercera Etapa:

Corresponde a los trabajos de Gabinete e Informe Final. Los cálculos de reservas de las aguas subterráneas se ejecutaron mediante los métodos Hidrodinámicos, Balance e Hidráulicos.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS LOCALES

Estratigrafía

En nuestro caso estudiaremos las áreas cercanas a las Terrazas de los ríos Téneme, Quemado, Cabonico y La Marea; las cuales pasaremos a describir a continuación:

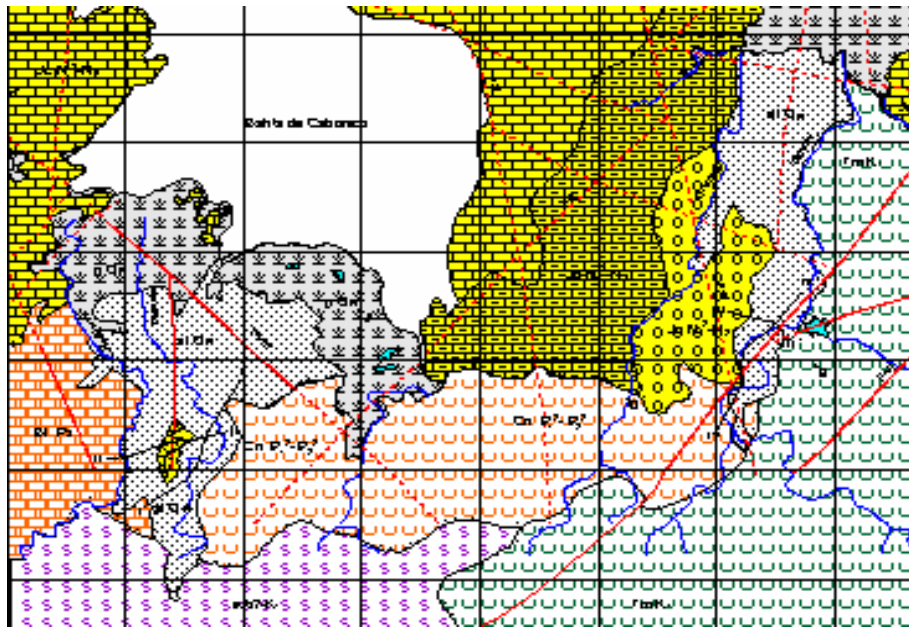


Figura 1.- Mapa Geológico

Se ubican una serie de formaciones geológicas y depósitos que van desde el Jurásico (J?) hasta el Holoceno (Q_{IV}).

Rocas de la Asociación Ofiolítica (J? – K₁):

Se localizan al sur del área de estudio y están formadas fundamentalmente por peridotitas serpentinizadas, las cuales en su parte superior están más serpentinizadas y meteorizadas, siendo su emplazamiento tectónico.

Formación Téneme (Tm K₁ – K₂):

Se desarrolla al sureste y este de la zona de estudio y está constituida por tobas andesito-basálticas, de color gris verdoso, estratificadas, que presentan un buzamiento de 9° y un rumbo de 32° al noreste. Se encuentra agrietada.

Formación Castillo de los Indios (Cin P₂)

Aflora al este de la zona de estudio o sea, en la margen derecha del río Cabonico y está constituida principalmente por tobas ácidas con predominio de las variedades vitroclásticas y litovitroclásticas estratificadas que presentan buzamientos que van de 14° a 22° y rumbo 50° al noreste. Esta formación yace discordantemente sobre las ultrabasitas y presenta una potencia que no excede los 80 m.

Formación Bitirí (Bit P₃)

Aflora al oeste de la Terraza, o sea en la margen izquierda del río La Marea y está constituida por unas calizas microcristalinas que en algunas ocasiones son arcillosas, de color amarillento, bien estratificadas y con inclusiones tobáceas.

Formación Jagüeyes (Jg N₁¹⁻³)

Se encuentra por debajo de la formación Júcaro y los sedimentos aluviales de la Terraza de los ríos Téneme y Quemado. En la parte superior del corte se presenta una marga de color crema con espesores que llegan hasta 5 m, en la inferior nos encontramos una aleurolita de color gris verdoso, con intercalaciones de arcillas y de margas arenáceas presentando espesores mayores de 10 m. Esta formación yace discordantemente sobre las formaciones Castillo de los Indios y Téneme.

Formación Júcaro (Jc N₁²- N₂)

La encontramos al oeste de la zona de estudio, presentándose un conglomerado polimíctico con una matriz arcillosa calcárea entre los ríos Téneme y Quemado. Sobre este conglomerado se encuentra una caliza cavernosa de color crema con un rumbo de 20° al nordeste y un buzamiento de 2°, aflorando en la zona del Majá, la cual es a su vez sobreyacida por una marga blanco amarillenta, arcillas y aleurolitas. Esta formación por lo general yace concordantemente sobre la formación Jagüeyes y en algunos casos discordantemente sobre la formación Castillo de los Indios.

Depósitos aluviales (al Q_{IV})

Conforman la terraza de deposición que se localiza en el cauce y en las orillas de los ríos. Presentan un espesor promedio de 10,73 m en la terraza Cabonico-La Marea y 10,86 en Téneme-Quemado y están compuestos por guijarros, gravas, arenas, aleurolitas y arcillas. Estos sedimentos yacen discordantemente sobre la Asociación Ofiolítica y las formaciones Castillo de los Indios, Téneme, Bitirí, Júcaro y Jagüeyes.

Depósitos pantanosos (p Q_{IV})

Ocupan el norte del área de estudio y se extienden por los manglares y zonas pantanosas. Se componen de arcillas con turbas, aleurolitas arcillosas y arenas arcillosas, que yacen discordantemente sobre las formaciones Castillo de los Indios, Téneme, Bitirí y Júcaro.

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS LOCALES

Para nuestro estudio nos interesaremos de los sedimentos aluviales (al Q_{IV}) del Cuaternario los cuales presentan las mejores perspectivas.

Terraza Téneme-Quemado.

Ocupa un área aproximada de 2,469 km² y está conformada por gravas, arenas y arcillas limosas que varían en contenido según su posición en ella. El espesor acuífero promedio de estos sedimentos es de 10,86 m presentándose los mayores valores en la cala 33 y en el poblado de Téneme. Las aguas subterráneas yacen a profundidades menores de 5 m, indicándonos las hidroisohipsas que en esta época de seca el acuífero alimenta a los ríos Téneme y Quemado, ya que las líneas de flujo por ellas definidas se orientan del acuífero a los ríos.

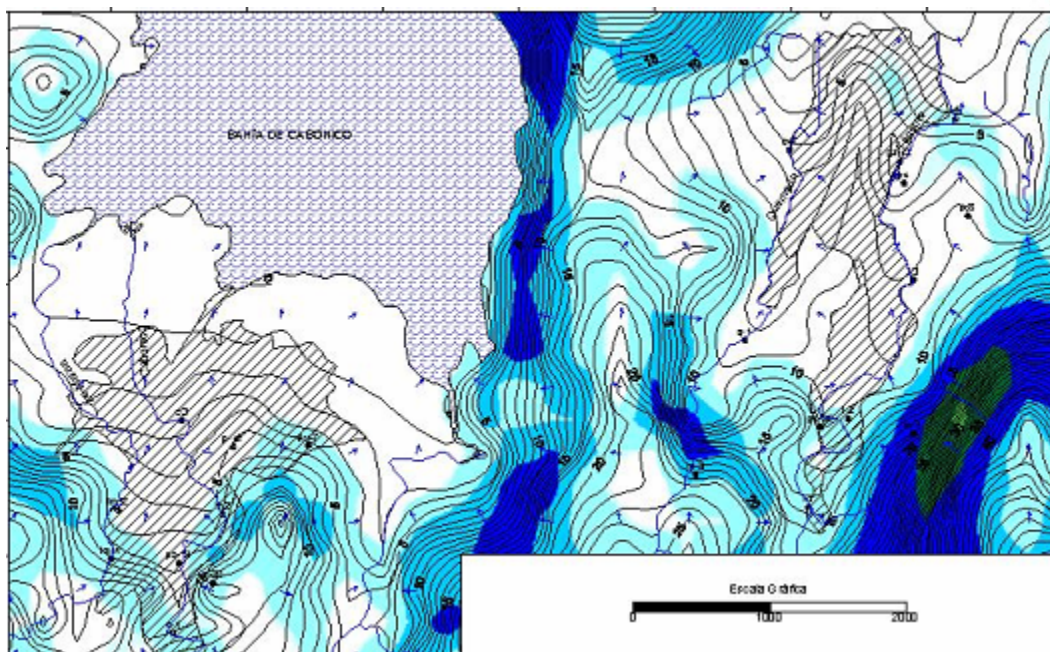


Figura 2.- Mapa de Hidroisohipsas

Los gradientes hidráulicos de las hidroisohipsas son mucho menores de 0,5, oscilando sus valores de 0,0017 a 0,005.

La permeabilidad de estos sedimentos va de 11,7 m/día a 22,5 m/día variando su transmisibilidad de 86,9 m²/día a 131 m²/día, en la parte más acuosa, que se ubica cercana al poblado de Téneme.

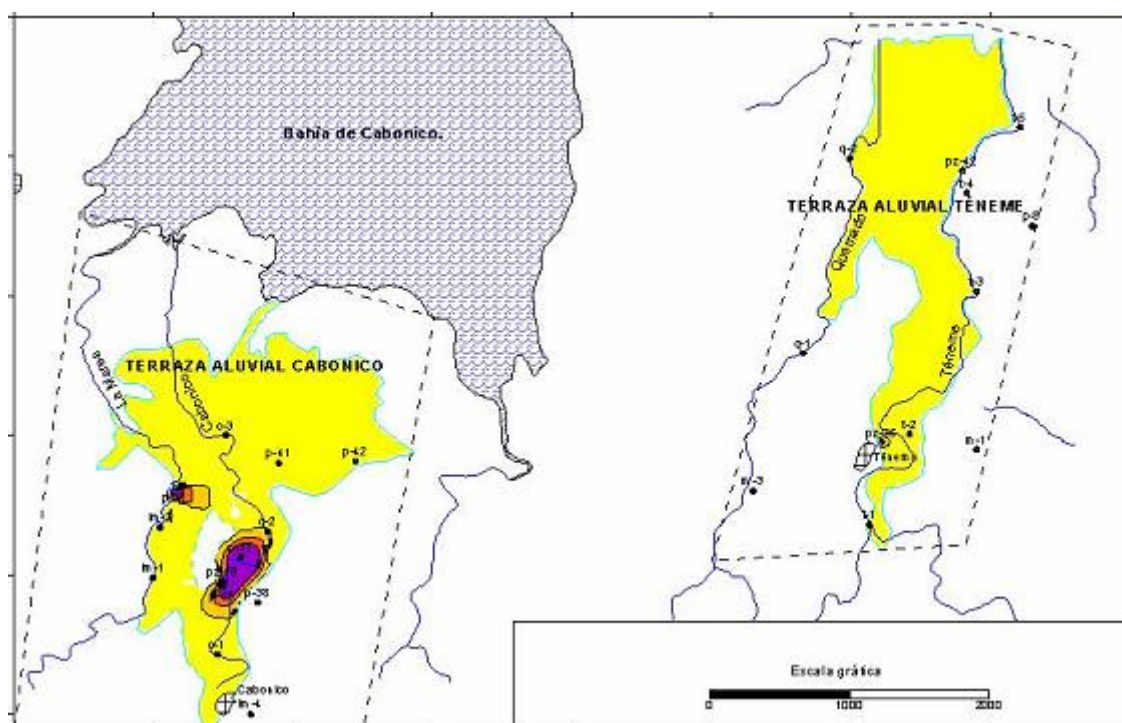


Figura 3.- Mapa de Transmisibilidad

Terraza aluvial Cabonico – La Marea

Ocupa un área aproximada de 2,812 km² y en ella se presentan gravas, arenas y arcillas limosas. Los clastos mayores de la terraza se ubican en áreas cercanas al cauce del río Cabonico. El espesor acuífero promedio es de 10,73 m, observándose los mayores valores en la zona norte y en los pozos 16 y 17 de la Marina de Guerra. Las aguas subterráneas yacen a profundidades menores de 5 m y según el plano de hidroisohipsas, en esta época de seca observamos que el acuífero alimenta a los ríos y que las aguas subterráneas drenan a la Bahía de Cabonico con un gradiente hidráulico mucho menor de 0,5 con rangos que varían de 0,0033 a 0,0074 (Figura 2).

La permeabilidad de estos sedimentos oscila de 30,8 m/día a 203, 4 m/día, presentándose los mayores valores en los pozos 16 - 5178- III y 17 - 5178 - III y los menores valores hacia el norte.

La transmisibilidad de estos depósitos va de 879 m²/día a 1 403 m²/día, presentándose los mayores valores al Sur en la margen izquierda del río Cabonico y los menores valores al norte en la margen derecha del río La Marea.

QUIMISMO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

En las Terrazas se presentan aguas con valores menores de 1 g/l de mineralización y 250 mg/l de cloruros. En la terraza de los ríos Téneme y Quemado la mineralización mayor de 1 g/l se ubica en la parte norte de ella, así como los valores de cloruros mayores de 250 miligramos por litros. Estos valores también se localizan en la margen derecha del río Téneme y están relacionados con las tobas andesito-basálticas de la formación Téneme.

En lo concerniente a la Terraza Cabonico-La Marea los valores mayores de 1 gramo por litro de mineralización y 250 miligramos por litro de cloruro que se observan al norte de ella son producto del intercambio que existe entre las aguas subterráneas y las aguas marinas.

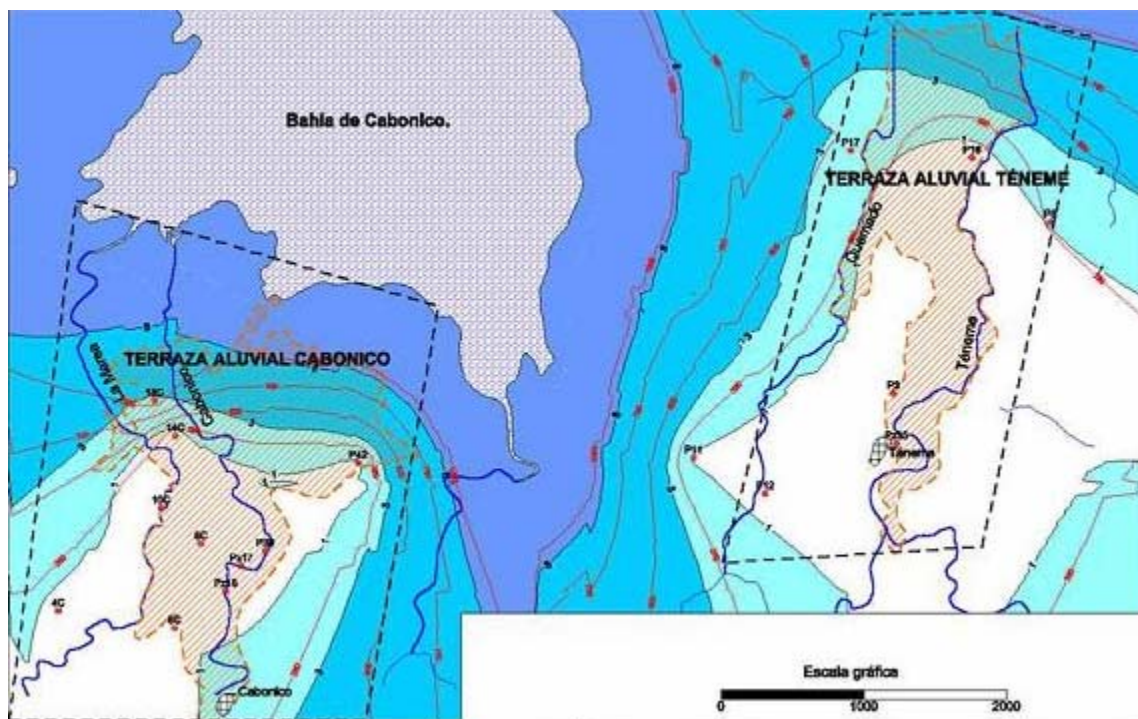


Figura 4.- Mapa de Quimismo

En las dos áreas de estudio encontramos los siguientes tipos de agua:

- **Aguas bicarbonatadas-magnesianas:** Son las predominantes en la Terraza de los ríos y son producto de la interacción que existe entre las aguas y la Asociación Ofiolítica que se localiza al sur del área. Según su índice geoquímico (I.G.Q) son recientemente infiltradas y de acuerdo a la relación cloruros dividido entre bicarbonato más carbonato son dulces.
- **Aguas bicarbonatadas-magnesianas-cálcicas:** Se presentan al oeste y al nordeste de la Terraza Cabonico – La Marea y están relacionadas con sedimentos aluviales que sobreyacen a las calizas de la formación Bitirí.

De acuerdo al índice geoquímico (I.G.Q) son recientemente infiltradas en los puntos 10 C y P 42 y son de profundidades apreciables o viejas en el punto 6 C.

Según la relación cloruro dividido entre bicarbonato más carbonato son aguas dulces

CÁLCULO HIDROGEOLÓGICO Y SU FUNDAMENTACIÓN

En nuestra investigación estudiamos las terrazas de los ríos Cabonico - La Marea y la terraza de los ríos Téneme- Quemado, a las cuales se le calcularon las reservas de aguas subterráneas mediante los métodos Hidrodinámico, Balance e Hidráulico.

El método Hidrodinámico tiene como objetivo principal definir el abatimiento permisible en las terrazas aluviales, con el cual se satisface la extracción de un volumen determinado.

En el método Hidráulico generalmente se utilizan datos empíricos y en nuestro caso determinamos la dependencia del abatimiento en relación con los gastos de los pozos.

En el método de Balance se ejecuta un análisis general de los recursos disponibles en el territorio que se evalúa, ya sean recursos y reservas de las terrazas, así como soluciones adicionales que aportan otros factores.

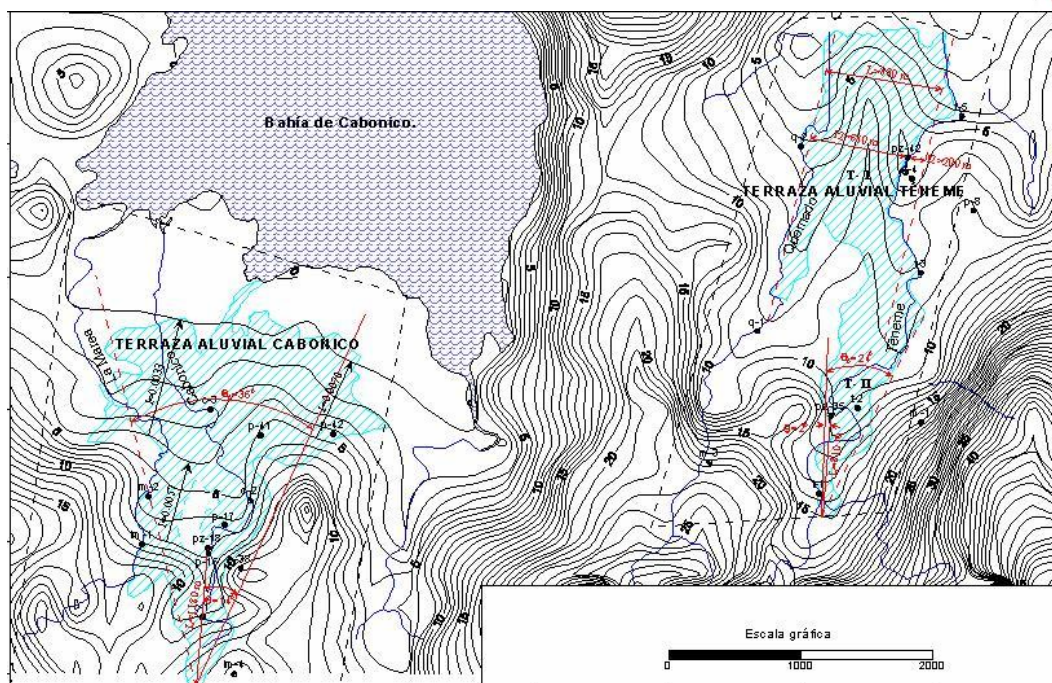


Figura 5.- Cálculo de Reservas

Terraza río Cabonico-río La Marea

En este caso utilizamos los métodos Hidrodinámico, Balance e Hidráulico.

Método Hidrodinámico

Utilizamos el esquema de cálculo de un acuífero formando ángulos entre un límite de alimentación y otro impermeable.

$$Q = \frac{\pi K(2H - S)S}{\ln\left(\frac{0.0222\sigma \cdot L}{R} \cdot \frac{\cot g 1.571\sigma}{\sigma^\circ}\right)} \quad (\text{Klimentov})$$

Donde:

K – Coeficiente de filtración promedio del gran pozo (177,57 m/día)

H - Potencia acuífera promedio (10,73 m)

S – Abatimiento programado (5,35 m)

R – Radio del gran pozo $[0,2 (R_1 + R_2)]$ – 78,98 m

σ - Ángulo entre límite impermeable y eje formado por el pozo y el vértice – 14°

σ° - Ángulo formado entre límites impermeables y permeables - 36°

π - Constante (3,1416)

L- Distancia del pozo al vértice – (1 180,0 m)

Por lo tanto:

$$Q = 9\,648.9 \text{ m}^3/\text{día} = 111.7 \text{ l/s}$$

Método de Balance mediante el gasto de la corriente subterránea

$$Q_e \leq Q_n + \alpha V_e / t \quad (\text{Binderman})$$

Donde:

Q_e = Reserva de explotación

Q_n = Recursos naturales de las aguas subterráneas

V_e = Reservas naturales de las aguas subterráneas

α = Coeficiente de utilización de las reservas naturales (0,5)

t = Tiempo para el que se calculan las reservas de explotación (3650 días).

Cálculo de los Recursos Naturales (Q_n)

$$Q_n = K H B I \quad (\text{Darcy})$$

Donde:

K = Coeficiente de filtración promedio de la terraza (128,65 m/día)

H = Potencia acuífera promedio (10,73 m)

B = Ancho del flujo promedio (1133 m)

I = Gradiente promedio (0,0056)

Por lo tanto:

$$Q_n = 8\,754,4 \text{ m}^3/\text{día} = 101,3 \text{ l/s.}$$

Cálculo de las Reservas Naturales (V_e)

$$V_e = \mu F H_p$$

Donde:

μ = Coeficiente de almacenamiento promedio (0,199)

F = Área de la Terraza (2,812 km²)

H_p = Potencia acuífera promedio (10, 73 m)

Por lo tanto:

$$V_e = 6\,004\,379,2 \text{ m}^3$$

Cálculo de las Reservas de Explotación

$$Q_e \leq Q_n + \alpha V_e / t$$

Por lo tanto:

$$Q_e = 9\,576,9 \text{ m}^3/\text{día} = 110,8 \text{ l/s} = 3,496 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

Método de Balance de Evaluación de los Recursos Naturales por una sección normal al flujo

Cálculo de los Recursos Naturales

$$Q_n = q_o B$$

$$q_o = \frac{Q_{16} + Q_{17}}{2L}$$

Donde:

SEGUNDA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS '2007.
Memorias en CD-Rom, La Habana, 20-23 de Marzo de 2007

q_o - Gasto específico del flujo ($m^3/día/m$)

Q_{16} - Gasto de aforo del pozo 16 ($42,37 \text{ l/s} = 3\,660,8 \text{ m}^3/día$)

Q_{17} - Gasto de aforo del pozo 17 ($36,74 \text{ l/s} = 3\,174,3 \text{ m}^3/día$)

L - Distancia entre los dos pozos ($R_1 + R_2 = 394,9 \text{ m}$)

B - Ancho del flujo (1040)

Por lo tanto:

$$q_o = 8,65 \text{ m}^3/día/m$$

$$Q_n = q_o \cdot B$$

$$Q_n = 8\,996 \text{ m}^3/día$$

$$Q_e \leq Q_n + \alpha \cdot V_e/t$$

$$Q_e = 9\,818,5 \text{ m}^3/día = 1\,13,6 \text{ l/s} = 3,584 \times 10^6 \text{ m}^3/año$$

Método Hidráulico

Se utilizó en nuestro caso la fórmula de Dupuit para calcular el gasto de explotación en cada pozo.

$$Q_e = \frac{Q_a(2H - S_e)S_e}{(2H - S_a)S_a}$$

Terraza río Téneme – río Quemado

En este caso utilizamos el método hidrodinámico y el hidráulico, ya que el de balance no se adapta al esquema de cálculo; para nuestro caso.

Método Hidrodinámico

La terraza la dividimos en dos tramos: Tramo I (norte) y Tramo II (sur).

Tramo I (norte).- Utilizamos el esquema de un acuífero en franja limitada por dos fuentes de alimentación

$$Q = \frac{1.36K(2H - S)S}{\log \left[\frac{2L}{\pi R} \cos \frac{\pi(l_1 - l_2)}{2L} \right]} \quad (\text{Romanov})$$

Donde:

K – Coeficiente de filtración promedio (11,7 m/día)

H.- Potencia acuífera promedio (6,51 m)

S.- Abatimiento programado (3,40 m)

L.- Ancho de la banda (880 m)

I₁.- Distancia hasta la fuente más lejana (680 m)

I₂.- Distancia hasta la fuente más próxima (200 m)

R.- Radio del pozo (70,8 m)

π.-Constante (3,1416)

Por lo tanto:

$$Q_I = 581,9 \text{ m}^3/\text{día} = 6,7 \text{ l/s}$$

Tramo II (sur). Utilizamos el esquema de cálculo de un acuífero formando ángulo entre un límite de alimentación y otro impermeable.

$$Q_{II} = \frac{\pi K (2H - S) S}{\ln \left(\frac{0.0222 \sigma \cdot L}{R} \cdot \frac{\cot g 1.571 \sigma}{\sigma^\circ} \right)} \quad (\text{Klimentov})$$

Donde:

K - Coeficiente de filtración promedio del gran pozo (17,1 m/día)

H - Potencia Acuífera promedio (11,73 m)

S - Abatimiento programado (7,80 m)

R - Radio del gran pozo [0,2 R = 224,8 (0,2) = 44,96 m]

σ - Ángulo entre límite impermeable y eje formado por el pozo y el vértice – 2°

σ° - Ángulo formado entre límites impermeables y permeables - 24°

L- Distancia del pozo al vértice – (810,0 m)

π- Constante (3,1416)

Por lo tanto:

$$Q_{II} = 3\,098.5 \text{ m}^3/\text{día} = 35,9 \text{ l/s}$$

El gasto total es igual a:

$$Q_T = Q_I + Q_{II}$$

$$Q_T = 3\,680,4 \text{ m}^3/\text{día} = 42,0 \text{ l/s}$$

Método Hidráulico

Se utilizó en nuestro caso la fórmula de Dupuit para calcular el gasto de explotación de cada pozo.

$$Q_e = \frac{Q_a (2H - S_e) S_e}{(2H - S_a) S_a}$$

Resultados

Como resultado de las diferentes variantes obtenemos:

MÉTODOS	TERRAZA CABONICO- LA MAREA (m ³ /día)	TERRAZA TÉNEME- QUEMADO (m ³ /día)
Hidrodinámico	9 648,9	3 680,4
Balance (Evaluación de los recursos naturales por una sección normal del flujo)	9 818,5	-
Balance (Mediante el gasto de la corriente subterránea)	9 576,9	-
Hidráulico	11 249,3	1 417,0
Escurrecimiento de los ríos al 95 %	37 068,5	19 038,4

En la Terraza Cabonico – La Marea definimos como método de evaluación principal el de Balance mediante el gasto de la corriente subterránea.

$$Q_e = 110,8 \text{ l/s} = 9\,576,9 \text{ m}^3/\text{día} = 3,496 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

En la Terraza Téneme- Quemado el método Hidrodinámico

$$Q_e = 42,0 \text{ l/s} = 3\,680,4 \text{ m}^3/\text{día} = 1,343 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$$

CONCLUSIONES

1. El abasto de agua al Polo Turístico está garantizado en 113.8 l/s de los cuales 38 l/s corresponden a la terraza Téneme, 75.8 l/s a la terraza Cabonico.
2. Las reservas de aguas subterráneas en la Terraza de los ríos Téneme-Quemado se calcularon en 42 l/s = 3 860,4 m³/día = 1,343 x 10⁶ m³/año en categoría C, mediante el método Hidrodinámico. De los mismos 4 l/s están autorizados para el abasto de los asentamientos rurales Barrederas, Sabana y El Palmar.
3. Las reservas de aguas subterráneas en la Terraza de los ríos Cabonico-La Marea se evaluaron en 110, 8 l/s = 9 576,9 m³/día = 3,496 x 10⁶ m³/año en categoría C, mediante el método de balance como método principal. De los mismos hay autorizados 5 l/s (pozo 5177-IV-38) para el poblado de Cabonico y 30 l/s (pozo 5178-III-16) para la Marina de Guerra.
4. Todas las aguas subterráneas presentes en las terrazas de los ríos Téneme-Quemado, Cabonico-La Marea, presentan una calidad óptima para el consumo humano.
5. El contenido de iones en las aguas subterráneas depende de las rocas que las contienen.
6. El escurrecimiento de los ríos del 95 % de probabilidad garantiza la explotación de las reservas de aguas subterráneas en las terrazas.
7. Los sedimentos más perspectivas para la búsqueda de agua subterránea son los aluviales debido a que presentan transmisibilidades que pueden llegar a 1 403,0 m²/día y potencias acuíferas de hasta 18,3 m.

RECOMENDACIONES

1. Recomendamos la extracción de 38,0 l/s de la Terraza de los ríos Téneme-Quemado para el Polo Turístico mediante 3 pozos a construir en áreas cercanas al río Téneme, más 12,4 l/s del pozo 35-5178-III del asentamiento Téneme. Los pozos a construir serán marcados después que la geofísica defina la zona más favorable en la próxima etapa de estudio.
2. Recomendamos la extracción de 75,8 l/s de la Terraza de los ríos Cabonico-La Marea para el Polo Turístico, mediante la reconstrucción del pozo 17-5178-III y otro pozo a construir en ella.

Estos pozos a perforar serán marcados después que la geofísica defina la zona más favorable en la próxima etapa de estudio.

3. Hacer un estudio más detallado en escala 1:10 000 de las Terrazas de los ríos Téneme-Quemado y Cabonico-La Marea, con el fin de garantizar las reservas de aguas subterráneas y llevarlas a categorías industriales A ó B y poder dar recomendaciones definitivas de explotación para establecer las obras de captación.
4. No construir sistemas de tratamiento de aguas residuales sobre las Terrazas de los ríos Téneme-Quemado y Cabonico-La Marea.

BIBLIOGRAFÍA

GER-CITEC, 2000. Estudio Ingeniero-geológico Regional Corintia-Barrederas. 205p.

HIDROLOGÍA DE TRAZADORES EN LA GESTIÓN AMBIENTAL DE YACIMIENTOS DE PETRÓLEO ONSHORE

Leslie F. Molerio León ⁽¹⁾

(1) CESIGMA, S.A., Apartado 6219, CP 10600, Habana 6, La Habana, Cuba. E-mail: leslie@cesigma.com.cu

RESUMEN

La aplicación de técnicas de hidrología de trazadores naturales (ambientales o de isótopos estables o radioactivos) y artificiales es un recurso tecnológico especialmente apto para identificar el alcance de responsabilidad de los operadores respecto al empobrecimiento de la calidad de las aguas terrestres y marinas como consecuencia de los trabajos de exploración & producción tanto los actuales como, incluso, aquellos que tuvieron lugar en años anteriores. Básicamente, en esta contribución se describen algunos resultados obtenidos por el autor en la aplicación de técnicas de trazado utilizando Rodamina B, Tritio, Radón 222, microelementos como el Li, B, Br o macroconstituyentes conservativos como el Cl para la gestión ambiental de las aguas terrestres de los yacimientos de la Franja de Crudos Pesados del Occidente de Cuba con los siguientes objetivos:

- Identificación del origen de contaminaciones y alcance de responsabilidad de los operadores (huella isotópica y tiempo de residencia).
- Identificar la presencia-ausencia de LFNA en las aguas terrestres y marinas.
- Discriminación de efectos de salinización natural o inducida (por explotación o por derrames y descargas de aguas de capa tratadas o no).
- Formalización de evidencias indirectas de migración de H₂S en el subsuelo desde yacimientos gasopetrolíferos.
- Precisión de las direcciones de flujo subterráneo y del intercambio hidráulico entre las aguas superficiales y subterráneas.
- Identificación de estructuras tectónicas.
- Marcaje de emisiones de gases y líquidos desde ductos.
- Delimitación de perímetros de protección sanitaria de fuentes de abastecimiento de agua.

ABSTRACT

The application of natural (environmental or of stable or radio-active isotopes) and artificial tracer hydrology is a special technological resource capable to identify the liability of the oil and gas operators regarding the impoverishment of marine and terrestrial water quality as a consequence of the petroleum exploration & production. Because of the behavior of tracers they can be used not only to identify the current liability but, even, those impacts that took place in previous years. In this contribution are described some results obtained by the author in the application of tracer techniques using Rhodamine B, Tritium, Radon 222, microelements like Li, B, Br or conservative major constituents like Cl, for the environmental management of the terrestrial waters located in the Fringe of Heavy Oils of Western Cuba. Those tests were performed with the following objectives:

- Identification of the origin of contaminations and liability of the current operators (isotopic print and residence of groundwater).
- Identification of the presence-absence of NAPLs in the marine and terrestrial waters.
- Discrimination of effects of natural induced salinization (due to oil or groundwater exploitation or from spills and discharges of treated or untreated produced waters).
- Formalization of indirect evidences of H₂S migration in the soil from oil and gas fields.
- Precision of the direction of ground water flow and of the hydraulic exchange between surface and ground waters.
- Identification of tectonic structures.
- Localization of gases and liquids emissions from pipelines.
- Delimitation of perimeters of sanitary protection of water supply wells.

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de trazadores permiten obtener información sobre un sistema o parte de él observando el comportamiento en ese medio de una sustancia específica, el trazador, que se añade al sistema o es parte de él. Son básicamente de dos tipos: ambientales (o naturales) y artificiales. Los trazadores ambientales son el resultado de procesos de producción natural o resultan de la actividad global social y económica del hombre. Estos trazadores se introducen en el medio también como consecuencia de procesos naturales. Los artificiales, por su parte no están disponibles en la naturaleza como parte de su producción biogeoquímica.

Un trazador ideal es aquella sustancia que se comporta en el sistema exactamente de igual modo que el material a trazar, al menos en lo que a la identificación de parámetros concierne pero que, por otro lado, posee una propiedad que lo distingue del material a trazar. En otros términos, ello significa que:

- No interaccione con el terreno (que no sea absorbido, ni sufra procesos de intercambio iónico).
- Que sea soluble en el agua (que no se precipite ni sea retenido por filtración mecánica).
- Que sea estable químicamente y biológicamente en el agua en la que se utiliza (no se oxide ni se reduzca, y que no se descomponga).
- Que pueda ser añadido al agua sin alterar las propiedades físicas y químicas del agua.
- Que no altere la permeabilidad y porosidad de las rocas que componen el acuífero.
- Que no contamine permanentemente el terreno, después de efectuado el ensayo.
- Que pueda ser detectado fácilmente.

Son condiciones importantes en el trazador ideal artificial:

- Que baste con utilizar pequeñas cantidades.
- Que sea de elevada solubilidad.
- Que se pueda detectar aún en condiciones muy bajas de concentración de forma cuantitativa.
- Que sea fácil de manejar.
- Que no sea tóxico ni molesto.
- Que sea barato y fácil de obtener.
- Que, de ser posible, no exista en el agua (o en todo caso, en pequeñas cantidades) y que el terreno no lo aporte naturalmente.

Los trazadores naturales y artificiales son de muy diverso tipo pero, básicamente se pueden agrupar en los siguientes grupos:

- Trazadores sólidos en suspensión.
- Trazadores químicos solubles electrólitos fuertes (salinos).
- Trazadores químicos colorantes.
- Trazadores radiactivos
- Trazadores isotópicos estables

Los **trazadores sólidos en suspensión** solo tienen alguna aplicación cuando el agua circula por grandes grietas como el caso de conductos cárlicos muy desarrollados, ya que en presencia de sifones son retenidos.

Los **trazadores químicos solubles** son aquellos que se disueltos en el agua permiten identificarlos fácilmente. En este grupo se encuentran los trazadores salinos. Los trazadores salinos son bastante solubles y, por lo general, el más utilizado es el ión de cloruro, que por ello es un trazador casi ideal.

Si el agua es originalmente poco salina, la concentración se puede medir por conductividad, ya que como conocemos, al disolverse la sal en el agua los aniones y los cationes se separan por acción de las moléculas polares del agua, comienzan a moverse libremente y la disolución comienza a ser conductora.

Para el empleo de los **trazadores salinos** es indispensable considerar los siguientes factores (Zojer, 1988):

- Baja salinidad de las aguas a trazar.
- Aplicación en grandes cantidades (NaCl y KCl)
- Suficiente cantidad de agua para la disolución y el transporte, por ello habrá restricciones en zonas con escasez de agua.
- Ambiente de concentración bajo, aunque fluctuante.
- Resistencia química.
- Fácil detención en el campo con mediciones de conductividad.
- Algunos ejemplos de trazadores salinos: NaCl, KCl, LiCl, Cloruro de Estroncio, Cloruro de Cesio, Cloruro de Cromo

El empleo de los **trazadores salinos** abarata los costos de cualquier experimento de este tipo. Se pueden detectar fácilmente con pocas muestras, para las zonas cársicas montañosas son ideales producto a la baja concentración de estos iones en los niveles base. El conocimiento directo en el campo permite efectuar cambios inmediatos en los intervalos de muestreo, lo cual permite también a que sea más barato el experimento, consumiendo en condiciones de campaña sólo el tiempo necesario, así como la agilización de los resultados finales.

Por lo general en los sistemas cársicos, cuando se miden distancias largas se requiere apreciables cantidades para lograr una buena concentración por debajo del punto de saturación, de acuerdo con las condiciones o niveles base. En este caso se encuentra el NaCl y el KCl, no obstante el Cloruro de Litio se puede emplear en pequeñas cantidades, pero es más caro, que los mencionados anteriormente. Tampoco son útiles en aguas con elevado contenido natural de cloruro.

Los **trazadores químicos colorantes** se emplean con mucha frecuencia en los sistemas cársicos. En sentido general las aguas naturales no los contienen, por lo cual son fácilmente detectables en concentraciones muy bajas. Son poco recomendables en terrenos con un elevado contenido de arcilla, ya que su principal inconveniente es su estructura molecular, cuyo gran tamaño favorece la retención en el terreno, en especial por arcillas, coloides y materias orgánicas. Algunos de estos colorantes pueden ser alterados o destruidos por acciones tales como cambio en el PH y acciones de microorganismos del terreno.

Una de las sustancias más utilizadas es la fluoresceína ($C_2OHL_2O_5$) o un derivado sódico muy soluble, la uranina ($C_2OHO_4Na_2$). En aguas ácidas se puede emplear el azul de anilina y azul de metileno. Existen otros como:

- Rhodamina B
- Sulforhodamina
- Iosina
- Amidorodamina
- Tipopal

El carbón activado retiene la fluoresceína, es por ello que se emplea para su detección, colocándose cápsula perforadas con carbón activo, durante el tiempo que dure el experimento en el lugar que se observa.

Los **trazadores isotópicos** son de dos tipos, estables y radioactivos. Los trazadores isotópicos **estables**, como el ^{18}O y el ^2H son aquellos que no suponen una variación en la composición isotópica del agua o de alguna de las sustancias que tienen disueltas. Los **radioactivos**, como el ^3H son muy importantes y presentan notables ventajas sobre los trazadores químicos, pero su manejo es más delicado y caro.

En la industria gasopetrolífera la aplicación de las técnicas de trazadores desborda los límites tradicionales de la exploración y producción. La gestión ambiental de yacimientos onshore encuentra en las técnicas de hidrología de trazadores una herramienta adecuada para identificar problemas ambientales, evaluar el alcance, distribución espacial y variación temporal de contaminaciones de petróleo de las aguas terrestres y marinas, del suelo y la vegetación y, en consecuencia, monitorear – con ciertos trazadores- la efectividad de las medidas para mitigar los efectos no deseados y la rehabilitación de las aguas y los terrenos contaminados (Soerens et al., 2004).

En esta contribución se describen algunos resultados obtenidos por el autor en la aplicación de técnicas de trazado utilizando Rodamina B, Tritio, Radón 222, microelementos como el, B, Br, Sr o macroconstituyentes conservativos como el Cl para la gestión ambiental de las aguas terrestres de los yacimientos de la Franja de Crudos Pesados del Occidente de Cuba (FCPOC) con los siguientes objetivos (Molerio y Rocamora, 2005):

- Identificación del origen de contaminaciones y alcance de responsabilidad de los operadores (huella isotópica y tiempo de residencia).
- Identificar la presencia-ausencia de LFNA en las aguas terrestres y marinas.
- Discriminación de efectos de salinización natural o inducida (por explotación o por derrames y descargas de aguas de capa tratadas o no).
- Formalización de evidencias indirectas de migración de H_2S en el subsuelo desde yacimientos gasopetrolíferos.
- Precisión de las direcciones de flujo subterráneo y del intercambio hidráulico entre las aguas superficiales y subterráneas.
- Identificación de estructuras tectónicas.
- Marcaje de emisiones de gases y líquidos desde ductos.
- Delimitación de perímetros de protección sanitaria de fuentes de abastecimiento de agua.

RECONOCIMIENTOS

El autor desea agradecer la inestimable cooperación y apoyo de las gerencias de operaciones de de ENERGAS, S.A., de Sherritt International (Cuba) Oil & Gas, de la empresas de Perforación y Extracción de Petróleo de Occidente (EPEPO) y Centro (EPEP-C) así como de los laboratorios especializados del Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR), Laboratorio Central de Minerales (LACEMI), Centro de investigaciones y Manejo Ambiental de Bahías (CIMAB) y Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET). En particular a A. Villalonga, A. Moinelo, , B. Zimmermann, M. Emmett, E. Martínez, J.C. Betancourt, M. Gala, A. Carey, J.C, Estabil, J. Hernández, J.C. Dávila, I. Morejón, C. Betancourt, X. Guedes, J.L. Peralta, J. Carrazana, I. Fernández, J. Prendes, M. Morales, J.C. Estabil, M. Fernández, J. Beltrán y M. Morales. Del mismo modo desea agradecer su sostenido apoyo en los trabajos de campo de sus compañeros de la Sociedad Espeleológica de Cuba y de CESIGMA, S.A.: R. Torres, E. Grau, J.L. Clinche, E. Rocamora, L. Peñalver, M.L. González y M.C. Martínez. A los expertos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA en Viena, Austria) L. Araguas y C. Devia Torres; a P. Maloszewski y K.P. Seiler del GSF-Instituto de Hidrología (Munich, Alemania) y a D. Hunkeler y H. Höhener, del Centro de Hidrología de la Universidad de Neuchatel (Suiza) por los gentiles intercambios de opiniones respecto a algunos de los problemas detectados en los estudios hidrogeológicos ambientales que involucraron técnicas isotópicas. El reconocimiento se hace extensivo a la Oficina del Programa Hidrológico Internacional de Montevideo, en particular a la Hidróloga Regional, M.C. Donoso y los miembros de

su staff y a la División de Ciencias del Agua de la UNESCO (Paris) por su interés en el completamiento bibliográfico para estos estudios.

A Ana, mi compañera, que compartió conmigo muchos de los trabajos de campo, mi agradecimiento de siempre.

ORIGEN DE CONTAMINACIONES Y ALCANCE DE RESPONSABILIDAD DE LOS OPERADORES

Los yacimientos que han sido explorados y explotados de manera intermitente por diferentes operadores plantean al operador actual el problema del alcance de responsabilidad de cada uno de los precedentes respecto al estado de calidad del aire, las aguas y los suelos. Esto es particularmente importante en tanto la legislación ambiental de muchos países exime o exige, según el caso, reparaciones por los daños causados al entorno por la actividad de exploración & producción. Pero en el caso, sobre todo, de actividades de E&P llevadas a cabo antes de 1970, en que la exigencia por el cuidado del medio ambiente era mucho menor y no constituía parte de la filosofía de estado de muchos países y, mucho menos, de las propias compañías petroleras, sucede que los operadores que vuelven a esos campos pueden encontrarse problemas ambientales no creados por ellos y a los que, de cualquier modo, deben dar solución o responder por tales impactos, jurídicamente, ante las autoridades ambientales, gubernamentales y la sociedad civil en general.

Distinguir si la presencia de hidrocarburos (Líquidos de Fase No Acuosa –LFNA–, en general) en las aguas o los suelos son producto de la actividad de E&P actual o antigua o son manifestaciones naturales aisladas o si la salinidad de determinado horizonte acuífero es producida por derrames de aguas de capa, explotación de pozos auxiliares, derrames o filtraciones en ductos de agua salada o es debida al aprovechamiento intensivo no petrolero (actual o antiguo) de las aguas subterráneas es un tema ambiental a resolver que se plantea con cierta frecuencia (Fink y Worner, 1993; Seiler et al., 1980; Molerio et al., 1996; Soerens et al., 2004).

Ciertos trazadores (Soerens et al., 2004) son particularmente bondadosos en la solución de ciertos problemas de hidrogeología ambiental de yacimientos gasopetrolíferos en terrenos cárnicos donde fuentes diferentes de contaminación de las aguas terrestres pueden provocar efectos semejantes que se prestan a confusión. En tal sentido, los trazadores isotópicos resultan de especial relevancia (Fig. 1).

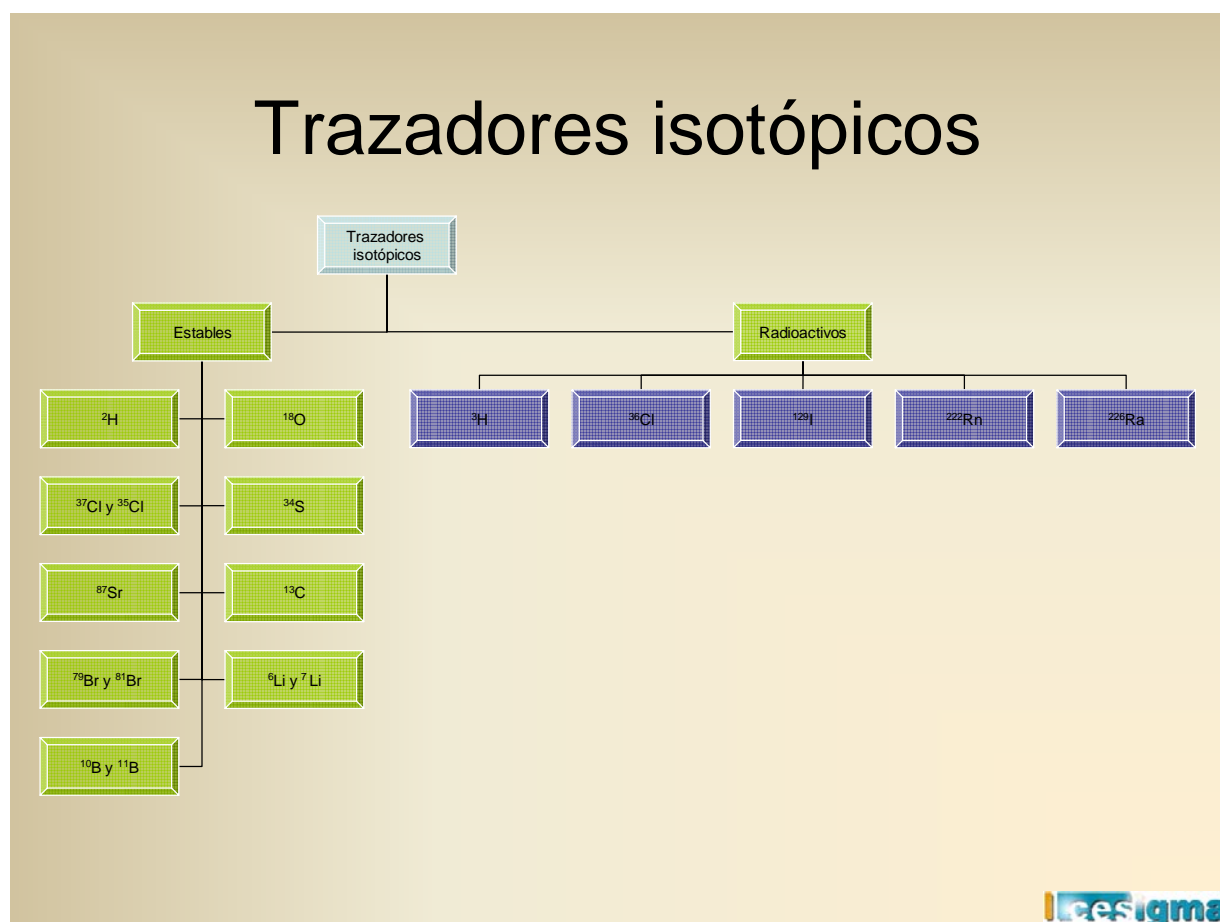
Los **isótopos estables**, por sus propiedades de fraccionamiento, permiten caracterizar las condiciones hidrológicas y climatológicas en las que tuvo lugar la infiltración y la recarga de los acuíferos. La composición isotópica estable se modifica por los procesos meteóricos, por lo que las aguas de infiltración adquieren una huella isotópica característica del entorno en que se produjo la recarga. Los **isótopos radioactivos**, por su período de desintegración, permiten fechar el momento de tales infiltraciones. El decaimiento radioisotópico desde las fuentes de recarga hasta las de descarga es una medida del tiempo de circulación y, en consecuencia, de las condiciones de renovabilidad del agua.

Caso 1: Salinización de las aguas subterráneas

La salinización o mineralización de las aguas subterráneas dulces constituye la principal amenaza a la calidad de las aguas subterráneas en los acuíferos litorales cubanos. Consiste en un aumento en la concentración de sales, básicamente de cloruro de sodio. Las causas naturales son, básicamente, las siguientes (Araguas y Gonfiantini, 1991; Cabra et al., 1992; Molerio, 1993; Molerio y Portuondo, 1997; Wallick y Tóth, 1976):

- La **intrusión marina**, que consiste en el avance, tierra adentro, de las aguas saladas marinas que, mezcladas con las aguas terrestres dulces, incrementan su mineralización, tornándolas no aptas para consumo humano, el abastecimiento a ciertas industrias, el riego y la alimentación del ganado. La intrusión marina puede ser acelerada por causas artificiales, siendo la más común la sobreexplotación de las aguas subterráneas.
- La **deposición de aerosoles marinos** en la superficie del terreno, esencialmente sales de cloruro de sodio, que se infiltran hacia el subsuelo y contaminan el suelo y las aguas subterráneas, incrementando la mineralización total de los suelos y las aguas, provocando los mismos efectos nocivos.

Fig. 1. Trazadores isotópicos (estables y radioactivos) aplicables en la gestión hidrogeológica ambiental de yacimientos gasopetrolíferos



Las causas artificiales del incremento en la mineralización de las aguas terrestres y, particularmente, las subterráneas son las siguientes:

- La sobreexplotación de acuíferos.
- La explotación de horizontes acuíferos profundos, asociados muchas veces a niveles de cavernamiento profundos, invadidos por agua salobre o salina.
- El mal manejo de suelos salinos.
- La inyección o vertimiento de aguas de capa de los yacimientos de petróleo en acuíferos someros o en pozos liquidados.
- La disposición, en superficie, de aguas de capa, producidas o salmueras de petróleo.

- El riego con aguas de elevada mineralización en zonas cársicas.
- La gestión deficiente de aguas de elevada mineralización utilizada con fines de enfriamiento en sistemas de aires acondicionados, plantas termoeléctricas o instalaciones industriales semejantes o en sistemas de abastecimiento, básicamente recreativos o de salud, que emplean aguas de este tipo (piscinas, acuarios, instalaciones terapéuticas).

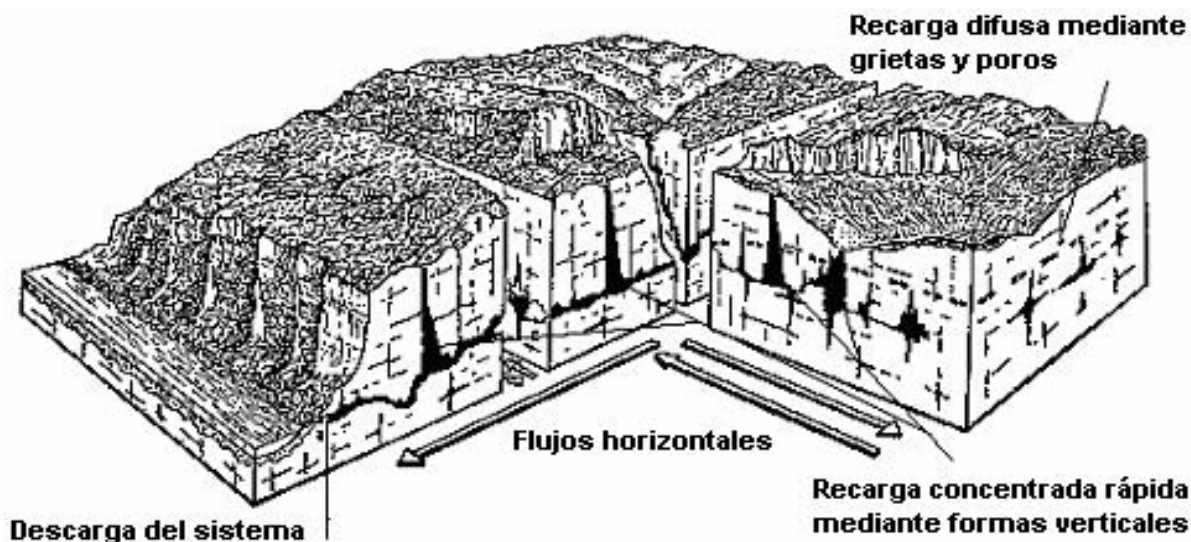
El límite entre las aguas dulces y saladas se fija, en correspondencia con la legislación cubana (Cuba, 1985, 1986, 1987) y la práctica común internacional, cuando las aguas alcanzan 1000 miligramos por litro de sólidos disueltos totales.

La mayor parte de los acuíferos litorales cubanos son cársicos; es decir, que están constituidos por calizas cavernosas, en las que el movimiento de las aguas subterráneas se caracteriza por la presencia de zonas de flujo rápido, bien organizado en sectores altamente transmisivos y zonas flujo difuso, más lento y menos organizado, en sectores básicamente capacitivos. Particularmente importante en estos acuíferos es el modo en que ocurre la recarga de las aguas subterráneas.

Así (Fig. 2) en ellos se reconoce una recarga rápida, concentrada, que tiene lugar a través de formas verticales, del tipo de simas, conectadas con las aguas subterráneas o que siguen cavernas horizontales o subhorizontales. El flujo superficial hacia estas formas ocurre por dos vías fundamentales: una escorrentía superficial difusa y otra, concentrada, a lo largo de los cauces de las corrientes fluviales absorbidas por estas formas cársicas. Y una recarga lenta, difusa, que tiene lugar a través de los poros y grietas menos carsificadas. El flujo superficial hacia estas formas ocurre por dos vías fundamentales: la escorrentía superficial difusa y la infiltración directa sobre la superficie, desnuda o no, de las rocas carsificadas.

Para aclarar el origen de la salinidad de las aguas subterráneas en estas áreas problemáticas es necesario identificar, previamente, los valores de fondo (background) de los elementos indicadores, fundamentar el modelo conceptual, seleccionar las ecuaciones de gobierno, y resolverlas para diferentes condiciones iniciales y de contorno. Para ello son especialmente útiles los siguientes trazadores isotópicos: Cl, B, Br, Sr y ^3H .

Fig. 2. Esquema general de un macizo cársico (ligeramente modificado de Mangin, 1975)



Valores de fondo (background)

Molerio (1992a) ha ofrecido algunos indicadores básicos para ello, a partir de un modelo conceptual de extremales, en que la composición físico química e isotópica de las aguas se adquiere a partir del recorrido de una función entre valores extremos o miembros terminales, en virtud de los patrones de control de la mezcla (tipo, origen e intensidad de la lluvia, composición litológica de las rocas y del suelo, tiempo de residencia de las aguas, origen de las aguas subterráneas, entre otros).

Especialmente importante en el tipo y distribución de la lluvia en Cuba (Trúsov, Izquierdo y Díaz, 1983). En este sentido, debe destacarse que la amplitud más variable de la temperatura media diaria en el interior de la isla de Cuba, donde se registran rasgos de continentalidad, es del orden de los 11-14°C; en las zonas costeras, de 8-10°C y en las montañas, con temperatura media de 16°C a 1500 m, el gradiente de temperatura es de 0,55°C/100 m.

La media normalizada de 42 años de la lluvia del país es de 1375 mm, distinguiéndose dos estaciones, la lluviosa, de mayo a octubre, en que -como promedio- se precipitan 1059 mm y la menos lluviosa, en que se registran unos 316 mm, y se extiende de noviembre a abril. La distribución de la lluvia en el país es bastante irregular. Ello se debe a: 1/ la diferente influencia de los procesos atmosféricos condicionados por el sistema general de circulación del aire; 2/ el relieve del país, que presenta grandes contrastes topográficos e influye sobre la formación e intensidad de las precipitaciones y 3/ el calentamiento irregular de la superficie de la tierra firme y de las aguas costeras.

En el invierno -período menos lluvioso-, sobre el Occidente y Centro del país se extienden, con frecuencia, masas de aire frío como consecuencia del desplazamiento hacia el Atlántico Central del Anticiclón de las Bermudas. Durante el verano, la influencia de las altas presiones del Atlántico Norte es menor; aquí es mayor el efecto de las bajas presiones ecuatoriales que causan intensos aguaceros y tormentas debido a las incursiones de aire húmedo. A principios del verano son especialmente importantes las lluvias convectivas, cuyos máximos se alcanzan en mayo y junio.

Otra componente importante que explica la irregularidad de las precipitaciones, viene dada por los huracanes y ciclones tropicales. En las zonas montañosas y de alturas menores, las precipitaciones se redistribuyen de manera que los gradientes pluviométricos coinciden con los valores absolutos que se registran en las vertientes de barlovento. En las costas, bahías y valles fluviales las precipitaciones disminuyen.

De este modo se reconocen cuatro tipos fundamentales de lluvia en el territorio cubano: convectivas, frontales, orográficas y huracanadas.

La intensidad máxima de los aguaceros está en relación inversa con su duración. Excluyendo las lluvias huracanadas, la intensidad máxima de las lluvias torrenciales es de 5 mm/1 min; aguaceros con intensidades de 3-4 mm/min tienen una duración de 5-10 min; de 2,4-3 mm/min, 20 minutos y, entre 1,32 y 1,85 mm/min, una hora. El número de días con lluvia (> 1 mm) aumenta de la costa hacia el interior, incluyendo las zonas montañosas y llega a alcanzar 160 días en el año.

Según Gutiérrez y Travieso (1974) la concentración de los macroconstituyentes determinados en el agua de lluvia del país es del tipo que se muestra en la Tabla 1. De acuerdo con estos valores se encuentran las relaciones iónicas básicas que se presentan en la Tabla 2.

El balance general muestra que se trata de aguas dulces, de muy baja mineralización. Como promedio, y en términos de mEq/l se trata de aguas del tipo $\text{Cl}^- \text{HCO}_3^- \text{Na-Ca}$; los valores mínimos de

la serie analizada también muestran aguas del mismo tipo. Los valores mínimos y medios de la relación Cl/HCO_3 muestran el aporte de una fuente de cloruros en las aguas de lluvia. La presencia de aerosoles marinos fue destacada ya por los autores citados quienes además señalan una fuente suplementaria de aerosoles de tipo alcalino y aerosoles ácidos; obsérvense las relaciones $\text{HCO}_3/(\text{Ca}-\text{SO}_4)$ de la Tabla 2. La serie de Gutiérrez y Travieso muestra claramente la influencia de determinados tipos de lluvia en la composición química. Molerio (1992) procesó 126 aguaceros del período 1986-1990 de la estación Colón para caracterizar la composición química por tipo de aguacero y conocer la distribución interanual e hiperanual de los macroconstituyentes principales y las relaciones iónicas básicas. La Tabla 3 presenta la estadística sumaria de los indicadores medidos.

Tabla 1. Macroconstituyentes determinados en las aguas de lluvia de Cuba en mg/l (según Gutiérrez y Travieso, 1974, modificado ligeramente)

Constituyente	n	Mín	Máx	Media	Rango	Semirrango
pH	82	4,6	7,2	5,74	2,6	1,3
SPC(mS/cm)	91	9,2	50,0	26,6	40,8	20,4
HCO_3	48	1,22	19,5	3,97	18,28	9,14
SO_4	53	1,17	7,35	2,38	6,18	3,09
Cl	82	1,77	5,33	2,73	3,56	1,78
Ca	76	0,43	4,6	0,96	4,17	2,09
Mg	76	0,16	3,24	0,31	3,08	1,54
Na	92	0,7	5,75	1,72	5,05	2,53
K	53	0,07	0,24	0,12	0,17	0,09
SST	-	5,52	46,01	12,19	40,49	20,25

Tabla 2. Relaciones iónicas básicas según los datos de Gutiérrez y Travieso (1974)

Relaciones	Mg/Ca	Cl/ HCO_3	K/Na	$\text{HCO}_3 /(\text{Ca}-\text{SO}_4)$
Mínimo	0,5	2,5	0,07	5,02
Máximo	1,17	0,27	0,024	4,0
Medio	0,6	1,14	0,043	0,07

Tabla 3. Constituyentes principales determinados en las aguas de lluvia de la estación Colón (en mEq/l)

Constituyente	Eventos de lluvia	Mínimo	Máximo	Media	Semirrango	Coefficiente de variación
SPC (m /cm)	126	32	100	60,5	18,8	0,31
pH	126	5,5	8,15	7,05	0,76	0,11
HCO_3	126	0,19	0,89	0,46	0,16	0,34
Cl	126	0,05	0,32	0,18	0,07	0,39
SO_4	118	0,03	0,35	0,09	0,08	0,78
Ca	126	0,23	0,98	0,49	0,18	0,36
Mg	126	0,03	0,24	0,13	0,05	0,41
Na	119	0,01	0,19	0,07	0,04	0,56
K	114	0,01	0,05	0,03	0,01	0,34
Dureza total (mg/L)	126	15,0	55,0	30,95	9,47	0,31
SST (mg/L)	126	30,0	86,0	53,65	13,66	0,26

La estación Colón está situada de manera prácticamente equidistante de ambas costas y presenta, climatológicamente, rasgos de continentalidad. Las aguas, como promedio, son del tipo $\text{HCO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Ca-Mg}$; idéntica composición presentan los valores máximos. Los valores mínimos corresponden a

aguas del tipo HCO_3^- -Cl-Ca-Mg. El ión sulfato presenta el mayor coeficiente de variación de la serie, lo que sugiere la presencia de una fuente variable de acidez. Se asumió una reacción de neutralización completa con exceso de Ca sobre SO_4 , toda vez que resultó el caso más común, aunque en algunos aguaceros $\text{SO}_4 > \text{Ca}$. Las relaciones Mg/Ca y Cl/ HCO_3^- en las aguas de lluvia muestran, en todos los casos valores por debajo de la recta equivalente $rX/rY=1$, y sugieren que, como regla el aporte de aerosoles marinos es mínimo, predominando las fuentes de tipo alcalino.

El análisis factorial ha mostrado la existencia de dos tipos fundamentales de aguas de lluvia, unas cloruradas y sulfatadas y otra bicarbonatada cálcica y magnésica. Las fuentes de Cl y SO_4 se deben a la presencia de aerosoles marinos y ácidos, de un lado, y de aerosoles alcalinos, por otro. El estudio de las variables (Molerio, 1992a) confirmó el ión cloruro como variable principal de discriminación (0,89 de correlación interclase entre la variable y el eje discriminante) en el primer grupo; en el segundo, los iones Ca y Mg (0,82 y 0,73, respectivamente, de coeficiente de correlación).

En cada grupo de aguaceros estandarizados, la menor distancia se observa entre aguaceros consecutivos o próximos, con un lag hasta de 30 días. La semejanza entre los iones discriminantes es notable para aguaceros separados por lags de un día. Al incrementarse el tiempo entre cada evento de lluvia, el criterio de agrupación viene definido por una combinación entre los factores discriminantes caracterizados por una mayor distancia; es decir, con una menor similitud. En cuanto concierne a su efecto sobre la composición química de las aguas subterráneas, ello indica que el sistema acuífero recibe aguas de recarga neta -cuando ella se produce- de diferente composición, sobre todo, en elementos traza como por ejemplo el cloruro que, en dependencia de la longitud de mezcla se refleja con mayor o menor fidelidad en la concentración de las aguas subterráneas en el punto de muestreo. Por ello, adoptar valores medios de la concentración de ciertos elementos en el agua de lluvia para estimar la recarga natural en el acuífero es un método válido, solamente, cuando pueda discriminarse adecuadamente el tipo de lluvia y la variabilidad temporo-espacial del macroconstituyente que se tome como referencia. La concentración del ión cloruro, en la muestra de ejemplo, varía en el año de 0,05 a 0,32 mEq/l, es decir, casi cinco veces ($x_m = 0,18$; $\sigma = 0,067$; $CV = 0,38$). Para una lluvia media de 1300 mm, la recarga natural potencial puede variar hasta en un orden de magnitud.

En cuanto concierne a la composición isotópica estable, como regla, los valores de ^{18}O , ^2H y d se encuentran más empobrecidos en verano que en ^{18}O invierno con independencia de la altitud y la distancia a la costa de las estaciones. En el mes de Julio se observa un enriquecimiento relativo en isótopos estables motivado por un descenso, también relativo, de la lámina de lluvia del período húmedo.

Ello coincide, además, con un incremento en la temperatura media del aire (máximos absolutos del valor medio) que acelera los procesos de fraccionamiento isotópico. Con el descenso de la temperatura, la lámina de lluvia, y la evapotranspiración en invierno, se incrementa la concentración en isótopos pesados, alcanzando los valores máximos de ^{18}O entre Febrero y Marzo y los de deuterio en Enero, para el caso de estaciones situadas a mayor distancia de la costa y con rasgos de continentalidad en las precipitaciones pero, como regla, los máximos coinciden en Febrero y Marzo, al igual que para el ^{18}O .

Por lo que concierne a los efectos de fraccionamiento, el "efecto de cantidad" Dansgaard, 1964; Eriksson, 1967, 1976, 1983), definido como la relación inversa entre la concentración en isótopos pesados y la lámina de lluvia mensual se manifiesta perfectamente en las estaciones cubanas. Molerio (1992) encontró que los valores del coeficiente de correlación son considerablemente elevados (-0,8 para el ^{18}O y -0,83 para el ^2H) con una certidumbre del 95%. Incluso para la lámina de lluvia anual obtuvo una excelente correlación (-0,92) entre ella y la concentración media de ^{18}O .

Para los valores anuales, la tasa de empobrecimiento en ^{18}O es de -0,89 ‰/1000 mm. Para los valores mensuales es de -1,2 ‰/100 mm y de -10 ‰/100 mm, respectivamente, para el Oxígeno-18 y el Deuterio.

La relación entre la temperatura media del aire y la concentración en isótopos estables, para valores mensuales, resultó también aceptable: -0,7 para el ^{18}O y -0,78 para el ^2H . Las rectas de ajuste mínimo cuadrático muestran pendientes de empobrecimiento respectivo de -0,28 y -2,49 ‰/°C de ^{18}O y ^2H . Las correlaciones entre el exceso de deuterio respecto a la lluvia y la temperatura son mucho menos significativas, aunque más elevadas -como es de esperar- respecto a esta última.

La influencia de la **cantidad de lluvia y de la variación de temperatura** es mucho más acentuada si se separan de acuerdo con la estación del año. La diferencia en la concentración media y media ponderada es notable. Para el ^{18}O es del orden de -1,4‰. más baja en el período húmedo que en el seco; lo mismo ocurre para el ^2H , donde la diferencia es del orden de -11‰. Mucho más acentuada, como es de esperar, resulta la diferencia entre los valores de exceso de deuterio.

Al comparar los estadígrafos estacionales el comportamiento isotópico puede explicarse perfectamente. La lámina de lluvia media mensual en el período húmedo es 3,3 veces mayor que la de invierno (período seco o menos lluvioso). Asimismo, en los meses de verano, la temperatura media mensual es 4,5°C más alta que en invierno, provocando una evapotranspiración real casi el doble que la de invierno, con la salvedad de que, durante el período seco, el déficit de humedad es siempre negativo, oscilando alrededor de los -115 mm. Tales diferencias incrementan el enriquecimiento invernal en isótopos pesados de manera significativa.

Los valores obtenidos del coeficiente de correlación (-0,94 para la costa Sur y 0,51 para la distancia a la costa Norte) resultan indicadores indirectos de los rasgos de continentalidad y distancia a las fuentes de vapor de agua. Tomando como referencia la costa Sur del país, el ^{18}O se empobrece tierra adentro con un gradiente ponderado de -0,0667 ‰/km de distancia a la costa; el alto valor del coeficiente de correlación indica una fuerte dependencia de la concentración de ^{18}O respecto a la costa Sur; ello puede indicar la posición de la fuente principal de vapor a las lluvias producidas durante el período de muestreo. En tal sentido debe señalarse, también, que tal empobrecimiento hacia el interior del país, desde el Sur, es un indicador de alguna o ambas de estas posibilidades: a/ la tasa de empobrecimiento en isótopos pesados se incrementa según el vapor avanza hacia el interior del país, de manera que sucesivas reevaporaciones y recondensaciones reducen su concentración antes de ser finalmente precipitadas; b/ existe una fuente terrestre, de tipo continental, que provoca la presencia de vapores relativamente más empobrecidos en isótopos estables.

En cuanto concierne a la relación entre la concentración de ^{18}O y la distancia a la costa Norte, el signo del coeficiente de correlación se torna positivo y, aunque muy bajo, indica una componente de comportamiento inverso en la concentración isotópica. Las precipitaciones se enriquecen en ^{18}O según se avanza hacia el interior del país. Si este comportamiento es una regularidad, sugiere que, en determinados momentos, puede encontrarse una influencia de lluvias originadas en otra fuente de evaporación diferente del Mar Caribe, posiblemente asociado con lluvias frontales en invierno y al control del Anticiclón de las Bermudas.

Los valores ponderados de ^{18}O en verano para todas las estaciones del país muestran, con un alto coeficiente de correlación (-0,85), la fuerte dependencia entre la concentración del isótopo de referencia y la distancia a la costa Sur. El signo indica el decrecimiento de la concentración tierra adentro, con una pendiente de -0,128 ‰/km. La concentración media esperada, en la línea de la costa, de acuerdo con el intercepto calculado, es positiva, del orden del 1 ‰. ^{18}O , indicativa de la fuerte influencia de los aerosoles marinos. Del mismo modo, parece quedar claro que la fuente de

vapor de las lluvias se debe encontrar en el Sur, en el Mar Caribe. En verano, por otro lado, no existe ninguna correlación significativa con la distancia a la costa Norte, lo que indica la independencia entre la composición isotópica (en ^{18}O) y cualquier fuente de vapor situada al Norte del país.

Sin embargo, en invierno, el cuadro es diferente. La mejor correlación (+0,6) fue encontrada con la distancia a la costa Norte de las estaciones. El signo positivo indica un proceso inverso en el cual se debe esperar un enriquecimiento invernal motivado por el predominio de lluvias frontales asociadas al avance de masas de aire frío desde el continente, al Norte. Por añadidura, no dejó de encontrarse una cierta correlación con la distancia a la costa Sur, en invierno (-0,45) que indica la presencia de otra fuente de vapor, en el Mar Caribe, que debe funcionar durante el período comprendido entre cada "frente frío".

El último estudiado fue el "**efecto de altitud**". Los valores ponderados de ^{18}O y ^2H a muestran un empobrecimiento en isótopos estables con la altura, del orden de -0,0074/m y -0,00192/m, respectivamente para el ^{18}O y el ^2H . Los coeficientes de correlación obtenidos fueron, también, significativos (-0,86 y -0,94 para el Deuterio y el Oxígeno-18)

Definir los **miembros terminales** de los isótopos estables resulta especialmente importante para establecer tanto la cinética del proceso del fraccionamiento, como los procesos de intercambio que ocurren en las distintas fases del ciclo hidrológico y en los diferentes escenarios donde tales fases tienen lugar. Por tal motivo, una aproximación al entorno de valores que caracterizan la composición isotópica del agua de mar, la evaporación, y la lluvia es imprescindible para caracterizar los procesos de transporte desde el océano en la atmósfera y en tierra firme.

En cada caso, es especialmente útil conocer, además, el mecanismo de fraccionamiento estacional y, en cada estación del año, entre aguaceros y evaporaciones sucesivas. Ello es necesario, toda vez que en las islas tropicales la principal causa del deterioro de la calidad de las aguas subterráneas es la intrusión de las aguas de mar. Pero además, las pérdidas por evapotranspiración en acuíferos someros son realmente elevadas, aún cuando las cifras que se citan en la literatura pueden no ser muy exactas. En el trópico húmedo, por añadidura, la estación lluviosa es particularmente intensa y ello representa una renovación muy alta del agua atmosférica (Craig y Gordon, 1965; Ericsson, 1967, 1976, 1983; Gat y Gonfiantini, 19981; Clark y Fritz, 1997; Anati y Gat, 1988; Scout, 1967; Yurtsever y Gat, 1981; Weiss y Roether, 1980; Gonfiantini y Simonot, 1987; Ferronsky y Brezgunov, 1980; Gat y Tzuer, 1967; Clayton et al., 1966).

En cuanto concierne al **agua oceánica**, la fuente principal de vapor de agua para las precipitaciones es el agua del océano. De acuerdo con el grado de comunicación entre los mares y los océanos, la composición isotópica del agua de mar variará; esta variación también depende de la carga de agua dulce que, por escurrimiento (superficial y subterráneo) ingrese al océano.

Como se señaló antes, las fuentes de vapor de agua para las precipitaciones cubanas se localizan en dos zonas diferentes de acuerdo con la época del año: en verano, en el Mar Caribe por la influencia de las bajas presiones ecuatoriales; en invierno, la fuente más importante la constituye el Océano Atlántico, como resultado del movimiento del Anticiclón de las Bermudas. La influencia ecuatorial, sin embargo, no llega a anularse en invierno, y esto es un hecho que debe ser tenido en cuenta.

Por cuanto corresponde a la influencia del Mar Caribe como fuente de vapor de agua, su composición isotópica es determinante en la de la lluvia. La comunicación del Caribe con el Océano Atlántico es, en alguna medida, limitada. Los valores reportados por Araguas y Gonfiantini (1992) en la superficie del mar en Haití y Jamaica son, respectivamente, de 0,76 a 0,91 en ^{18}O y de 6,3 a 7 para el ^2H .

Para los valores que se reportan en las aguas de lluvia en Cuba, tales concentraciones están fuertemente enriquecidas en isótopos estables. En el Atlántico, se reportan concentraciones, en superficie, de ^{18}O que oscilan entre -3,34 en Groenlandia hasta +1,32 en el Ecuador. La estación Weathership E, de la red IAEA-OMM reporta valores medios de -3,16 y -16,4‰ para el ^{18}O y ^2H , respectivamente, para la lluvia a la altura del nivel del mar en el Atlántico Norte. Para la misma latitud, Araguas y Gonfiantini (1992) reportan valores de +1,11 y +6 de ^{18}O y ^2H , respectivamente, en las aguas del océano. De esta manera, como base de estimación pueden tomarse los valores que se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Composición isotópica de las aguas de los mares que rodean a Cuba

Zona	$^{18}\text{O}_{\text{máx}}$	$^2\text{H}_{\text{máx}}$	$^{18}\text{O}_{\text{med}}$	$^2\text{H}_{\text{med}}$
Caribe	+1,0	+7,0	+0,84	+6,7 ^{18}O
Atlántico	+1,32	+5,0	+0,86	+5,0

Por lo que respecta a las **aguas evaporadas y condensadas**, en Cuba no existen mediciones de la composición isotópica del vapor de agua, ni tampoco observaciones respecto a la temperatura en la base de la nube, o la concentración en isótopos estables de lluvias de diferente tipo genético o tomadas a intervalos durante un aguacero. En consecuencia, las apreciaciones de Molerio (1992) son meramente cualitativas y se derivan de la generalización de los datos disponibles en las muestras de agua de lluvia que ya se han discutido en párrafos anteriores.

Como regla, las aguas de lluvia sufren sucesivas evaporaciones y condensaciones antes de ser finalmente precipitadas. De esta manera, los miembros terminales, en invierno y en verano pueden tomarse, en primera aproximación, como los máximos de enriquecimiento y empobrecimiento en isótopos estables. Por ellos, los valores máximos esperados son del orden de -5‰ (^{18}O) y -30‰ (^2H), según puede derivarse del comportamiento de la serie disponible, cuya media histórica no registra valores más altos, aunque sí muy próximos.

Las aguas netamente provenientes de evaporación presentarán, como es de suponer, una pendiente aún más baja que 7,3 correspondiente a la recta meteórica del país y que, a su vez, es inferior a la de la recta mundial, tomada como línea de equilibrio $^2\text{H} - ^{18}\text{O}$. De acuerdo con la Tabla 5, la pendiente de la recta de evaporación es del orden de 4,57, en el rango reportado por Gat (1981), ligeramente más alta que la media mundial, lo que es fácilmente explicable tomando en cuenta las características de la alternancia rítmica y la intensidad de la pluviometría y evaporación en el país.

Tal pendiente corresponde a los valores de los meses de verano, donde la evaporación, como consecuencia de la elevada temperatura del aire, es más intensa. La pendiente de los valores de invierno, con temperatura más baja, es del orden de los 7,25, prácticamente idéntica a la línea de equilibrio $^2\text{H} - ^{18}\text{O}$ de Cuba (7,296). En ambos casos, se superpone el efecto de la cantidad de lluvia, muy superior en verano que en invierno.

Los **procesos de ultrafiltración** se desplazan con una pendiente muy baja, entre 4 y 0, correspondiendo este último caso a los procesos de intercambio. Como pendiente más adecuada, Molerio (1992a) seleccionó 2‰ para el caso de la ultrafiltración.

La **Recta Meteórica Nacional Cubana** presenta pendiente e intercepto muy similares a los de la línea de mezcla con el Mar Caribe. Ello confirma:

1. el Caribe es la fuente más importante -aunque no la única- de suministro de vapor de agua para las precipitaciones cubanas;
2. los procesos que conducen a las sucesivas reevaporaciones y recondensaciones del agua meteórica tienen lugar muy próximas al equilibrio $^2\text{H} - ^{18}\text{O}$ en el mar;

3. el empobrecimiento en isótopos pesados es notable, en las aguas de lluvia, sólo en los meses de verano, donde se conjuga la influencia de las altas temperaturas, elevada evapotranspiración y mayor cantidad de lluvia;
4. los valores de ^{18}O y ^2H cercanos a los valores límite en el gráfico, no resultan indicativos, "a priori", de los procesos que controlan el fraccionamiento y, en general, deben para ello, ser tomados por debajo de -4 y -20‰ de ^{18}O y ^2H .

Tales condiciones de contorno deben ser tomadas en consideración al aplicarse las técnicas de hidrología isotópica para caracterizar procesos de mezcla de aguas, sobre todo, en el caso de la intrusión marina. Del mismo modo, al intentar caracterizar los procesos de recarga natural, o el resto de los "efectos de fraccionamiento", tales condiciones de borde pueden transformarse en limitaciones de cierta magnitud.

Tabla 5. Distribución promedio interanual de la composición isotópica de las aguas de lluvia de Cuba (n, número de eventos o casos), lámina de lluvia (LL), evapotranspiración real corregida (ETR), déficit de humedad (H) y temperatura media del aire (T), (xm, media aritmética; xw, media ponderada, DS, desviación estándar; CV, coeficiente de variación).

Mes	^{18}O	^2H	d	LL	T	ETR	H
E	-2,0	-7,5	7,0	44	20,5	61,4	-17,4
F	-1,5	2,8	12,5	36	19,8	52,6	-16,6
M	-1,0	-3,2	5,6	45	21,6	77,5	-32,5
A	-1,7	-6,5	8,5	72	23,1	95,9	-23,9
M	-2,9	-15,5	8,75	182	24,9	128,4	+53,6
J	-4,25	-27,0	7,0	213	26,2	146,2	+66,8
J	-2,8	-17,5	6,5	137	26,8	160,4	-23,4
A	-2,9	-16,5	6,5	158	26,4	149,5	+ 8,5
S	-4,2	-18,0	9,4	181	26,3	135,9	+45,1
O	-3,7	-21,3	9,5	188	24,9	113,6	+74,4
N	-3,3	-16,0	11,0	79	23,0	83,9	- 4,9
D	-2,8	-14,2	10,5	40	20,6	61,6	-21,6
Total				1375	284,12	1329	-93

A. Estadígrafos de los isótopos (valores anuales)

	n	xm	xw	DS	CV
^{18}O	120	-3,2	-2,75	0,996	-0,36
^2H	120	-17,099	-13,36	7,94	-0,59
d	120	8,56	8,29	2,02	0,24

B. Estadígrafos de los valores estacionales. Período seco o menos lluvioso (noviembre-abril)

Estadígrafo	^{18}O	^2H	d	LL	T	ETR	H
n	120	120	120	120	120	120	120
Xm	-2,05	-7,43	9,18	52,7	21,4	72,2	-19,5
Xw	-2,16	-8,46	9,21				
DS	0,78	6,38	2,38	16,5	1,26	14,97	8,35
CV	-0,38	-0,86	0,26	0,31	0,06	0,21	-0,43
Total				316	128,6	433	-117

C. Período húmedo (mayo a octubre)

Estadígrafo	^{18}O	^2H	d	LL	T	ETR	H
n	120	120	120	120	120	120	120

Xm	-3,46	-19,3	7,94	176,5	25,9	139	37,5
Xw	-3,52	-19,68	7,95				
DS	0,62	3,8	1,31	23,9	0,74	15,2	34,3
CV	-0,18	-0,2	0,16	0,14	0,029	0,11	0,92
Total				1059	155,5	834	225

La presencia de aguas connatas en las pequeñas islas del Caribe es un fenómeno más común de lo que a primera vista pudiera parecer. En muchos casos, estas aguas están, en alguna medida, mezcladas con aguas más jóvenes de manera que la mezcla isotópica varía en un amplio espectro.

Aguas marinas atrapadas en los sedimentos de edad Eoceno y posteriores resultan de las diferentes fases transgresivas del Neógeno y en especial, del Cuaternario, en que el nivel del mar osciló glacieustáticamente en un rango estimado entre +190 y -250 m respecto al nivel actual.

El comportamiento de la curva de ajuste muestra una tendencia al enriquecimiento en ^2H y ^{18}O con el incremento de la concentración de cloruros, pero con una pendiente general muy baja. Los interceptos, muy próximos a los valores actuales, además de indicar las mezclas en los casos de baja mineralización se fijan en valores semejantes a los de aguas de reciente infiltración. La pendiente se hace más brusca, en ambos isótopos, a partir de los 5 g/l interceptando valores de ^2H y ^{18}O notablemente enriquecidos y superiores a los valores actuales del agua de mar. Los valores reportados hace tiempo por Clayton et al. (1966) para las salmueras de la cuenca de Illinois muestran también valores muy enriquecidos respecto a la composición de la lluvia actual si se comparan con la recta de equilibrio $^2\text{H} - ^{18}\text{O}$ de la estación Chicago, de la red IAEA-OMM, pero se ajustan más al intercambio que a un ajuste neto de evaporitas. En este caso, los valores bajos de isótopos estables fueron asumidos como característicos de la precipitación pleistocénica.

Los casos extremos que se presentan en la Fig. 18 introducen el problema de la composición isotópica de las precipitaciones en las áreas no glaciadas durante el Cuaternario y, en general, de los factores que condicionaron el balance hídrico durante el Pleistoceno. Por un lado, como propusieron en su momento Clayton y sus colaboradores, las aguas más enriquecidas en ^{18}O y ^2H , se consideran asociadas a las precipitaciones durante los periodos glaciales del Pleistoceno.

Por el momento, no existe otro modo de tratar la composición isotópica estable de las aguas subterráneas para definir la presencia de **intrusión marina actual** -no debida a las transgresiones o a las precipitaciones pleistocénicas- sin distinguir la relación entre los miembros terminales de la composición isotópica estable en las aguas de lluvia y en el océano.

Araguás y Gonfiantini (1991) han revisado detalladamente las condiciones de aplicación de las técnicas isotópicas en la evaluación de la intrusión marina. De hecho, la composición isotópica estable debe ser correlacionada con la concentración de los macroconstituyentes básicos toda vez que una y otra no presentan valores fijos, a no ser para los miembros terminales (agua oceánica y agua de lluvia) que puedan servir de referencia. El fenómeno de intrusión marina está vinculado no solamente con los patrones geoquímicos naturales de intercambio físico-químico que conducen, en los acuíferos costeros, a la adquisición de una composición química e isotópica determinada de las aguas subterráneas, sino a patrones artificiales, inducidos por el hombre, en el cual la explotación de los acuíferos es una de las causas fundamentales del desequilibrio entre ambos tipos de agua. En consecuencia, la presencia y el alcance de la intrusión marina suele definirse a partir de un conjunto de relaciones entre determinados macroconstituyentes en el punto de muestreo y, pocas veces, tomando en cuenta la evolución geoquímica del acuífero y la distribución de las zonas de flujo en éstos.

Los límites reportados por Molerio (1992a) definen cinco zonas:

- agua de mar;
- de mezcla agua dulce-agua de mar;
- aguas cársicas litorales;
- aguas cársicas no vinculadas con el mar y
- aguas de lluvia.

Las columnas de composición isotópica representan la escala de valores reportados para Cuba en tales zonas.

Ecuaciones de gobierno

Para los estables puede aplicarse el modelo conceptual de transporte y las ecuaciones de gobierno descritas por Köhn et al., (2006). Según estos autores, el modelo conceptual o la ecuación gobernante utilizada para representar el transporte de solutos en sistemas hidrogeológicos es la ecuación de advección-convección. El parámetro de dispersividad, como medida de las propiedades dispersivas del sistema, ha sido tradicionalmente considerado una propiedad monovaluable de todo el medio pero en años recientes, varios estudios sugirieron que la dispersividad no es constante, y que depende de la distancia media o de la escala del sistema (Köhn et al., 2006).

La ecuación generalizada para describir el transporte de solutos en medios porosos saturados en dos dimensiones:

$$(1) \quad \phi \frac{\partial C}{\partial t} + \nabla(D\nabla C) - q\nabla C = f$$

donde

- ϕ porosidad
 C concentración de contaminante
 D coeficiente de dispersión
 q velocidad de Darcy de flujo subterráneo
 f fuente de contaminación

Las componentes del tensor de dispersión hidrodinámica D incluyen el efecto de dispersión mecánica y difusión molecular. Para obtener el campo de flujo subterráneo se parte de la ley de Darcy generalizada:

$$(2) \quad q = -\frac{k}{\mu}(\nabla p + \rho g \nabla z)$$

donde k es la permeabilidad específica, μ es la viscosidad dinámica del fluido, g la gravedad y ρ la densidad del fluido.

La conductividad hidráulica K es una constante que depende del medio poroso y de las características y propiedades del fluido. Es igual a la permeabilidad específica k excepto un factor de escala. La relación entre k y K está dada por

$$(3) \quad K = \frac{k\rho g}{\mu}$$

El sistema que se resuelve para obtener el campo de flujo de aguas subterráneas bajo la hipótesis de incompresibilidad es el siguiente:

$$(4) \quad \nabla q = 0$$

donde q satisface la ley de Darcy.

Otra aproximación (Molerio, 2006a, 2006b) se basa en evaluar la distribución de la sustancia en cualquier punto x se representa por su valor promediado C . De manera general, la expresión más simple que describe el comportamiento de una sustancia conservativa, no sometida a reacciones químicas, es la siguiente:

$$(5) \quad \partial C / \partial t = D_l \partial^2 C / \partial x^2 - v \partial C / \partial x$$

En la que C , es la concentración; t , es el tiempo de arribo; v , la velocidad media de la corriente; x , el intervalo de distancia y D_l la dispersión longitudinal. Para las condiciones iniciales de input instantáneo de masa M en un punto $x = 0$, la solución de la ecuación es la siguiente:

$$(6) \quad C(x, t) = \frac{M}{A(4\pi D_l x / v)^{1/2}} \exp - \frac{(x - vt)^2}{4D_l t}$$

Como la concentración en función del tiempo en un punto dado x , aguas abajo alcanza su valor máximo cuando $x = vt$; esto es, cuando el tiempo iguala el tiempo de arribo desde la fuente hasta el punto x , de manera que:

$$(7) \quad C(x, t) = \frac{M}{A(4\pi D_l x / v)^{1/2}}$$

Desde el punto de vista práctico, esta expresión permite la estimación de las concentraciones máximas a lo largo de la corriente.

Microelementos traza y Relaciones iónicas básicas

La **relación iónica Cl/Br** es un buen indicador del origen de la salinidad y ha sido resumida por Alcalá y Custodio (2004) del modo en que se refleja en la Tabla 6.

Tabla 6. Indicadores de origen de la salinidad a partir de la relación Cl/Br (elaborado a partir de los datos de Alcalá y Custodio, 2004)

Origen de la salinidad	Valor de Cl/Br
Aguas marinas, salobres y saladas	655
Recarga en zonas costeras sin efectos antrópicos	500-700
Recarga en zonas costeras en el sentido de procedencia de la lluvia	300-650
Disolución de halita pura	3500-6600
Disolución de evaporizas con haluros	1200-5400
Mezcla con aguas residuales urbanas	900-1450
Lixiviado de basuras procedentes de rellenos sanitarios	750-1000

Uso agrícola intensivo	200-500
------------------------	---------

Morell (2004) ha estudiado detalladamente la aplicación del ión **Boro** para la discriminación del origen de diferentes tipos de agua, basadas en la propiedad de que el boro tiene cierto retardo hidrogeoquímico en medios de aguas subterráneas con alto contenido arcilloso pero en acuíferos de alta transmisividad, como los cársicos, puede ser considerado como un trazador conservativo.

El Boro en **aguas subterráneas** se encuentra normalmente a muy bajas concentraciones, como ion minoritario o como elemento traza; sin embargo, aportes naturales ligados al agua de mar, a salmueras, ciertos fluidos geotermales o a ambientes evaporíticos puede elevar apreciablemente su concentración hasta superar la concentración media del agua de mar.

La presencia de boro en las aguas subterráneas depende de su salinidad y del contenido de boro en las rocas asociadas. La adsorción de boro y retención por las arcillas está afectada por muchos factores: salinidad de las aguas, tipo de arcilla y cristalinidad, pH, temperatura, fuerza iónica de la solución y composición, ciclos de humedad y sequedad de la arcilla y presencia de sustancias orgánicas. El comportamiento del boro está también, en parte, controlado por el magnesio, de forma que si el magnesio está presente -en solución o en la superficie de los minerales arcillosos- la retención del boro es mucho mayor.

En acuíferos cársicos litorales cubanos, bajo las presiones de disposición de aguas de capa, uso intensivo de las aguas subterráneas dulces, de mezcla y saladas y desplazamiento tierra adentro de la intrusión marina, las relaciones que se presentan en la Fig. 3 han resultado útiles. El Boro, por otro lado, interviene en el control de la composición química de las aguas en la Franja de Crudos Pesados de Cuba Occidental de manera nada despreciable. En efecto, el Análisis Factorial en Modo R de varios centenares de muestras de agua subterránea con distinto tipo de mezcla con aguas marinas muestra las cargas resumidas en la Tabla 7.

Los resultados se derivaron de la aplicación del método de extracción de Componentes Principales, con rotación Varimax Normalizada a una matriz observacional compuesta por 243 muestras de agua a la que se determinaron 23 elementos químicos (HCO_3 , SO_4 , Cl, Ca, Mg, Na, K, Al, As, B, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Si, Sr, Zn). Cuatro factores permitieron explicar el 78% de la varianza total (Tabla 8). Obsérvese que en la muestra examinada el control básico sobre la composición química de las aguas lo ejerce la intrusión marina en tanto controla las mezclas entre las aguas terrestres de diferente origen y las marinas. Un resultado semejante fue obtenido por Molerio et al. (2002) en el sector de Varadero-Cárdenas, en la porción más oriental de la FCPOC.

Fig. 3. Relaciones Cl – B en aguas subterráneas cársicas de la Franja de Crudos Pesados de Cuba Occidental (CMA, Concentración Máxima Aceptable de Cloruros en las aguas potables según las normativas cubanas).

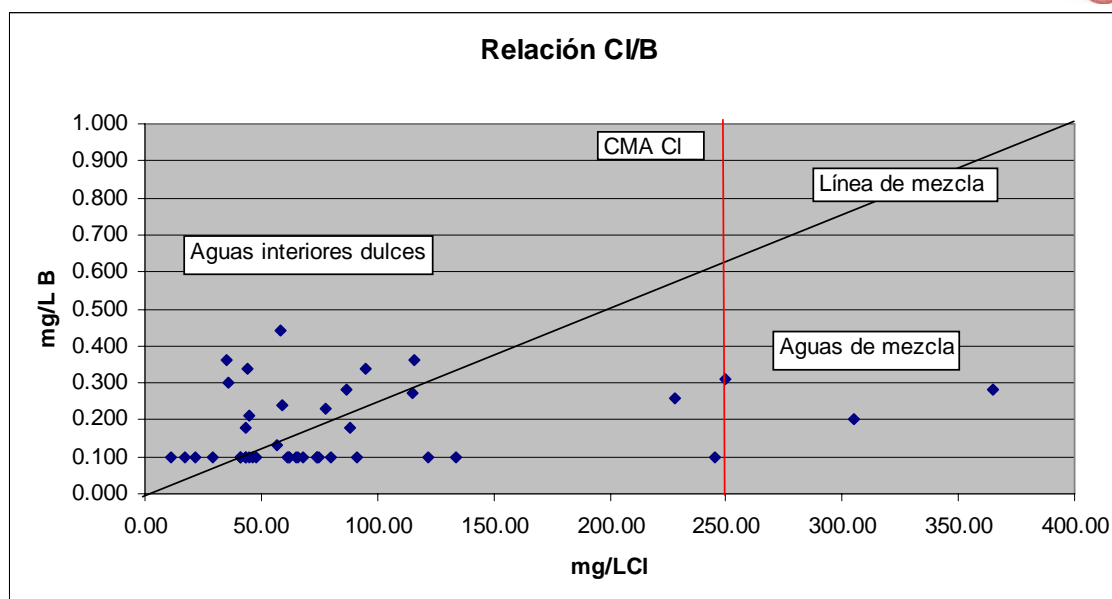


Tabla 7. Cargas factoriales

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
HCO ₃	0.0812228	0.64083405	0.3145389	0.01581011
SO ₄	0.11379998	-0.07142029	-0.01860642	0.96727641
CL	0.92975573	0.13525986	0.05825714	-0.04355492
CA	0.00826452	0.88877902	-0.07673824	0.08888551
MG	0.15634995	0.77517119	0.04995581	-0.25045451
NA	0.92712069	0.0804384	0.12619923	0.21104534
K	-0.06637586	0.19183305	0.87230985	0.08170511
B	0.39038685	-0.05065667	0.71990003	-0.14942399

Tabla 8. Valores propios de la matriz observacional estandarizada

	Valor propio	% de la Varianza total	Valor propio acumulado	% Acumulado
1	2.49798791	31.2248489	2.49798791	31.2248489
2	1.63948781	20.4935976	4.13747572	51.7184465
3	1.17097272	14.6371591	5.30844845	66.3556056
4	0.9752462	12.1905774	6.28369464	78.546183

En efecto, el primer factor, que explica el 31% de la varianza total de la serie espacial, está controlado por el Cl y el Na, elementos que conforman la composición básica de las aguas marinas. El segundo factor, está dominado significativamente por el Ca y el Mg y, en parte, por el HCO₃, que representan la composición del acuífero carbonatado dominante en toda la región y que constituye el sistema de flujo de las aguas subterráneas evaluadas. Estos dos factores explican, entre ambos, poco más de la mitad de la varianza total de la serie.

De notable importancia es que el B y el K aparezcan en el tercer factor, puesto que puede indicar tanto el aporte complementario de algunos humedales próximos, incluso de aguas más antiguas o con limitada circulación o tal vez, por algún aporte de los materiales arcillosos que pueden rellenar algunas cavernas o que constituyan la base de los humedales próximos. En cualquier caso, es un

indicador a ser tomado en consideración. La componente de aporte de los humedales próximos y del aporte del agua de mar queda aclarada en el cuarto factor, dominado exclusivamente por el SO_4 .

El Sr es un excelente indicador del origen marino de ciertas aguas (Ahn et al., 1992). En un caso de derrame de aguas marinas se encontró una correlación casi perfecta (0,999) entre el B y el Sr (Fig. 4) en las mezclas de agua subterránea. Pero, en general, por razón de los diferentes factores de control, la correlación es muy alta, altamente significativa (0,987) y en ambos casos para una certidumbre del 95%. En este caso (Fig. 5) es importante tener en cuenta el eventual aporte de estroncianita en caso que se trate de aguas subterráneas muy jóvenes o que circulen por terrenos geológicamente muy jóvenes.

Fig. 4. Relación B/Sr en las aguas subterráneas mezcladas con aguas marinas.

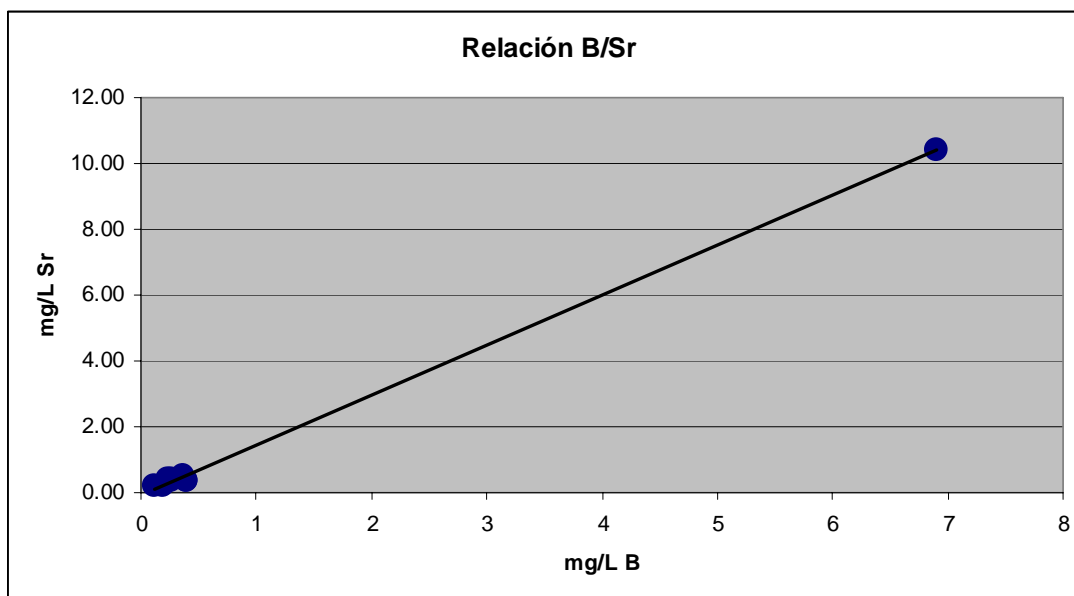
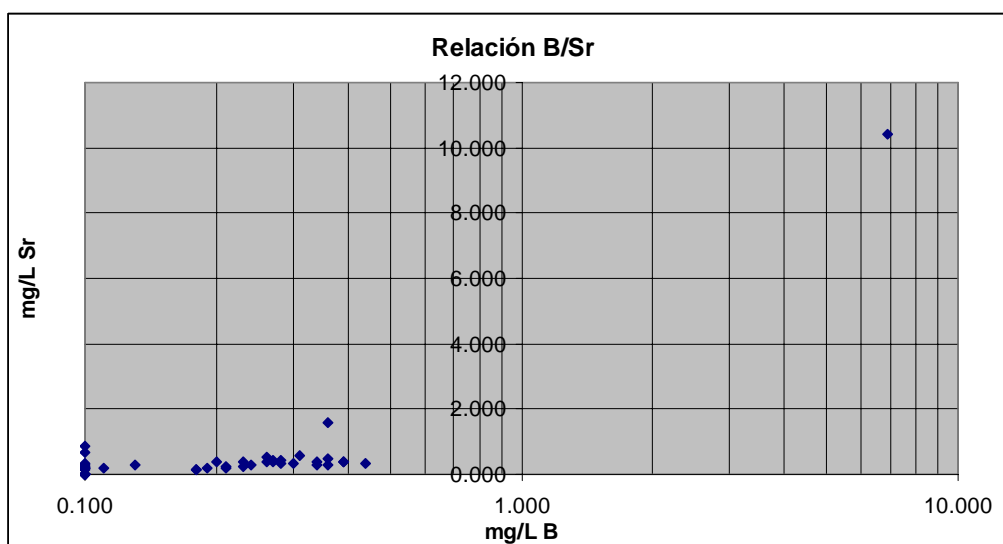


Fig. 5. Relación B/Sr en las aguas subterráneas de los sistemas regionales de flujo evaluados.



Caso 2: Discriminación de impactos históricos en la calidad de las aguas subterráneas. (Fechado y Tiempo de residencia de las aguas)

Hace medio siglo que Kaufmann y Libby identificaron el tremendo potencial que ofrecía el Tritio cosmogénico para el fechado de las aguas (Kaufmann y Libby, 1954). Toda vez que el Tritio geogénico es prácticamente despreciable, aquel que se mide en las aguas subterráneas virtualmente significa, siempre, recarga moderna. Esta es la base conceptual para el cálculo del tiempo medio de residencia de las aguas subterráneas en los acuíferos.

Existe consenso en afirmar que cuando estos niveles son altos (≥ 30 UT) está implicada una fuente asociada a las explosiones termonucleares en la atmósfera, lo que indica recarga durante la década de 1960. Aquellas aguas que contiene Tritio próximo al límite de detección (~ 1 UT) son submodernas o se trata de paleoaguas que se han mezclado con aguas someras modernas cerca de la zona de descarga o en el tránsito hacia éstas.

Existen cinco métodos –cualitativos y cuantitativos– para aproximarse al fechado de las aguas subterráneas con Tritio, a saber:

- **Velocidad del pico de 1963**, que identifica el pico termonuclear preservado en las aguas subterráneas e identifica claramente su edad.
- **Decaimiento radioactivo**, que permite calcular, para un grupo de valores medidos, el tiempo de desintegración a partir de un nivel de entrada (input) conocido.
- **Modelo de la función de entrada**, que determina la recarga atenuada de los niveles de tritio para un sistema de flujo dado de aguas subterráneas aplicando la ecuación de decaimiento radioactivo.
- **Análisis de la serie temporal**, que parte del muestreo sistemático en puntos específicos de los valores de entrada y salida durante un tiempo lo suficientemente largo para permitir identificar el tiempo de tránsito.
- **Interpretación cualitativa**, donde el Tritio mensurable se considera equivalente de la recarga moderna.

Sobre todo en sistemas acuíferos poco activos, el pico de las pruebas termonucleares de 1963 es un marcador importante que puede haberse preservado en éstos. Sin embargo, en sistemas de flujo moderado o rápido, este horizonte guía puede haberse desplazado ya o presentarse atenuado por dispersión y mezcla.

La precipitación (fallout) de Tritio de 1963, por otra parte, se ha preservado donde el flujo advectivo es mínimo, como en el caso de acuíferos de gran espesor de zona no saturada o de recarga muy difusa, como la que puede ocurrir a través de horizontes semiconfinados o semilibres (Molerio, 1992b, 1992c, 2006a, 2006b; Morder et al., 1986). Al producirse un movimiento descendente muy lento, las nuevas aguas que ingresan al acuífero por infiltración desplazan las anteriores, lo que da como resultado una inversión, en las aguas subterráneas, del pico de Tritio en la precipitación. No obstante, parece que en la mayor parte de la zona no saturada de los acuíferos el pico de 1963 se movió hace tiempo. Fenómenos como la dispersión hidrodinámica y la mezcla de aguas bajo el nivel de la superficie piezométrica provocan una atenuación de la función de entrada de Tritio.

Es evidente que disponer de un horizonte guía tan nítido resulta una innegable ventaja en tanto proporciona información sumamente efectiva para estimar las velocidades de flujo y los tiempos medios de circulación de las aguas subterráneas.

Este método se basa en presuponer que se conoce la entrada (input) de Tritio en el sistema y que el Tritio residual medido en muestras discretas de las aguas subterráneas es resultado, exclusivamente, de la desintegración radioactiva en correspondencia con la expresión siguiente:

$$(8) \ a_t \ ^3H = a_0 \ ^3He^{-\lambda t}$$

donde el primer término del miembro de la derecha representa la actividad inicial de Tritio (expresada en UT) y el miembro de la izquierda la actividad medida en una muestra luego de un tiempo t .

El término de desintegración λ equivale a:

$$(9) \ \lambda = \frac{\ln 2}{t_{0,5}}$$

en la que $t_{0,5}$ es el tiempo medio de vida del Tritio (12,43 años), por lo que esta ecuación puede describirse como:

$$(10) \ t = -17,93 \ln \frac{a_t \ ^3H}{a_0 \ ^3H}$$

El resultado más importante que puede derivarse de esto es que el rango útil para fechado con Tritio es menor de 50 años cuando las determinaciones se realizan por el método de enriquecimiento (cuyo límite de detección es de aproximadamente 0,8 UT). Tritio anterior a las explosiones termonucleares puede medirse si se aplican las técnicas de medición de bajo nivel (como la síntesis de propano o el enriquecimiento con 3He (Clark y Fritz, 1997).

Como señalan Clark y Fritz (1997), raramente se encuentran aguas subterráneas en las que no haya ocurrido una mezcla tal que permita un fechado efectivo por este método. Por lo común, sería el caso de aguas que se infiltran muy rápidamente, como puede ocurrir en algunos karsts tropicales (Molerio, 1992a, 1993, 1994; Molerio et al, 1993, 1994, 2000, 2002a, 2002b). Para hacer más efectivas las mediciones de Tritio se requieren análisis cada vez más precisos, sobre todo en los últimos años, donde la actividad de Tritio se acerca a los niveles anteriores a las explosiones termonucleares. La aplicación de este modelo, entonces, es mucho más limitada en el fechado de aguas muy jóvenes.

Una de las más importantes limitaciones en la aplicación de este método es la fuerte dependencia estacional que suele presentar el input de Tritio, lo que limita mucho poder fijar el Tritio inicial al momento de la recarga. Más que un valor único, existe consenso en aceptar que el input de Tritio es una función plurianual promedio.

En un sistema regional de flujo, las aguas subterráneas adquieren su composición física, química, bacteriológica e isotópica como consecuencia de un proceso compuesto en el que interviene la infiltración de diferentes años de precipitación y por la interacción agua-roca en el flujo horizontal. Ambas componentes son las que han contribuido a la alimentación del acuífero mediante mezcla a través de la zona no saturada y por el que ocurre a lo largo de las líneas de drenaje subterráneo. Así la zona de fluctuación del nivel de las aguas subterráneas es una zona activa de intercambio en la que se mezcla aguas provenientes de diferentes eventos naturales e inducidos artificialmente. Por eso, cuando tales aguas se mueven hacia zonas más profundas o bajo capas confinantes en las que tal intercambio se reduce o se anula y, por ende, no recibe aportes adicionales de Tritio, la actividad de éste decrece debida, exclusivamente a desintegración radioactiva. En este momento, la

concentración de Tritio en un sector dado del dominio de flujo será una función del tiempo de residencia en la zona de recarga.

Existen dos formas de determinar la función plurianual de entrada de Tritio, a saber:

- La contribución ponderada de ^3H en cada año.
- La aplicación de una corrección para el decaimiento de la contribución de cada año debida al almacenamiento en la zona de recarga.

En consecuencia, la extrapolación de un valor medido en una muestra de agua subterránea en una fecha dada hasta el valor más apropiado de la curva de recarga (input) permite un estimado del tiempo de tránsito que media desde la zona de recarga hasta el punto de muestreo.

Con esta aproximación, mucha de la precisión con la que se estima el tiempo de tránsito depende del conocimiento de las características de la zona de recarga del sistema acuífero. Aquellos sistemas de flujo con potentes zonas no saturadas y grandes extensiones de flujo no confinado suelen mostrar mezclas de aguas entre 5 y 10 años o más antes que un dominio de flujo dado se cierre a los estímulos más recientes. En el otro extremo, aquellos sistemas de flujo en los que las áreas de recarga tienen limitada extensión y permiten concentrar el flujo de infiltración exhiben poca mezcla en la zona de alimentación y, por ello, períodos de recarga de cinco o menos años.

El muestreo secuencial de Tritio en las aguas subterráneas puede ser usado para identificar el pico termonuclear y ofrecer un buen indicador del tiempo medio de residencia de las aguas. Como señalan Clark y Fritz (1997) usando una función suavizada de ingreso de ^3H , la relación entre dos muestras del mismo piezómetro o estación de observación (corregidas para la desintegración radioactiva) indicarían la localización relativa del pico de 1963. Esto puede expresarse como la relación entre el nivel de Tritio en el muestreo temprano, corregidas las pérdidas debidas a la desintegración radioactiva entre los momentos de muestreo, con el nivel del muestreo final, de manera que,

$$(11) \quad \frac{{}^3H_{\text{temprano}} e^{-\lambda t}}{{}^3H_{\text{final}}}$$

Donde t , es el tiempo, en años, entre ambos muestreos y λ es la constante de desintegración radioactiva que, para el Tritio, equivale a 0,00576. En este caso, una relación superior a 1 sugeriría que el pico ha pasado ya el punto de observación, mientras que si la relación es inferior a 1, el punto de observación está midiendo la cola del pico.

En ciertos casos puede resultar conveniente o necesario reconstruir las series temporales de Tritio. El Organismo Internacional de Energía Atómica ha provisto de un instructivo para ello (Celle-Jeanton, Gourcy y Aggarwal, 2000) que describe los métodos de Weiss y Roether (1980) y de Doney et al, (1992).

En ciertos casos constituye una buena primera aproximación, sobre todo cuando los modelos matemáticos no son concluyentes, bien porque la data es irregular o incompleta o inconsistente o bien porque se conoce poco el funcionamiento del acuífero. Esta aproximación establece los siguientes intervalos para la clasificación de la recarga a las aguas subterráneas (Clark y Fritz, 1997)

Denominación	Rango en años
• Submoderna	• Anterior a 1952
• Mezcla entre la recarga submoderna y la reciente o moderna	• Entre 1952 y los últimos 5 a 10 años

- Moderna o reciente
- Pico termonuclear
- Recarga residual del pico termonuclear
- Entre los últimos 5 a 10 años
- Dominante de 1960
- Componente entre 1960 y 1970

Las concentraciones de ^3H en la atmósfera y, en consecuencia, en las aguas de precipitaciones son, en la actualidad muchísimo más bajas que las registradas durante el pico de las explosiones termonucleares. Estas concentraciones continúan decreciendo, mucho más en las latitudes bajas que en las altas y provocarán que el método resulte poco útil en los próximos años, a diferencia de lo que ha ocurrido en las últimas cuatro décadas.

Las concentraciones se aproximan ahora a las que debieron ser las normales en la atmósfera antes de 1960, de manera que se requieren mejores precisiones en las determinaciones y, paralelamente, incorporar la aplicación de otras herramientas basadas, esencialmente, en los mismos principios, como es el método de Tritio-Helio 3 que presenta la ventaja de que las edades “verdaderas” de las aguas no tienen que depender de las complicaciones de la función de entrada de ^3H .

De hecho, en Cuba, en la última década, las concentraciones de ^3H en las aguas de lluvia han descendido desde máximos de 10 UT en 1989 (Molerio, 1992, 2002a; Molerio et al, 1993) hasta menos de 3.

El **tiempo de residencia de las aguas** (que se emplea como sinónimo de tiempo de tránsito, edad de las aguas, edad cinemática, edad hidráulica, entre otros) se define como la relación entre el volumen de agua móvil (V_m) y la tasa volumétrica de flujo (Q) en el sistema, es decir:

$$(12) \quad t_w = \frac{V_m}{Q}$$

Para flujo vertical en la zona de recarga, especialmente en la zona no saturada, Q equivale a la tasa de infiltración o recarga; es decir:

$$(13) \quad t_w = \frac{V_m}{I}$$

Si el sistema puede aproximarse por un patrón de flujo unidimensional, esta definición lleva a la relación (Maloszewski y Zuber, 2004):

$$(14) \quad t_w = \frac{x}{v_w}$$

en la que x , es la longitud para la cual se determina t_w , y v_w es la velocidad media del agua, que equivale a la relación entre la velocidad de flujo (v_f) y la porosidad efectiva (n_e).

Como el Tritio es un trazador, conviene entonces introducir el concepto de “edad media del trazador” (t_t), que puede definirse como:

$$(15) \quad t_i = \frac{\int_0^{\infty} t' C_i(t') dt'}{\int_0^{\infty} C_i(t') dt'}$$

en la que C_i es la concentración de trazador observada en el sitio de medición, como resultado de una inyección instantánea a la entrada del sistema.

Ahora, lo importante es tener claro que la edad media del trazador es igual a la edad media de las aguas solamente si no existen zonas inmóviles, estáticas (*stagnant zones*) en el acuífero y el trazador es inyectado y medido en el flujo. Con los términos inyección y medición en el flujo se quiere significar que tanto a la entrada del sistema, como a la salida, la cantidad de trazador es proporcional al flujo volumétrico a lo largo de una particular línea de flujo. Obviamente, Esta condición se satisface en sistemas naturales donde el trazador ingresa en el sistema con el agua de infiltración y se mide en la zona de descarga. Cuando las mediciones se realizan a cierta profundidad en pozos, es necesario prever que esta condición quizás se satisfaga para la línea de flujo muestreada, pero no para todo el sistema.

Un caso particular –y nada despreciable- lo constituye el efecto que provocan las zonas estáticas, por lo común asociadas a las rocas fracturadas –incluidas las cársicas-, por lo que la **“edad de las aguas de un sistema inmóvil”** se define como en intervalo de tiempo en que el sistema se separó de la atmósfera. En estos casos, cuando la edad radioisotópica de un radioisótopo atmosférico no tiene otras fuentes o sumideros que la desintegración radioactiva, puede identificarse con la edad del agua (Maloszewski, 1992; Maloszewski et al., 1983, 2004).

Así, la edad radioisotópica (t_a) se define exclusivamente por la desintegración radioactiva:

$$(16) \quad \frac{C(t_a)}{C(0)} = \exp(-\lambda t_a)$$

donde $C(t_a)$ y $C(0)$ son las concentraciones actuales e iniciales, respectivamente, del radioisótopo y, λ , como fue definido antes, la constante de desintegración. Lamentablemente, como señalan Maloszewski y Zuber (2004) pocos trazadores radioisotópicos están disponibles para el fechado de aguas subterráneas móviles e inmóviles. Obviamente, como señalan estos autores las edades de los sistemas inmóviles o de sistemas que pueden ser parcialmente inmóviles por ciertos períodos de tiempo no pueden ser interpretados, directamente, en términos de los parámetros hidráulicos.

Los acuíferos cársicos, en general, no presentan condiciones muy favorables a la aplicación de este método debido a que la estructura del campo de flujo en términos de la posición de las zonas de recarga, drenaje y descarga de los sistemas locales e intermedios de flujo que participan en la integración de un sistema regional dado (véase la Fig. 2).

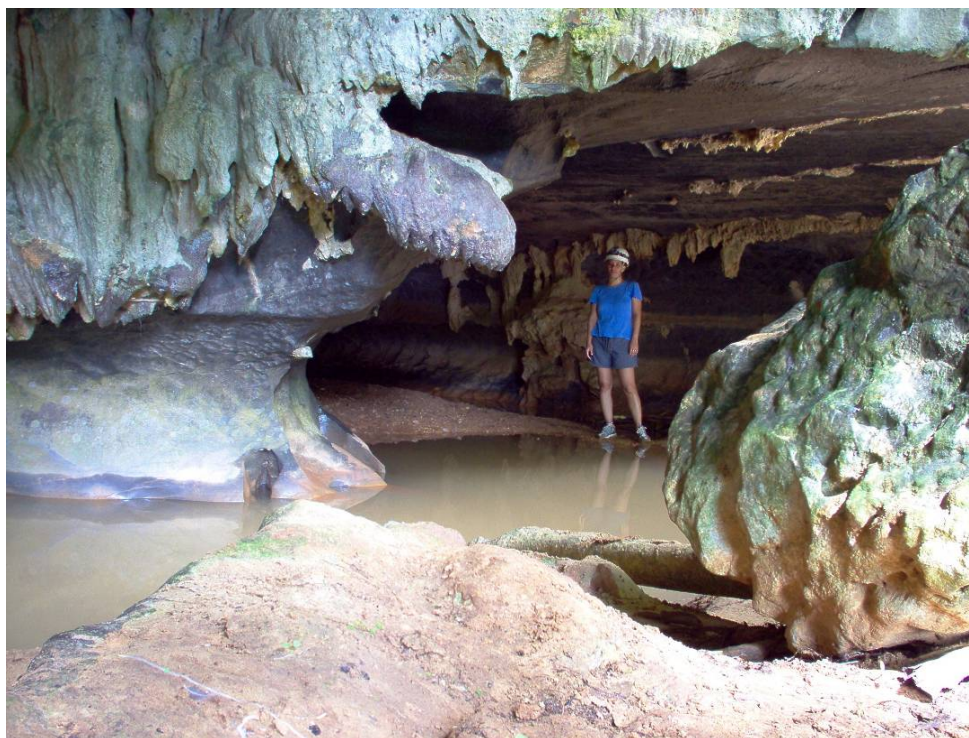
Como cada asociación entre formas de absorción-conducción-descarga es un sistema local de flujo *per se* que, a su vez es parte de uno mayor, las velocidades de tránsito son sumamente variadas y la mezcla depende de la organización del escurrimiento interno y del estado evolutivo de esa parte de sistema. Y como la propia evolución hidrológica de los terrenos cársicos excluye o incluye formas y sistemas de flujo que pueden haber sido desactivados del funcionamiento hidrológico de la región, dentro del mismo dominio de flujo pueden encontrarse zonas de recarga difusa, lenta, como zonas de recarga concentrada, rápida.

Estos dos extremos ocurren en todas las regiones cársicas. Las zonas de **recarga concentrada**, rápida, asociadas a la infiltración de las aguas de lluvia a través de formas absorbentes como los honores, dolinas, simas o valles de diferente tipo, presentan incluso, grandes contrastes a los efectos del retardo y la acumulación. Zonas de drenaje vertical como simas conectadas con el nivel de las aguas subterráneas excluyen cualquier retardo en la zona no saturada ya que, de hecho, en esos lugares ésta no existe.

La presencia de ríos que penetran en el subsuelo a través de cavernas en la zona no saturada se comportan de manera diferente según se trate de movimiento a través del epikarst, de flujo hipodérmico o de convergencia con el acuífero (Fig. 6). La recarga a través de dolinas y sumideros, por ejemplo, puede ser tanto concentrada como difusa, dependiendo del grado evolutivo de éstas; es decir, del grado de actividad hidrológica de las mismas y -sobre todo- de la conexión hidráulica con otras formas cársicas. Las vastas zonas cubiertas de suelo, pavimentas, o simplemente por estratos menos permeables o por grietas rellenas son elementos de retardo de flujo que enmascaran la contribución de la zona de recarga en un punto dado del sistema acuífero.

A veces es posible lograr una buena aproximación para sustentar la cercanía a las zonas de recarga o de descarga según la solución muestreada se presente insaturada, saturada o sobresaturada respecto a los minerales más importantes del complejo –usualmente carbonatado– que constituye el karst. Para aquellas zonas de recarga rápida, concentrada, directa, usualmente las aguas representan insaturadas respecto a la calcita y la dolomita. Pero la mezcla de aguas con diferente grado de saturación siempre provoca instauración de la solución por lo que estas determinaciones tienen que ser acompañadas de una fuerte evidencia de campo que las sustente y, por supuesto, de controles “*in situ*” de pH, temperatura, conductividad eléctrica de las aguas y presión parcial de CO₂.

Fig. 6. Río subterráneo en una caverna



La divergencia del flujo subterráneo es una de las características más importantes del carso. Ello significa que las relaciones hidráulicas entre las zonas de recarga, conducción y descarga no son obvias. Salvo que esté fehacientemente demostrado por ensayos rigurosos de trazadores o por exploración espeleológica directa no puede presumirse que cierto punto de descarga está asociado a un cierto grupo de formas de absorción o una determinada zona de recarga.

El limitado valor de uso que, para ciertos –y no pocos- sistemas acuíferos cársicos presentan las curvas equipotenciales, particularmente para el caso de sistemas locales de flujo, es una fuerte limitante para la interpretación de la composición isotópica de las aguas y, en especial, para la estimación del tiempo medio de tránsito de las aguas. Entre los factores que influyen en ello está la presencia de diferentes niveles de cavernamiento superpuestos que son responsables de la divergencia local del flujo.

En muchas ocasiones, ello hace que ciertas relaciones de conexión hidráulica funcionen no sean permanentes y funcionen solamente bajo determinados estímulos hidráulicos. No es poco común el caso de conexiones entre diferentes aparatos cársicos (sistemas locales de flujo) que funcionan solamente en épocas de lluvias torrenciales. Tampoco es común el caso de formas de absorción y descarga, prácticamente contiguas que están totalmente desvinculadas entre sí.

La mezcla de aguas terrestres de diferente origen, como ocurre en algunas regiones con espeleogénesis hipogénica o la mezcla de aguas continentales y marinas en los acuíferos cársicos litorales introduce una componente de incertidumbre grande que, sin embargo, es totalmente independiente de la posición de las zonas de recarga y, en muchos casos la presencia de ciertos indicadores traza e incluso del propio ^3H depende de la profundidad y hasta la hora del muestreo. Esto es particularmente cierto en el caso de acuíferos cársicos litorales en los que la presencia de conductos alternativamente absorbentes-emisivos varía el dominio de una componente sobre la otra, como en el caso de la marea alta donde penetra el mar a través de cuevas litorales o submarinas y de la marea baja, donde se descarga agua continental mezclada con la la marina que penetró en el intervalo anterior. En acuíferos interiores, donde hay presencia de estavelas el fenómeno es semejante, ya que se trata de formas alternativamente absorbentes-emisivas. Por otro lado, la mezcla de aguas siempre produce instauración respecto a la calcita, dolomita o yeso y, por ello, también enmascara el uso de este recurso para identificar las zonas de recarga del resto.

Por ello la organización del flujo subterráneo en los sistemas cársicos –que no puede separarse en lo absoluto de la organización del escurrimiento superficial en ellos- es otro factor a tener en cuenta. Bajo determinadas condiciones, impresionantes redes de cavernas pueden extender el dominio de flujo subterráneo con total independencia de las divisorias superficiales. La presencia de flujo lateral y divisorias subterráneas móviles, dependientes de la recarga en un momento dado, no es un caso extraño, sobre todo si se trata de sistemas de flujo predominantemente horizontal, libre, y difuso en que la distribución regional de potenciales hace dominar un flujo lento semejante al de un medio poroso (Herrman et al., 1990; Benischke et al., 1988; Maloszewski y Zuber, 1990; Seiler et al., 1989)

Es precisamente la alternancia entre zonas capacitivas y transmisivas lo que provoca que también se encuentren zonas con muy diferente tiempo de tránsito de las aguas subterráneas. Efectivamente, tal y como ocurre en la zona no saturada, donde alternan zonas de flujo concentrado rápido, con otras de flujo retardado, más lento, en el subsuelo si la circulación se realiza a lo largo de grandes redes de cavernas, en las que el régimen de flujo es siempre no lineal de alta velocidad, los estímulos de recarga y, con ellos, la composición de las aguas se transmiten rápidamente a puntos muy alejados de las zonas de recarga: estas son las llamadas zonas transmisivas. Entre tanto, zonas en las que dominan los poros de la matriz o grietas pequeñas, retardarían el flujo horizontal, incrementarían la retención y por ello, el decaimiento de radioactivo y la atenuación natural, en suma, serán efectos

dominantes sobre la velocidad con la que se mueven las aguas y, con ello, incrementarán notablemente el efecto de acumulación.

Es importantísimo destacar que, en correspondencia con el desarrollo tridimensional del cavernamiento local y regional, estas zonas se distribuyen no solamente a lo largo del campo de flujo horizontal sino también en toda la columna vertical o espesor del acuífero, diferenciando el campo de las isocronas, es decir, de las isolíneas de tiempo de tránsito en todo el campo tridimensional de flujo.

El efecto combinado de ambas tiene notables consecuencias para la estrategia de aprovechamiento de los recursos hidráulicos subterráneos porque, obviamente, es tal efecto el que ha controlado la distribución de los recursos en el sistema acuífero. La explotación de zonas de recarga retardada o desvinculadas en todo o en parte del ciclo hidrológico actual es causante del agotamiento de los recursos por sobreexplotación. El desvío de líneas de flujo contiguas hacia estas zonas provoca cambios en el sistema de flujo con efectos laterales tan variados como la presencia de grandes conos de depresión, subsidencia inducida o desplazamiento de las zonas de recarga, todas de negativa influencia. Medidas de remediación como las de recarga inducida (recarga artificial) para la reposición artificial de las reservas de agua subterránea son a veces inútiles al construirse, precisamente, sobre estas zonas (Fig. 7).

Fig. 7. Distribución de períodos de recarga en un sistema acuífero cársico donde se nota la misma dolina en dos estaciones: seca (foto superior) e inundada como consecuencia de lluvias torrenciales (foto inferior).

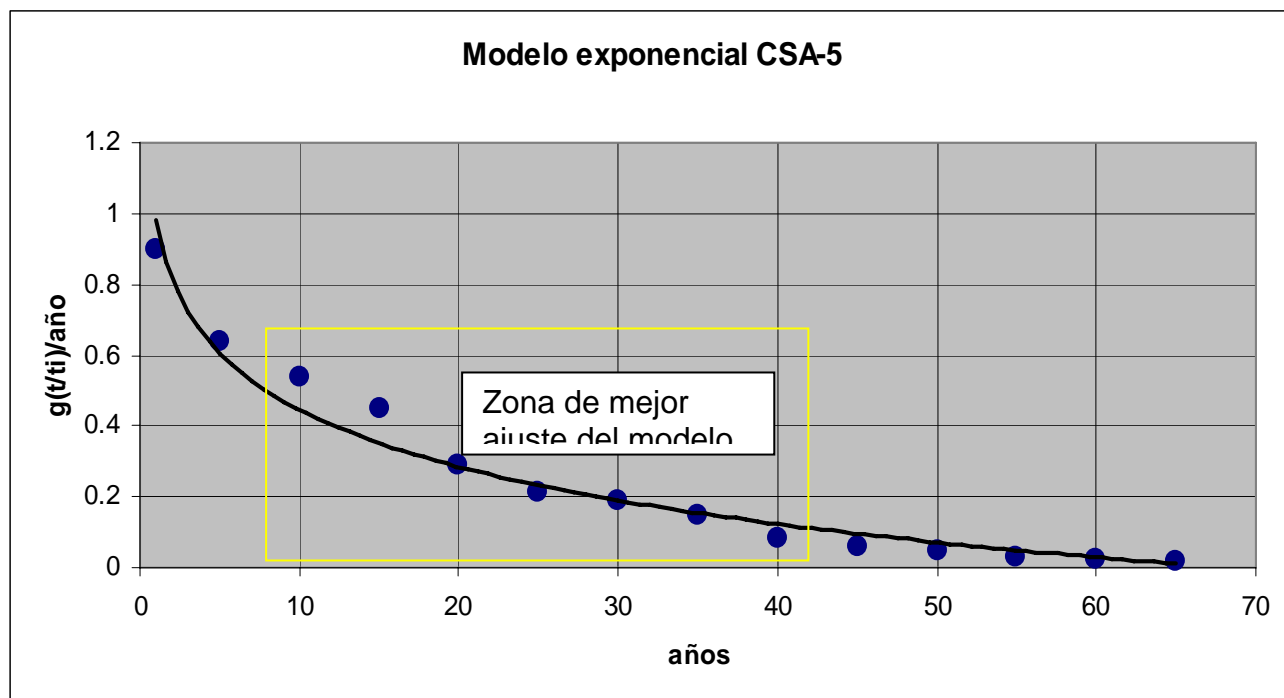




La Fig. 8 muestra el ajuste de un modelo exponencial de tiempo de residencia de las aguas subterráneas en una estación de control de la FCPOC que muestra un excelente ajuste para tiempos de tránsito entre 20 y 40 años. Este resultado permite discriminar la antecedencia de ciertos efectos de contaminación de las aguas asociados a recargas antiguas en la zona de alimentación del acuífero.

Ello significa, por un lado, que las eventuales recargas recientes aún no llegan al acuífero y con ella, tampoco la contaminación que, eventualmente pueden producir los trabajos actuales de E & P. Pero de lo que no hay duda, y estos resultados lo corroboran, que una mezcla de aguas recargadas en los últimos 40 años se está moviendo actualmente en el acuífero. Una movilidad más baja con una atenuación natural y auto depuración más lenta provoca que ciertos contaminantes persistentes lleguen eventualmente a partes sensibles del acuífero o de interés para su explotación.

Fig. 8. Modelo exponencial para un sector del acuífero regional de la FCPOC.



Es evidente que la importancia de este hecho para identificar el alcance de responsabilidad de los operadores actuales respecto al estado de calidad de las aguas terrestres y los suelos en la región de interés es notable. Discriminando adecuadamente las componentes de diferentes tiempos de residencia en las mezclas de aguas que llegan a diferentes sectores del acuífero con su correspondiente calidad, permite a los gestores ambientales disponer de un recurso para separar las contribuciones históricas de los diferentes actores que han intervenido en el sitio.

PRESENCIA AUSENCIA DE LFNA EN LAS AGUAS TERRESTRES

La detección y la aclaración inequívoca de la distribución de la contaminación en las aguas subterráneas por cualquier tipo de LFNA (Líquidos de Fase No Acuosa) y su cuantificación, ya sean ligeros (los llamados LLFNA, alcoholes, gasolina o nafta) o densos (DLFNA, como fuels, petróleo y aceites) puede lograrse exitosamente aprovechando las propiedades de partición agua-hidrocarburos de isótopos radioactivos ambientales como el Radón (^{222}Rn). En los últimos años, al mejorarse las técnicas de detección y cuantificación (Surbeck 1996; Burnett et al, 1998) este radionucleido se ha usado con frecuencia por su extraordinaria capacidad para resaltar la contaminación por diferentes tipos de hidrocarburos en las aguas subterráneas (Hunkeler et al, 1997; Hunkeler, Höhener y Seller, 1997; Werner y Hohener, 2002a, 2002b; Molerio, 2003, 2004, 2006).

El isótopo radioactivo ^{222}Rn , con un tiempo medio de vida de 3,8 días es uno de los productos de la desintegración radioactiva natural del Uranio 238. La desintegración α del Radio 226 (^{226}Ra) produce ^{222}Rn que se desintegra en productos de muy corta vida. Al tratarse de un gas noble, el ^{222}Rn es químicamente inerte. Sin embargo, el ^{222}Rn particiona en líquidos orgánicos y, desde superficies de

minerales que contienen ^{226}Ra , como en la mayor parte de los acuíferos, el ^{222}Rn emana hacia las fases gaseosa o líquida contiguas por retroceso o difusión.

Por esa razón, las aguas superficiales casi no contienen ^{222}Rn , ya que se evapora e incorpora a la atmósfera; pero las aguas subterráneas lo adquieren ya que la concentración de actividad del ^{222}Rn desde la zona de recarga a la zona saturada, se incrementa hasta alcanzar un estado de equilibrio entre la emisión y la desintegración radioactiva. El tiempo para que ese régimen permanente se establezca es de unas 5 vidas medias. Tales propiedades hacen que el ^{222}Rn esté presente en actividad constante en la mayor parte de los acuíferos y que se transporte, sin el menor retardo, en aguas que no estén contaminadas por LFNA's. Por ello, tienen un valor inestimable en la determinación de contaminaciones de este tipo.

La fundamentación teórica del modelo hidrológico isotópico parte de los siguientes principios básicos:

- La distribución promedio del ^{226}Ra , el radionúclido padre del ^{222}Rn , en la fase sólida es homogénea a escala macroscópica.
- La porosidad del material acuífero es constante en la zona de flujo ensayada.
- Las pérdidas de ^{222}Rn desde la zona saturada del acuífero a la zona no saturada, son despreciables.
- La partición del ^{222}Rn entre el LFNA y la fase acuosa está en equilibrio.
- El coeficiente de partición es independiente de la saturación de LFNA.
- La fase LFNA está inmóvil – o lo que es lo mismo, se mueve más lentamente que el agua subterránea-.
- La porción de ^{222}Rn en la matriz sólida puede despreciarse.

Ello significa que cuando el agua subterránea que contiene ^{222}Rn es estado de equilibrio de emisión-desintegración migra hacia una zona contaminada por LFNA's se produce un decrecimiento en la actividad del ^{222}Rn debido a la partición del ^{222}Rn entre el agua y el LFNA. Cuando las aguas subterráneas abandonan la zona contaminada, la actividad del ^{222}Rn en la fase agua debe retornar al valor inicial del equilibrio (Fig. 9).

La ecuación general de transporte es análoga a la de van Genuchten y Alves, de manera que:

$$(13) \quad \frac{\partial}{\partial t} [(1-S)\theta A + \theta A^{NAPL}] = -\frac{\partial}{\partial x} \left[qA - (1-S)\theta D \frac{\partial A}{\partial x} \right] + (1-\theta)\rho P\lambda - [(1-S)\theta A + \theta A^{NAPL}] \lambda$$

donde t , es el tiempo; x , es la distancia de flujo; S es la saturación de NAPL en el volumen poroso; θ , es la porosidad; A , es la actividad de ^{222}Rn en la fase agua en la locación x y en el momento t ; A^{NAPL} es la actividad de ^{222}Rn en la fase NAPL en la locación x y en el momento t ; q , es la descarga específica de las aguas subterráneas; D , es el coeficiente de dispersión del ^{222}Rn en las aguas subterráneas; ρ , es la densidad del material acuífero; P , es la tasa de emisión de ^{222}Rn desde la superficie mineral por masa de material acuífero seco, y λ es la constante de desintegración radioactiva del ^{222}Rn .

La partición del ^{222}Rn se describe mediante:

$$(14) \quad A^{NAPL} = KA$$

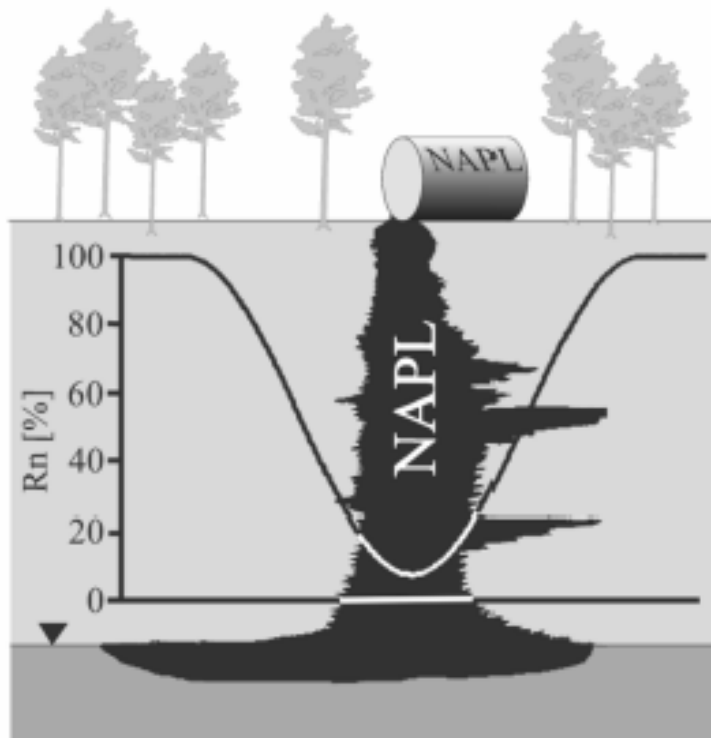
donde K es el coeficiente de partición del ^{222}Rn . Después de algunas transformaciones se llega a que la relación entre la emisión y la desintegración de la actividad del ^{222}Rn en la zona no contaminada

de las unidades hidrogeológicas ($S=0$) respecto a aquella contaminada ($S>0$) es el Factor de Retardo (R), que se expresa como:

$$(15) \quad R = \frac{A_e^{S=0}}{A_e^{S0}} = 1 + S * K$$

donde S , es la saturación de NAPLs, K es el coeficiente de partición del NAPL en agua para el ^{222}Rn .

Fig. 9. Esquema de partición del ^{222}Rn en presencia de LFNA



Ello significa que cuando el agua subterránea que contiene ^{222}Rn es estado de equilibrio de emisión-desintegración migra hacia una zona contaminada por NAPLs se produce un decrecimiento en la actividad del ^{222}Rn debido a la partición del ^{222}Rn entre el agua y el NAPL. Cuando las aguas subterráneas abandonan la zona contaminada, la actividad del ^{222}Rn en la fase agua debe retornar al valor inicial del equilibrio.

El modelo teórico adoptado para cuantificar la migración del ^{222}Rn y su eficacia en la cuantificación de la contaminación por NAPLs es válido por cuanto se cumplen todos los requisitos que se derivan de la ecuación de transporte de Van Genuchten y Alves, a saber:

- Se conoce el coeficiente K .
- Se conoce A_e .

Las Figs. 10 y 11 muestran el registro de ^{222}Rn LFNA en dos estaciones de monitoreo de las aguas subterráneas en la FCPOC.

Fig. 10. Variación de la actividad de ^{222}Rn en las aguas subterráneas del Pozo CSA-C-1

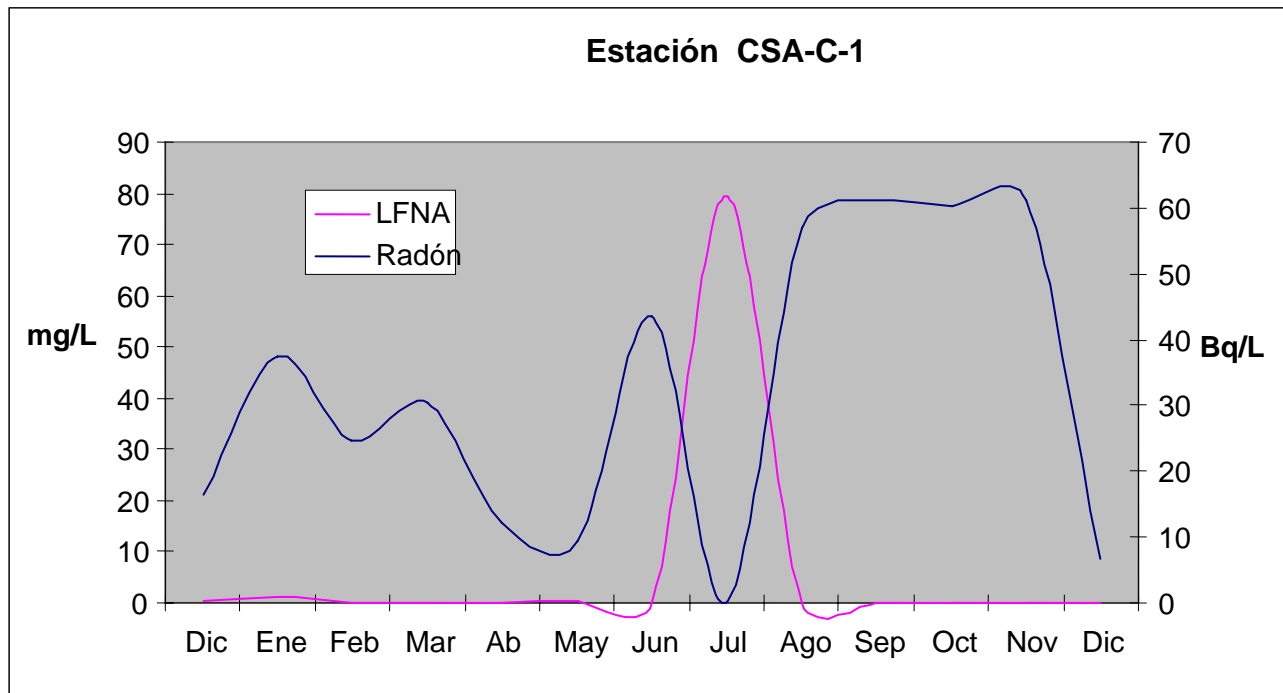
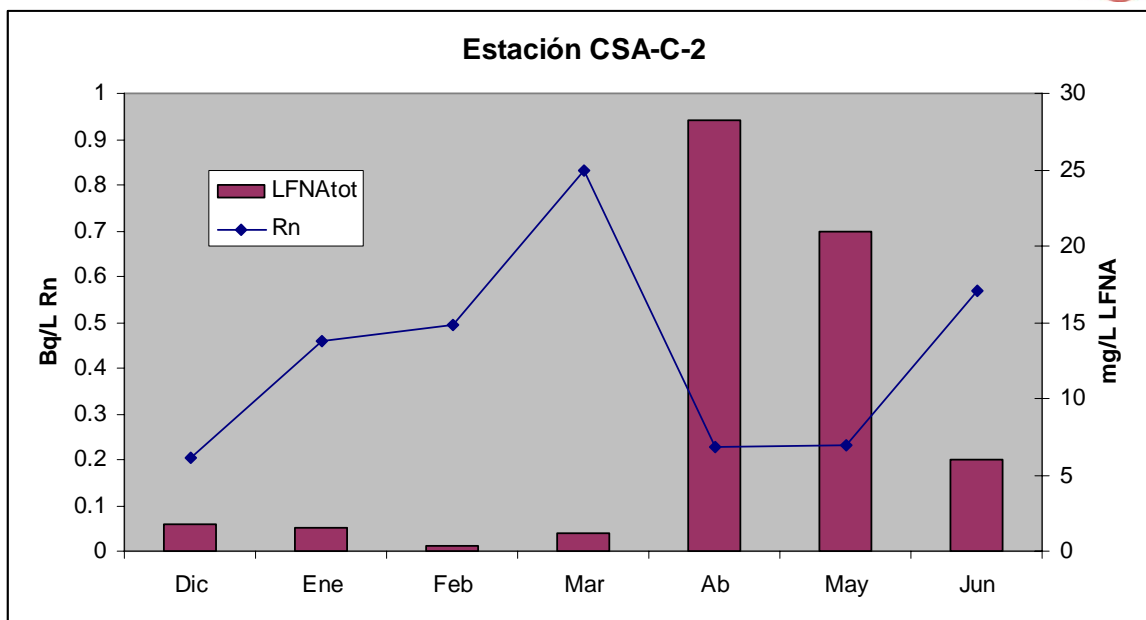


Fig. 11. Variación de la actividad de ^{222}Rn en las aguas subterráneas del Pozo CSA-C-2



MARCAJE DE EMISIONES LIQUIDAS DESDE DUCTOS

Las líneas de conducción de petróleo, agua y gas son susceptibles de presentar descargas incontroladas por accidente, envejecimiento y oxidación o fatiga, falta de mantenimiento o por hechos vandálicos. No siempre tales fugas son detectadas a tiempo y, en no pocas ocasiones, sobre todo en el caso de ductos soterrados, la zona no saturada y el acuífero pueden contaminarse durante mucho tiempo antes que estas sean detectadas. Es más, normalmente cuando las pérdidas están por debajo de los límites de detección o la sensibilidad de los equipos que monitorean los caudales y flujos en tiempo real, las contaminaciones se descubren cuando ya se han propagado lo suficiente como para afectar grandes volúmenes del sistema acuífero.

Para determinar estas fugas líquidas con precisión son útiles tanto los trazadores isotópicos radioactivos de corta vida (horas o pocos días), como el ^{129}I como los fluorescentes. En muchos casos, es conveniente utilizarlos de manera combinada, sobre todo, cuando la contaminación ha afectado la zona no saturada del acuífero. En el caso de pérdidas o fugas de gases, el ^{222}Rn nuevamente es útil.

Los ensayos con **trazadores (tintas) fluorescentes** son muy apreciados por los decisores y, bajo ciertas condiciones no dejan de ser atractivos, sobre todo, cuando el trazador es visible a simple vista en los puntos de salida (Fig. 12). Muchas veces solamente se emplean para análisis cualitativos, es decir solamente para identificar las conexiones entre uno o más puntos de entrada (absorción) o descarga (salida) pero estos ensayos no brindan información cuantitativa del sistema y no son, precisamente, más baratos que los cuantitativos. Siempre que sea posible deben preferirse éstos, ya que brindan información sobre los siguientes aspectos (Antigüedad, Ibarra y Morales, 1989-1990; Molerio, 2004):

- Tránsito de un contaminante e indicadores sobre:
 - Tiempo de tránsito y velocidad de las partículas más rápidas
 - Tiempo de tránsito y velocidad de las partículas más lentas
 - Duración de la restitución
 - Tiempo y velocidad modal de tránsito
 - Concentración máxima y media del trazador
- Condiciones hidrodinámicas **durante** el ensayo de trazado e indicaciones sobre:

- Volúmenes drenados antes y durante la restitución, que pueden ser descompuestos eventualmente en flujos de base y de crecida. Estos valores son especialmente importantes para la identificación de los caudales de compensación (ambientales o ecológicos) de los ríos y surgencias.
- Modalidades del tránsito del agua y simulación del tránsito de un contaminante, atendiendo a los siguientes parámetros:
 - Tiempo medio de tránsito
 - Velocidad media de tránsito
 - Velocidad aparente de tránsito

Fig. 12. Salida de un trazador colorante en un punto de descarga.



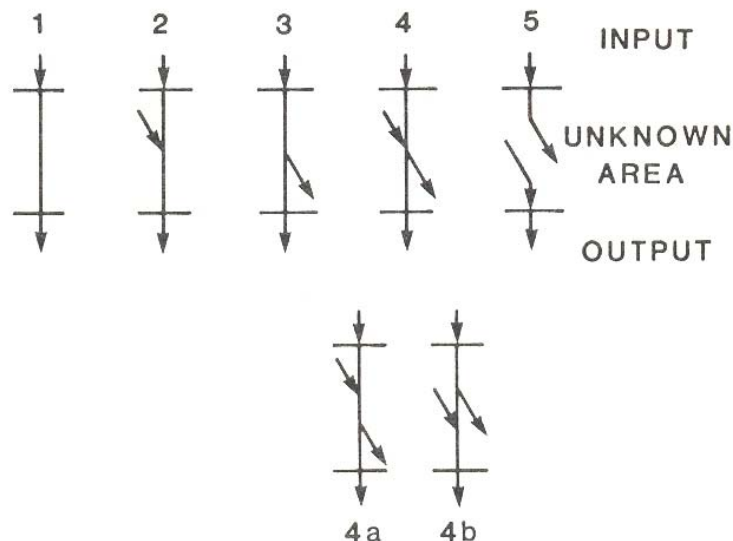
En los ensayos con trazadores fluorescentes ciertos aspectos básicos no pueden ser soslayados:

- Las expectativas del ensayo.
- El modelo conceptual del sistema de flujo a trazar.
- Modelo de inyección (instantánea o continua, individual o múltiple)
- La distancia estimada a trazar.
- Los caudales que intervienen.
- Las fuentes de pérdidas y aportes de trazador (por adsorción, reducción, degradación, decaimiento fotoquímico, acomplejamiento, precipitación, dilución no esperada, fluorescencia natural).
- El sistema y la frecuencia del monitoreo.
- Las propiedades espectrales y los límites de detección del trazador.
- La identificación –conocida o estimada- de los puntos de paso o de salida del trazador.
- El financiamiento y el tiempo disponible para el ensayo.

En las redes cársticas no ocurre como en las redes de ductos industriales, ya que estos últimos tienen una distribución conocida y se manejan perfectamente los caudales, las fuentes de pérdidas y aportes en cualquier momento del ensayo. Las redes naturales, sobre todo aquellas que no han sido exploradas aportan una incertidumbre en cuanto a la distancia estimada a trazar, las fuentes de aportes o pérdida del trazador, los puntos de paso, que solamente –y no siempre- puede esperar reducirse en alguna medida con un buen diseño del experimento (Fig. 13). Esto es tan importante que, muchas veces, la baja –o nula- recuperación del trazador no significa, forzosamente, que la conexión esperada entre dos o más puntos no exista. Incluso no debe olvidarse que, en sistemas

naturales, dependiendo de las condiciones iniciales y de borde del sistema, los mismos trazados son positivos unas veces y otras no.

Fig. 13. Diferentes relaciones espectrales de las fuentes adicionales eventuales de pérdidas y aportes de trazador en sistemas cársicos naturales (tomado de Jones, 1984a).



La cantidad de trazador y el tiempo de monitoreo a veces constituyen unas fuertes limitaciones para la realización de estos ensayos. Debe tomarse en cuenta que algunos de estos experimentos pueden demorar meses, por lo que la observación se encarece sustancialmente. Por eso, entre otras razones, se han propuesto algunos métodos para estimar la cantidad de trazador que puede necesitarse. Sin embargo, no olvidar, que siempre es conveniente añadir un poco más si se presume que pueden enfrentarse zonas de pérdidas en el curso del ensayo.

Algunas fórmulas para estimar la cantidad de trazador son las siguientes (Jones, 1984b; Antigüedad, Ibarra, Morales, 1989-1990):

Aley y Fletcher (para la fluoresceína):

$$(16) \quad Wd = 1,478 \left(\sqrt{\frac{DQ}{V}} \right)$$

Ravier, Hours y Scheebeli (para dicromato potásico):

$$(17) \quad P = \frac{3QL}{A} + 0,1V$$

Ravier, Hours y Scheebeli (para la fluoresceína):

$$(18) \quad P = \frac{KQL}{A} + 0,02V$$

Martel (para trazadores fluorescentes, fórmula muy usada por los espeleólogos pero, sobre todo para trazados cualitativos):

$$(19) \quad P = NQ$$

Bekchourin (gramos para cada 10 metros de recorrido):

5-20	Rocas arcillosas
2-10	Arenas
2-20	Rocas fisuradas
2-10	Rocas cársicas

En la fórmula de Aley y Fletcher:

Wd, peso del trazador (referido a la fluoresceína salvo indicación en contrario), en kg.

D, distancia en línea recta desde el punto de ingreso al de salida estimada, en km.

Q, caudales en m³/s

V, velocidad de circulación del agua en m³/h

En las fórmulas restantes:

P, peso del trazador (referido a la fluoresceína salvo indicación en contrario), en kg.

Q, caudales en la zona de descarga, en m³/s

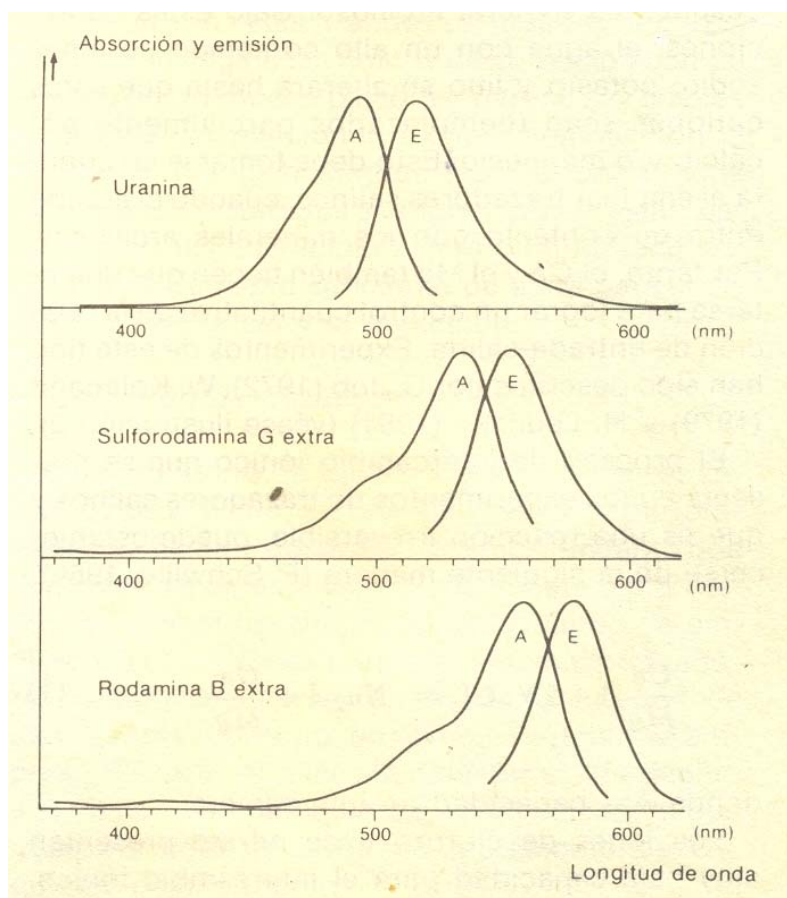
A, velocidad real del agua subterránea, en m/d

V, volumen de reservas de agua subterránea, en 10³ m³

K, coeficiente que se toma 0,5 para la circulación a través de fisuras o canales y 3, para formaciones porosas

Las propiedades espectrales de los trazadores son de obligada consideración en la selección de la tinta a utilizar. Estas tienen la propiedad de absorber la luz de cierta longitud de onda (excitación del espectro de absorción) y, al mismo tiempo, de emitir luz con longitudes de onda mayores, lo que se conoce como emisiones del espectro de fluorescencia. Ambos espectros constituyen propiedades de cada trazador fluorescente de manera que pueden detectarse individualmente o en una mezcla de varios, lo que a veces resulta útil en ciertos experimentos de trazado. La Fig. 14 muestra los espectros de excitación (A) y emisión (E), de algunas tintas fluorescentes. La Fig. 15 muestra los espectros típicos de fluorescencia de algunas mezclas de tintas fluorescentes en soluciones acuosas.

Fig. 14. Espectros de excitación (A) y emisión (E), de las tintas fluorescentes Uranina, Sulforhodamina G y Rhodamina B (según Zojer, 1988).



Los esquemas de recuperación de trazador, identificados mediante las correspondientes curvas de paso constituyen el elemento básico para la interpretación de los resultados. Los indicadores básicos se describen en la Fig. 16. que representa a dos estaciones de monitoreo en los sitios n y $n+1$ de un conducto no ramificado sin influjos o eflujos laterales. En la Fig. 16, los términos son los siguientes, tomando en cuenta que, para un trazador conservativo, el área bajo la curva en el sitio n es igual a la del sitio $n+1$:

- T_e , tiempo de la primera llegada
- T_p , tiempo al pico (máximo del trazador)
- T_c , Tiempo al centroide
- T_d , tiempo total de paso del trazador
- C_p , concentración máxima en el pico
- A_c , concentración media del trazador

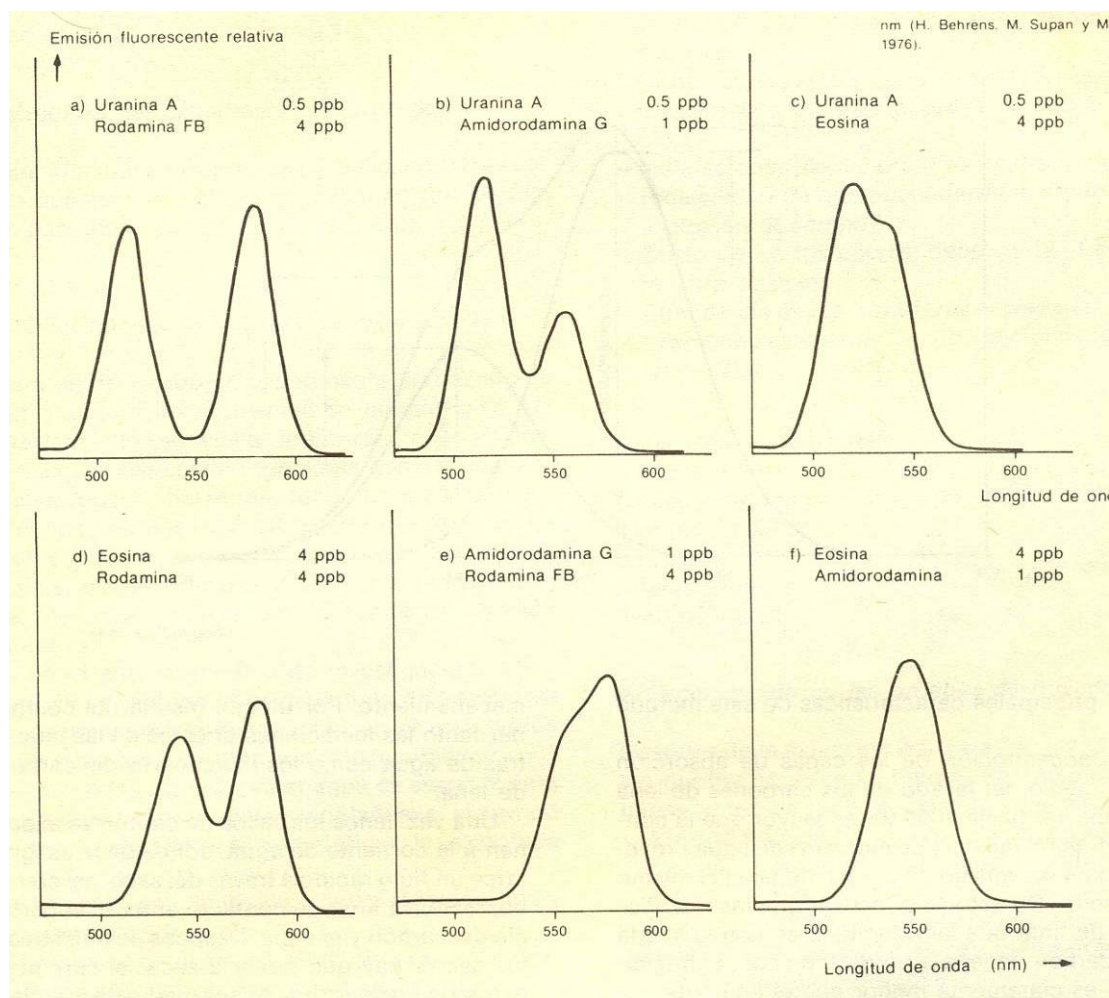
La cantidad total de trazador recuperada en cada punto de descarga (W_d) se estima según la expresión siguiente, cuyos parámetros se determinan a partir de la curva de paso:

$$(20) \quad W_d = Q_o C_d t$$

Y la proporción porcentual recuperada (R_p) :

$$(21) \quad R_p = 100 \cdot \frac{C_{\text{observado}}}{C_{\text{conservativo}}}$$

Fig. 15. Espectros típicos de fluorescencia de algunas mezclas de tintas fluorescentes en soluciones acuosas (según Zojer, 1988)

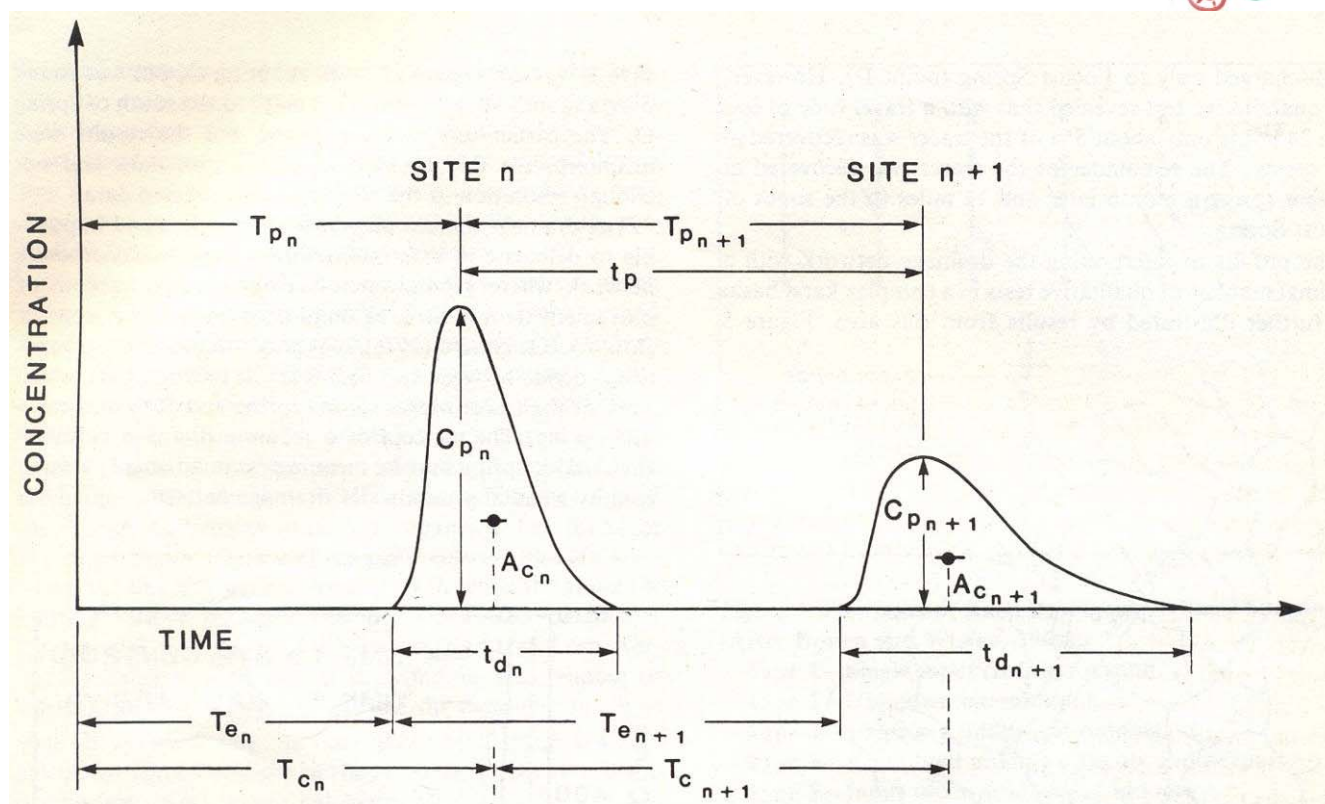


Los límites de detección dependen particularmente del método aplicado y de los instrumentos de medición. La Tabla 9 resume algunos valores compilados por Zojer (1988) de diferentes fuentes.

Tabla 9. Límites de detección de algunas tintas fluorescentes (resumido de Zojer, 1988)

Tinta	Límite (en ppb)	Fuente
Uranina	0,001-0,025	Benischke, 1983 <i>fide</i> Zojer, 1988
Uranina	0,12	Bub y Zötl, 1989? <i>fide</i> Zojer, 1988
Eosina	0,05-0,5	Benischke, 1983 <i>fide</i> Zojer, 1988
Eosina	1	Bub y Zötl, 1989? <i>fide</i> Zojer, 1988
Amidorodamina G	0,001-0,05	Benischke, 1983 <i>fide</i> Zojer, 1988
Amidorodamina G	0,05	Bub y Zötl, 1989? <i>fide</i> Zojer, 1988
Rhodamina B	0,01-0,5	Benischke, 1983 <i>fide</i> Zojer, 1988
Rhodamina B	0,02	Bub y Zötl, 1989? <i>fide</i> Zojer, 1988
Tinopal	\cong 0,4	Benischke, 1983 <i>fide</i> Zojer, 1988
Tinopal	2,5	Bub y Zötl, 1989? <i>fide</i> Zojer, 1988

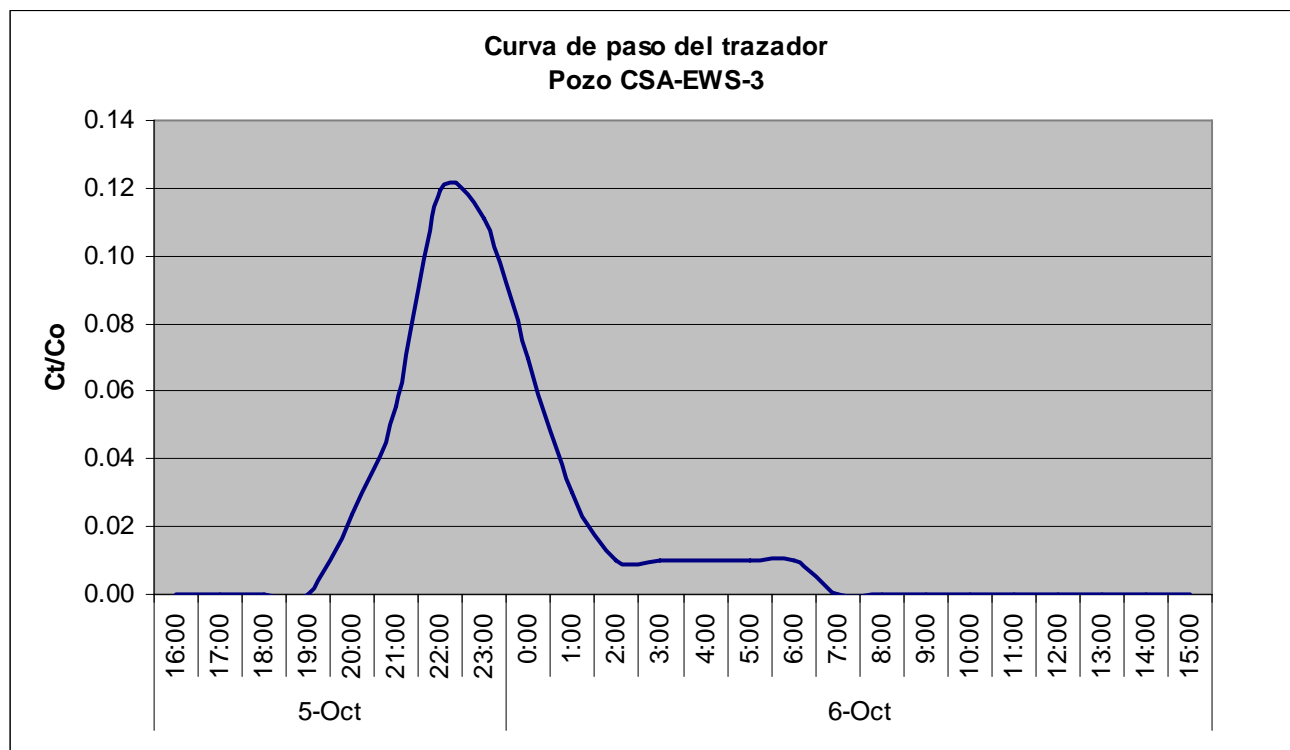
Fig. 16. Indicadores básicos de las curvas de recuperación a partir de ensayos instantáneos (según Jones, 1984b).



La Fig. 17 muestra la curva de paso de un trazador colorante, en este caso la Rhodamina B ($C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$), trazador muy estable a los cambios en el pH de las aguas y a las bacterias., empleado para conocer, mediante una aproximación Euleriana, si existían fugas de cierto ducto que eventualmente convergerían en un acuífero. La complicación del ensayo del trazado venía dada porque el ducto es soterrado en parte de su recorrido y, por ello, el trazador debía atravesar una zona no saturada de unos tres metros de espesor antes de llegar al acuífero y converger a los pozos de observación.

En este caso se emplearon detectores pasivos con carbón activado, altamente recomendables. El muestreo activo se realizó mediante el monitoreo de eventuales cambios en la fluorescencia y coloración natural de las aguas marcadas mediante medición directa con luz ultravioleta y testificados mediante elutriante amoniacal.

Fig. 17. Curva de paso de Rhodamina B en un ensayo de trazado artificial mediante inyección instantánea.



NOTA FINAL

Las técnicas de trazadores ambientales y artificiales para la gestión ambiental de los yacimientos gasopetrolíferos onshore de la Franja de Crudos Pesados del Occidente de Cuba (FCPOC) se ajustan perfectamente a las condiciones hidrogeológicas que predominan en superficie. En efecto, los acuíferos cársicos litorales que se extienden por toda la región son amenazados permanentemente por su elevada vulnerabilidad hidrogeológica frente a la contaminación inducida por la intrusión marina, la agricultura, recreación pero, básicamente, por la exploración y explotación de los yacimientos de petróleo y gas. En gran parte de la FCPOC, las aguas subterráneas constituyen la única fuente de abastecimiento de agua potable para consumo doméstico, industrial y agropecuario. Por ello, ellas y los suelos constituyen un elemento importante a proteger de impactos no deseados que deterioren la calidad de las aguas o alteren su régimen.

El empleo sistemático del monitoreo hidrogeológico ambiental en parte soportado por el muestreo sistemático de ciertos trazadores ambientales como el Tritio y el Radón-222 ha permitido a algunos operadores identificar su alcance de responsabilidad respecto a contaminaciones antiguas, en tránsito, por los yacimientos que actualmente explotan, actuar con diligencia y eficiencia frente a derrames de crudo o de aguas de capa y marinas, evaluar las capacidades de atenuación natural de ciertos crudos bajo determinadas condiciones de contorno y gestionar con mayor efectividad el medio ambiente regional.

BIBLIOGRAFÍA

Ahn, J. S.; S. J. Kim; J. W. Kim. 1992. Environmental isotope studies in sea water intrusion into south eastern coastal aquifer in Cheju island. IAEA-SM-319/60, Vienna: IAEA, 22p

SEGUNDA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS '2007.
Memorias en CD-Rom, La Habana, 20-23 de Marzo de 2007

- Aley, T. 1984. Groundwater tracing in water pollution studies. NSS Bull- (United States) (46):17-20
- Alcalá, F.J., E. Custodio. 2002. La deposición atmosférica de cloruro al terreno en España. Bol. Geol. Min. (España) (115):319-330
- Alcalá, F.J., E. Custodio. 2004. La relación Cl/Br como indicador del origen de la salinidad en algunos acuíferos de España y Portugal. Inst. Geol. Min. España (España), 3:
- Anati, D. A.; J. R. Gat. 1988. Restricted marine basins and marginal sea environment. En/ P. Fritz & J. Ch. Fontes (ed): Handbook of environmental isotope geochemistry, Vol. III, Vienna: IAEA, 73p
- Antigüedad, I., V. Ibarra, T. Morales. 1990. Los trazadores en la hidrogeología kárstica: Metodología de su uso e interpretación de los ensayos de trazado. Munibe - Ciencias Naturales (España), 41:31-45
- Araguás Araguás, L.; R. Gonfiantini. 1992. Los isótopos ambientales en los estudios de la intrusión marina. Vienna: IAEA, 60p:
- Benischke, R., H. Zojer, P. Fritz, P. Maloszewski, W. Stichler. 1988. Environmental and artificial tracer studies in an alpine karst massiff (Austria). IAH 21st. Congr. Karst hydrogeology and karst environmental protection, Guilin, China : IAH, Wallingford, UK 947p
- Burnett, B, T. Nelson, R. Corbett, L. Robinson, J. Weaver, J.E. McKisson, D. Lane-Smith. 1998. Improvements in the measurement of Rn-222 in natural waters. 44th Annual Conf. Bioassay, Analytical, and Environ. Radiochem, New Mexico: Vienna: IAEA, 4 p.
- Cabral, J. M. P.; P. M. Carreira; M. C. Vieira; J. Braga dos Santos; M. J. Leitao de Freitas; R. Gonfiantini (1992): Study of groundwater salinization in Algarve, Portugal, using environmental isotope techniques. Vienna: IAEA, 5p
- Celle-Jeanton, H., L. Gourcy, P. Aggarwal (2000): Reconstruction of Tritium Time Series in Precipitation. Vienna: IAEA, 1p
- Clark, I.D. , P. Fritz (1997): Environmental Isotopes in Hydrogeology., Boca -Raton, New York: Lewis Publ., 328p
- Clayton, R. N.; I. Friedman; D. L. Graf; T. K. Mayeda; W. F. Meents; N. F. Shimp (1966): The origin of saline formation waters. 1. Isotopic composition. J. Geophys. Res. (United States) 71(6):3869-3882
- Craig, H.; L. I. Gordon (1965): Deuterium and Oxygen-18 variations in the ocean and the marine atmosphere. En/ Tangiorgi, E. (ed): Stable isotopes in oceanographic studies and paleotemperatures - Vienna: IAEA, 130 p
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (1985): NC-93-02-1985. Agua potable. Requisitos sanitarios y de muestreo. ONN: La Habana, 32p
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (1986): NC-93-01-1986. Fuentes de abastecimiento de agua, calidad y protección sanitaria. ONN: La Habana, 38p
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (1987): NC-93-01-103. Clasificación de la utilización de las aguas interiores. ONN: La Habana, 5p
- Dansgaard, W. 1964. Stable Isotopes in Precipitation. Tellus (Norway) (16):436-468
- Doney, S.C., D.M. Glover, W.J. Jenkins (1992): A model function of the Global Bomb-Tritium Distribution in Precipitation., Jour. Geophys. Res. (United States) 97 No. C4, :5481-5492
- Eriksson, E. (1967): Isotopes in Hydrometeorology. Isotopes in Hydrology, Vienna: IAEA, 233p
- Eriksson, E. (1976): The distribution of salinity in groundwaters of the Delhi region and recharge rates. Proc. Symp. Interpretation of environmental isotope and hydrochemical data in groundwater hydrology, I Vienna: IAEA, 1778p
- Eriksson, E. (1983): Stable isotopes and tritium in precipitation. IAEA: Guidebook on nuclear techniques in hydrology. Tech. Rep. Series 91, Vienna: IAEA, 193p
- Ferronsky, V. I.; V. S. Brezgunov (1980): Stable isotopes and ocean dynamics. En P. Fritz & J. Ch. Fontes (ed): Handbook of environmental isotope geochemistry, Vol. III:1-27 Vienna: IAEA, 345p
- Fimk, T.R. , P.- Worner 1993. Pollution prevention opportunities in oil and gas production, drilling and exploration. Seattle: Pacific Northwest Poll. Prev. Res. Center, 11p
- Gat, J. R. (1981): Isotopic fractionation. En Gat, J.R., R. Gonfiantini (1981): Stable isotope hydrology. Deuterium and Oxygen-18 in the water cycle. IAEA Tech. Rep. Series 210, Vienna: IAEA, 334p
- Gat, J. R.; Y. Tzur (1967): Modification of the isotopic composition of rainwater by processes which occur before groundwater recharge. Isotopes in Hydrology. Vienna: IAEA, 496p
- Gat, J.R., R. Gonfiantini (1981): Stable isotope hydrology. Deuterium and Oxygen-18 in the water cycle. IAEA Tech. Rep. Series 210, Vienna: IAEA, 339p
- Gonfiantini, R.; M. Simonot (1987): Isotopic investigations of groundwater in the cul-de-Sac Plain, Haiti. Proc. Symp. Isotope Tech. in Water Resources Development, Vienna: IAEA, 506p

- Gutiérrez, J.; H. Travieso (1978): Características físicas y químicas de las aguas de precipitaciones cubanas. Voluntad Hidráulica, La Habana (Cuba) (47-48):18-22
- Herrman, A., B. Finke, M. Schöniger, P. Maloszewski, W. Stichler (1990): The environmental tracer approach as a tool for hydrological evaluation and regionalization of catchment systems. Regionalization in Hydrology, Proc.Ljubljana Symp. Rotterdam:IAHS Publ. 558p
- Hunkeler, D., E. Hoehn, P. Höhener, J. Zeyer. 1997. ^{222}Rn as a partitioning tracer to detect diesel fuel contamination in aquifers: laboratory and field observations. Environ.Sci. Technol (Belgium), 31 pp 3180-3187.
- Hunkeler, D, P. Höhener, J. Sèller. 1997. Can ^{222}Rn be used as a partitioning tracer to detect mineral oil contaminations?. Tracer Hydrology. 97. Rotterdam: Balkema, 668p
- Jones, W.K. 1984a. Analysis and interpretation of data from tracer tests in karst areas. NSS Bull- (United States) (46):41-47
- Jones, W.K. 1984b. Dye tracer tests in karst areas. NSS Bull- (United States) (46):3-9
- Kaufmann, S., W.F. Libby (1954): The natural distribution of Tritium. Phys. Rev., (United Kingdom) 93:1337-1344
- Köhn, J. E.E. Kruse, J. E. Santos, 2006. Transporte de cloruro en acuíferos aluviales. La Plata: Univ. Nac. La Plata, 8p
- Maloszewski, P., A. Zuber (1990): Mathematical modeling of tracer behaviour in short term experiments in fissured rocks. Water Resour.Res. (United States) 26(7):1517-1528
- Maloszewski, P., A. Zuber (1991): Influence of matrix diffusion and exchange reactions on radiocarbon ages in fissured carbonate aquifers. Water Resour.Res. (United States) 27(8):1937-1945
- Maloszewski, P. (1992): Mathematical modelling of tracer transport in different aquifers: results from ATH test fields. Proc. 6th. Internatl.Symp. Water Tracing, Karlsruhe, Ger., Rotterdam :A.A. Balkema, 250p
- Maloszewski, P., W. Rauert, W. Stichler, A. Herrmann (1983): Application of flow models in an alpine catchment area using tritium and deuterium data. Jour.Hydrol. (United States) 66:319-330
- Maloszewski, P., A. Zuber (1992): On the calibration and validation of mathematical models for the interpretation of tracer analysis in groundwater. Adv. Water Resourc. (United States) 15:47-62
- Maloszewski, P., A. Zuber (2004): Manual of lumped parameter models used for the interpretation of environmental tracer data in groundwaters. Inédito. GSF-Institute of Hydrology, Nehuerberg.
- Maloszewski, P., W. Stichler, A. Zuber (2004): Interpretation of environmental tracers in groundwater systems with stagnant water zones. Isotopes in Environmental and Health Studies (United States) 40 (1):21-33
- Mangin, A. 1975. Contribution a l'étude hydrodynamique des aquifers karstiques. Thèse. CNRS: Moulis: 356p
- Molerio León, L. F. 1981. Notas para un Modelo Conceptual del Desarrollo del Karst en Cuba. Voluntad Hidráulica, La Habana, (Cuba) XVIII (56):21-23
- Molerio León, L. F. 1992a. Composición Química e Isotópica de las Aguas de Lluvia de Cuba. II Cong. Espel. Latinoamérica y el Caribe, Viñales, Pinar del Río, Cuba. SEC: La Habana, 200p
- Molerio León, L. F. 1992b. Modelo de Transporte de Masa en la Zona No Saturada de los Acuíferos Cársicos. 1/Algoritmo ADRIANA .versión 2.91. 1er Taller Iberoamericano de Informática y Geociencias, Acad. Cienc. Cuba, La Habana, 134p
- Molerio León, L. F. 1992c. Procesos de Transporte de Masa en la Zona No Saturada de los Acuíferos Cársicos Tropicales. GTICEK. Taller Internac. sobre Cuencas Experimentales en el Karst, Matanzas, Publ. Universitat Jaume I de Castelló: España, 235p
- Molerio León, L. F. 1993. Factores de Control de la Variación de Cloruros en un Acuífero Cársico Tropical. II Jornadas Venezolanas de Geología Ambiental, Maracaibo, Venezuela. MARNR:Caracas, 10 p
- Molerio León, L.F. 2003. Aplicaciones de Radón-222 en la identificación de contaminación por hidrocarburos en acuíferos cársicos. VII Taller Internacional "Informática y Geociencias". GEOINFO 2004. Comisión de Modelación Matemática. <http://www.iga.cu>. Revista Electrónica "Memorias de Geoinfo", La Habana, Cuba
- Molerio León, L.F. 2004. El enlace absorción-descarga de la Gran Caverna de Santo Tomas: evidencias derivadas de un ensayo con trazadores artificiales. Ing. Hidr. y Ambiental, La Habana (Cuba) XXV (3): 22-26
- Molerio León, L.F. 2006a. Procesos de Transporte de Masas en la Cuenca Santa Ana, Cuba. 1. Transporte en la zona no saturada. Mapping, Revista Internac. Ciencias de la Tierra (113), Madrid, (España) Octubre :72-81.
- Molerio León, L.F. 2006b. Procesos de Transporte de Masas en la Cuenca Santa Ana, Cuba. 2. Variabilidad espacial e incertidumbre de las propiedades físicas. Mapping, Revista Internac. Ciencias de la Tierra .113., Madrid (España) Octubre 82-88.

- Molerio León, L.F. 2006c. Radón 222, Tritio, intrusión marina y contaminación por hidrocarburos en acuíferos cársicos litorales. Mapping, Revista Internac. Ciencias de la Tierra, Abril, Madrid, (España) (108):25-30.
- Molerio León, Leslie F.; P. Maloszewski; M.G. Guerra Oliva; O. A. Regalado; D. M. Arellano Acosta; C. March Delgado & K. del Rosario .1993. Dinámica del Flujo Regional en el Sistema Cársico Jaruco-Aguacate, Cuba. Estudios de Hidrología Isotópica en América Latina 1994, IAEA TECDOC-835: Vienna: IAEA, 474p
- Molerio León, Leslie F.; Yoemí Portuondo López & Yamilé Bustamante Allen .1996. Migración de Hidrocarburos en Acuíferos Cársicos. Factores de Control de Transporte y pronóstico del Movimiento. Taller Nac. Manejo de Desastres por Derrame de Hidrocarburos. C. de La Habana: Estado Mayor Nac. Def.Civ, Sherritt Co., Geopetrol.: 192p.
- Molerio León, L.F. & Y. Portuondo López .1997. Design of Sea Water Intrusion Early Warning Systems in Coastal Karstic Aquifers: A Multivariate Approach. Draft Report. IHP-V Project 3.2. Monitoring Strategies for Detecting Groundwater Quality Problems, La Habana :INRH-UNESCO:, 27 p
- Molerio León, L.F., K. del Rosario, J.C. Torres Rodríguez, E. Rocamora Álvarez, M.G. Guerra Oliva .2002a. Factores de control de la composición química e isotópica de las aguas subterráneas en la región Varadero-Cárdenas, Matanzas, Cuba. Ing. Hidr. y Ambiental, La Habana, (Cuba) 23(2):36-46
- Molerio León, L.F., P. Maloszewski, M.G. Guerra Oliva, D.M. Arellano, K. del Rosario .2002b. Hidrodinámica isotópica de los sistemas acuíferos Jaruco y Aguacate, Cuba. Ing. Hidr. y Ambiental, La Habana, Cuba 23(2):3-9
- Molerio León, L.F., E. Rocamora Álvarez .2005. Sistemas acuíferos del noreste de la provincia de La Habana, Cuba. Memorias. VI Congreso de Geología, La Habana. Memorias 1ª Conv. Cubana de Ciencias de la Tierra. 11 p
- Morell Evangelista, I. 2002. Hidrogeoquímica del Boro. Castellón: Universitat Jaume I, 32p
- Moser, H., W. Rauert, G. Morgenschweis, H. Zojer. 1986. Study of groundwater and soil moisture movement by applying nuclear, physical and chemical methods. Paris: UNESCO, 104p
- Panno, S.V., K.C. Hackley, H.H. Hwang, S. Greenberg, I.G. Krapac, S. Landsberger, D.J. O'Kelly. 2004. Source identification of sodium and chloride contamination in natural waters: Preliminary results. USA Geol. Survey. Washington Ill. 25p
- Seiler, K.P., P. Maloszewski, H. Behrens (1989): Results on hydrodynamic dispersion in the karstified aquifer of the Upper Jura of Frankonian Alb, FR Germany. Proc.Internatl.Symp. Contaminant transport in groundwater Rotterdam, Stuttgart : Balkema, 838p
- Soerens, T. S., A. Ghanem, J. Smith, M.A. Mhla. 2004. Characterizing DNAPL in groundwater using partitioning fluorescent dyes. Publ. Univ. Arkansas: Arkansas, 9p
- Stout, G. E.; F. A. Huff (1967): Rainout characteristics for hydrological studies. Isotopes in Hydrology, Vienna: IAEA, 617p
- Surbeck, H. 1996. A Radon-in-Water based on fast gas transfer membranes. Internatl. Conf. Technologically enhanced natural radioactivity caused by non-uranium mining, Polonia: Szczyrk, 9 p
- Trúsov. I. I.; A. Izquierdo; L. R. Díaz (1983): Características espaciales y temporales de las precipitaciones atmosféricas en Cuba. La Habana: Edit. Academia, 150p
- Wallick, E. I.; J. Tóth (1976): Methods of regional groundwater flow analysis with suggestions for the use of environmental isotopes. Proc. Symp. Interpretation of environmental isotope and hydrochemical data in groundwater hydrology, Vienna: IAEA, 376p
- Weiss, W., W. Roether (1980): The rates of Tritium input to the World Ocean. Earth Plante. Sci.Lett., (United States) 49, 435-446
- Werner, D., P. Höhener. 2002a. Diffusive partitioning tracer test for Nonaqueous Phase Liquid (NAPL) detection in the vadose zone. Environ. Sci. Tecnol, (United States) 36:1592-1599
- Werner, D., P. Höhener. 2002b. The influence of water table fluctuations on the volatilization of contaminants from groundwater. Proc. Groundwater Quality 2001, Sheffield: IAHS Publ. 275, pp 213-218
- Yurtsever, Y.; J. R. Gat (1981): Atmospheric waters. in/ Gat, J.R., R. Gonfiantini (1981): Stable isotope hydrology. Deuterium and Oxygen-18 in the water cycle. IAEA Tech. Rep. Series 210, Vienna: IAEA, 1032
- Zojer, H, 1988: Técnicas de trazadores. Ing. Hidr. Méx. (México). 3(2):43-58

EFICACIA DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA EMPRESA ERNESTO CHE GUEVARA.

Moraima Fernández Rodríguez. (1), Enildo Díaz Bisset, (2), Neybis Laurencio Ricardo, (3).

- (1) Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Las Coloradas s/n, Moa, Holguín, Cuba. E-mail: mfernandezr@ismm.edu.cu
(2) Planta Potabilizadora Empresa Ernesto Che Guevara .Carretera del puerto Km 8 Moa. Holguín. Cuba. E-mail: ebissett@ecg.moa.minbas.cu
(3) Empresa Ernesto Che Guevara. Carretera del puerto Km 8 Moa. Holguín. Cuba .E-mail: nlaurencio@ecg.moa.minbas.cu

RESUMEN

Esta investigación brinda la posibilidad de conocer la eficacia del proceso de potabilización de las aguas que se realiza en la Planta Potabilizadora de la Empresa Ernesto Che Guevara (ECG). Se realiza una valoración de los diferentes procesos que tienen lugar durante el tratamiento de las aguas: captación, floculación, sedimentación, clarificación y filtrado, y desinfección. Se realizaron los ensayos a muestras de agua llegadas a la planta con el objetivo de comparar las dosis de reactivos químicos empleadas en la prueba de las Jarras, con las utilizadas en los diferentes procesos, logrando con esto arribar a conclusiones acerca de las dosis óptimas a emplear. Se evaluaron las principales características físico-químicas y se clasificaron las aguas según diferentes autores utilizando las normas nacionales e internacionales para agua potable. Además se valoró la calidad de la fuente de suministro, así como se realizó una evaluación del proceso de desinfección llevado a cabo en dicha planta. Se tuvieron en cuenta además los análisis físico-químicos realizados al agua en tratamiento durante cada proceso, así como los análisis microbiológicos. Se dan conclusiones y recomendaciones de interés para futuras investigaciones.

ABSTRACT

This investigation offers the possibility to know the effectiveness of the process of making drinkable the waters that is carried out in the Drinkable Water Plant of the Company Ernesto Che Guevara (ECG). It is carried out a valuation of the different processes that take place during the treatment of the waters: reception, flocculation, sedimentation, filtrate, clarification and disinfection. Here they take into account samples of water arrivals to the plant with the objective of comparing the doses of reagents chemical employees in the test of the Jars, with those used in the different processes, achieving with this to arrive to conclusions about the good doses to use. It was evaluated the main ones characteristic physical-chemical and the waters were classified according to different authors using the national and international standard for drinkable water. The quality of the supply source was also valued, as well as it was carried out an evaluation of the disinfection process carried out in this plant. There also kept in mind the physical-chemical analyses carried out to the water in treatment during each process, as well as the microbiological analyses are given conclusions and recommendations of interest for future investigations.

INTRODUCCIÓN

Para obtener un agua limpia y sana, potable, de un agua natural, es necesario el proceso de remoción de los sólidos suspendidos, aglomerar y decantar los coloides y desinfectarla de organismos patógenos.

El agua natural, cruda o impura, puede provenir de ríos, lagos, embalses o de fuentes subterráneas. El tratamiento de estas aguas suele constar de varias etapas sedimentación mediante el proceso físico-químico de coagulación-floculación, filtración por arena o zeolita y desinfección. Luego el agua

se hace pasar a otros estanques en los cuales coagulan las partículas muy finas, como las arcillas coloidales, mediante la adición de sulfato de aluminio o sulfato férrico, sales que producen la aglomeración de los coloides con formación de agregados coloidales o flóculos que pueden decantar debido a su mayor tamaño y peso.

El agua para beber debe cumplir con una serie de requisitos de calidad física, química y biológica. Desde el punto de vista físico el agua debe ser traslúcida, con una turbiedad y color mínimo -según normas de las autoridades de Salud, inodora e insípida. Los requisitos de calidad química implican que el agua potable no debe contener elementos o compuestos en concentraciones totales mayores que las indicadas por las Normas Nacionales (NC 93-01-210: 1987) y la Organización Mundial de la Salud. (OMS), y otras normas internacionales. (Norma oficial Mexicana Nro12-SSA1-1993)

En estos momentos nuestro país atraviesa por una gran sequía, lo que lo sumerge en una escasez aguda. La mayoría de sus provincias presentan los embalses por debajo de los niveles mínimos de reserva de agua. En este caso se encuentra la provincia Holguín como una de las más afectadas. Este trabajo está encaminado a la evaluación de la eficacia del proceso de tratamiento de las aguas superficiales que se lleva a cabo en dicha planta.

MATERIALES Y MÉTODOS.

En la Planta Potabilizadora de la ECG se ha establecido un gráfico de control analítico y de muestreo, que rige y establece los pasos a seguir en el control del agua procesada. En éste quedan definidos los diferentes tipos de muestras que se toman durante el proceso de control de la calidad de las aguas, así como los análisis que se deben realizar a cada una de ellas. Se especifica además el lugar donde es tomada cada muestra y el volumen de ésta. En este material se registra también, la frecuencia con que es tomada cada muestra la norma establecida para cada ensayo que se le realiza, su unidad de medida y, el objetivo de cada uno de los análisis practicados a la distinta toma de agua

Las muestras fueron tomadas en el horario establecido por la planta, en envases plásticos con su respectiva codificación, se determinaron los parámetros: temperatura, cloro residual, pH, conductividad y salinidad in situ, posteriormente fueron llevadas al laboratorio tratándose con HNO_3 ; la porción de la muestra a utilizar para análisis de elementos pesados por el método de E.A.A, según lo establecido por las Normas Cubanas. Los análisis físicos y químicos fueron realizados según la metodología del Estándar Método Internacional. Estos métodos analíticos utilizados son controlados y evaluados con sus respectivos controles de calidad para los trabajos de laboratorio.

Con el objetivo de conocer los macro y microcomponentes más comunes contenidos en las aguas estudiadas se tomaron un total de 6 muestras, correspondientes a los puntos de entrada de agua a la planta (PA-2), dosificador de Floculante y cloro (PA-3), campana de los filtros (PA-4), punto de salida del agua tratada (PA-5), y a muestras correspondientes a análisis de materia prima que se realizan en ocasiones. A estas se le realizaron las mediciones del cloro residual (mg/L) y la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), se les determinó por duplicado los análisis físicos-químicos, analizando: pH (adimensional), Conductividad ($\mu\text{m/cm}^{-1}$), Turbidez (NTU), Color (Es.Pt/Co), Salinidad (%), S.T.D (mg/L), DQO (mg/L), NO_2^- (mg/L) y NO_3^- , (mg/L) y un determinado número los análisis bacteriológicos; con el objetivo de determinar los coliformes totales, fecales y valorar su uso desde el punto de vista higiénico-sanitario.

Se realiza un análisis del agua proveniente de la planta derivadora (PA-2), o estación de bombeo y el agua potable de salida de los tanques de la planta potabilizadora (PA-7). En los mismos se realizaron los análisis mencionados anteriormente, así como algunos elementos pesados tales como: Ni, Co, Mn, Cu, Al, Fe, Zn, Cr^{6+} y SiO_2 ; y componentes naturales Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , y elementos indicadores de contaminación NO_2^- , NO_3^- , todos se expresaron en (mg/L). La Dureza Total, Dureza Cálctica y Dureza Magnésica expresados como mg/l de CaCO_3 , Estos análisis se

realizaron con el objetivo conocer las características de las aguas que salían del proceso. Se determinó el cloro residual mediante el método de la ortotolidina y se realizaron análisis bacteriológicos a la muestra filtrada de los tanques de almacenamiento.

Para la realización de este conjunto de análisis se emplearon equipos instrumentales con una alta precisión en los resultados, los cuales se mencionan a continuación:

- Para las determinaciones relacionadas con la conductividad, salinidad y sólidos totales disueltos se empleó el conductímetro WTWLF – 330 UNICAM.
- Determinaciones de pH, el potenciómetro WTW UNICAM.
- Por el método de Análisis Colorimétrico fueron determinados el color, la turbidez, Cr^{6+} , SiO_2 , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^- , Fe, y Al, apoyándose en el espectrofotómetro DR–2000 y el espectrofotómetro ultravioleta visible Helios λ UNICAM.
- Para las determinaciones del Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{CO}_3^{=}$, HCO_3^- y para los restantes elementos se empleó el método de valoración volumétrica.
- El método de Espectrofotometría de Absorción Atómica se empleó para los elementos: Ni, Co, Cu, Zn, Mn, Na^+ y K^+ .

La fuente de agua determina su calidad inherente. Las sustancias no deseadas contenidas en el agua natural se separan o se transforman en sustancias aceptables o ambas cosas. La mayor parte de los procesos de tratamiento de aguas originan cambios en la concentración de un compuesto específico. Calidad final.

Debido a lo anterior es importante realizar ensayos de jarras que permitan mediante mediciones de las características físicas, químicas del agua optimizar las variables químicas de los diferentes procesos unitarios para asegurar que en la Planta Potabilizadora de la ECG se han realizado algunas pruebas de la jarra en días que las condiciones de turbidez se encuentran por encima de los 20 NTU, con el objetivo de determinar dosis óptimas para ser empleadas en el tratamiento del agua y controlar la calidad y efectividad de dicho proceso. A continuación se relacionan algunos de los ejemplos más representativos de los ensayos realizados durante el año 2004 y la única prueba realizada en este año 2005.






RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Valoración de la calidad de las aguas que entran al proceso de potabilización (agua cruda).

Para la evaluación de las aguas se ha seguido la metodología establecida para agua potables y fundamentalmente EL Método Standard Internacional (A.P.H.A., 1995), y las normas cubanas (NC 93-01-210: 1985); (NC 93-03: 1985)

El agua de entrada a la planta es un agua de montaña proveniente del río Moa. Esta tiene un comportamiento estable en cuanto a sus propiedades físico-químicas en tiempo de seca y refiere el mayor rango de variaciones de estas en el tiempo de lluvia debido a la gran cantidad de minerales y otros materiales que se le añaden como consecuencia del arrastre incrementado durante este período. La misma, en general según estudios anteriores (Fernández, M. 2003) y (Montero, R. 2004), es *dulce* según la clasificación de Aliokin y *normal* según Simpson, en cuanto a su mineralización. En cuanto a su pH es un agua *débilmente básica*, según la clasificación de E.B. Pasovox. En lo que respecta a la clasificación de Aliokin desde el punto de vista de su dureza total, esta ha sido identificada como un agua *algo dura*. Es además un agua rica en su contenido de magnesio (magnésiana), razón que está directamente relacionada con la composición del tipo de rocas (serpentinitas) que componen el lecho sobre el cual corre el río Moa.

Principales procesos que intervienen en la potabilización del agua:

-  Captación y conducción.
-  Coagulación y Floculación.
-  Sedimentación.
-  Filtración.
-  Desinfección.

Valoración del proceso de potabilización del agua a escala de laboratorio.

Se muestran los datos de casos que fueron realizados a escala de laboratorios, estos ensayos de floculación en el laboratorio con cambios de la turbidez del agua cruda en cuanto a la dosificación de los reactivos químicos para el proceso de floculación a la escala real del proceso de tratamiento de la planta en cuestión.

Estos datos brindan la posibilidad de apreciar los cambios en las propiedades del agua de entrada una vez que se inicia su tratamiento con reactivos químicos. Además permiten valorar para cada caso cuál de las dosis empleadas en estos análisis a escala de laboratorio es más eficaz para ser aplicada posteriormente en el proceso.

Pruebas de las jarras.

1ra prueba.

Tabla Ia. Propiedades físicas del agua cruda.

Agua cruda	
Turbidez (NTU)	33
Color	189
pH	7.84

Tabla Ib. Dosis de reactivos en la prueba de la jarra.

Jarras	1	2	3	4	5	6
AlSO ₄ (mg/l)	15	18	20	25	30	35
Cal (mg/l)	10	12	15	10	12	15
Floculante A-130 (mg/l)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Turbidez NTU	29	4	16	7	4	16
Color Esc.Pt/Co	155	16	84	38	18	15
pH	8.02	7.37	7.62	7.76	7.77	7.94

En esta prueba las menores dosis fueron empleadas en la jarra No.2. Para estas dosis pequeñas, los valores de la disminución de la turbidez y el color son notables con respecto a los del agua de entrada. Se observa que la jarra No.5 reportó resultados similares, ésta no fue escogida debido a las altas dosis de reactivos empleadas (AlSO₄), para lograr los cambios en los parámetros antes referidos. (Tabla Ib)

Correlación de los resultados de la prueba de la jarra con los obtenidos en el proceso.

Las dosis empleadas en el proceso de la Planta Potabilizadora, para el tratamiento del agua de entrada se corresponden con los determinados por el laboratorio a través de la prueba de las jarras realizada.

Los valores de floculante empleados en el proceso, se corresponden con los utilizados para la prueba de las jarras. En los experimentos realizados por el laboratorio el floculante se mantuvo estable en un valor igual a los 0.2 mg/l. En el caso de las dosis empleadas en el proceso a escala normal varían en un rango (0.14-0.18 mg/l) que se acerca a ese valor considerablemente.

Tabla Ic. Valores promedio del agua filtrada.

Muestra	Análisis	Valor promedio.
PA-7	Color	14.33
	Turbidez (NTU)	2.67
	Aluminio	0.213
	pH	7.51
	Cloro	0.33

Estos resultados permiten concluir que las pruebas de la jarra realizadas pueden ser empleadas como referencia para dosificar los reactivos químicos en días que el agua de entrada presente características similares a los parámetros turbidez, color y pH. (Tabla Ic)

2da Prueba.

Tabla IIa. Propiedades físicas del agua cruda.

Agua cruda	
Turbidez (NTU)	44
Color	235
pH	7.26

Tabla IIb. Dosis de reactivos en la prueba de la jarra.

Jarra	1	2	3	4	5	6
AlSO₄	15	18	20	22	24	26
Cal	10	12	15	10	12	15
Floculante A-130 (mg/l)	0.15	0.18	0.2	0.15	0.18	0.2
Turbidez	4	3	2	1	1	1
Color	23	8	3	2	2	0
pH	7.52	7.45	7.48	7.30	7.27	7.20

Esta prueba de la jarra fue realizada con dosis de sulfato, cal y floculante diferentes para cada recipiente, con la característica de que éstas aumentan a medida que va aumentando el número de la jarra empleada. (Tabla IIb). Los resultados obtenidos en cada uno de los casos difieren en cuanto a

los parámetros evaluados y permiten arribar a conclusiones acerca de cual de las dosis empleadas es la más ideal para proceder en la dosificación del proceso a escala industrial.

En este caso, aunque en la jarra No.1 es en la que se han empleado las menores cantidades de reactivos, no es precisamente la que brinda resultados positivos. No obstante las dosis empleadas en la jarra No.3 aunque son superiores a la jarra No. 1, son inferiores a las dosis de las jarras restantes y es en esta donde, en proporción con los valores de reactivos empleados, los índices de color y turbidez disminuyen.

En el proceso de la planta se procedió al suministro de los reactivos de acuerdo con los valores determinados en el ensayo de la mesa de floculación. Todas las dosis suministradas este día se encuentran en un rango de valores muy similares a los determinados por el laboratorio. Aunque no son exactamente iguales, las variaciones de las cantidades empleadas pueden estar dadas a las fluctuaciones que tienen lugar en las condiciones de los parámetros del agua de entrada a medida que transcurre el tiempo de tratamiento. Este punto quedó referenciado en la Tabla IIb donde se muestran las dosis empleadas en el proceso las que a su vez fueron comparadas con las empleadas por el laboratorio para la determinación de la eficacia de la prueba de jarra efectuada en esta fecha.

Correlación de los resultados de la prueba de la jarra con los obtenidos en el proceso.

Tabla IIc. Dosis empleadas en el proceso.

Hora mg/l	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	Final.
Sulf.	22.1	24.0	21.8	23.9	23.2	24.2	24.13	23.7	23.2	24.0	24.3	24.5	22.32
Floc.	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.15
Cal.	5.1	5.6	5.7	5.5	5.4	5.6	5.6	5.5	5.4	5.6	5.6	5.7	5.53
Cloro.	1.93	2.1	2.1	2.0	2.0	2.1	2.1	2.0	2.0	2.1	2.1	2.1	2.0

Tabla II d . Valores promedio del agua filtrada.

Muestra	Análisis	Valor promedio.
PA-7	Color	16
	Turbidez (NTU)	0
	Aluminio (mg/l)	0.412
	pH	7.80
	Cloro (mg/l)	0.35

La Tabla 2d muestra los valores de los parámetros analizados para el agua filtrada y existe correspondencia con los obtenidos en la prueba de la jarra. Esto deja ver que en efecto, la prueba realizada por el laboratorio cumple el objetivo de poder establecer una dosis óptima para el tratamiento del agua para el consumo humano. En este caso específico puede verse como la turbidez se mantuvo con un valor promedio de cero; lo que permite concluir que para las condiciones del agua de entrada de esa fecha, el procedimiento llevado a cabo respaldado por los ensayos de la mesa de floculación, reportan valores que permiten declarar, junto a los demás parámetros controlados por la planta, el agua filtrada como potable.

3ra Prueba

Tabla IIIa. Propiedades físicas del agua cruda.

Agua cruda	
Turbidez (NTU)	77
Color (Pt/Co)	414
pH	7.60

Tabla III b. Dosis de reactivos

en la prueba de la jarra.

Jarra	1	2	3	4	5	6
AlSO ₄ (mg/l)	18	22	25	28	33	35
Cal (mg/l)	15	15	15	15	15	15
Floculante A-130 (mg/l)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Turbidez (NTU)	58	17	10	6	2	4
Color (Pt/Co)	327	88	52	33	8	14
pH	8.59	7.38	7.68	7.50	7.70	7.57

La prueba de la jarra realizada el día 16 mayo del 2005, se efectuó para unas condiciones de turbidez de 77 N.T.U., y un índice de color de 414. (Pt/Co). Se aplicaron 6 ejemplos, con diferentes dosis de sulfato, floculante y de cal, fueron tomadas dosis iguales para cada jarra. Para determinar la dosis de reactivos, se tuvo en cuenta que esta fuera capaz de mitigar los valores de la turbidez y el color en el agua tratada, con un empleo mínimo de sustancias añadidas. Con la base de este principio, resultó seleccionada la jarra No. 5, la cual reportó valores de turbidez y color bajos, que aunque fueron obtenidos con la adición de altas cantidades de reactivos, son los que se encuentran dentro de las normas de estos parámetros para aguas potables.

Correlación de los resultados de la prueba de la jarra con los obtenidos en el proceso.

Con los valores determinados por el laboratorio en la prueba de la jarra, se dosificó el agua de entrada a la planta en la fecha citada en el proceso a escala normal (Tabla IIIb). Los valores de los reactivos empleados no se mantuvieron de forma estable debido a los cambios de las propiedades del agua durante ese día. Aunque el comportamiento de las dosis no fue el mismo para cada una de las horas de duración del proceso, si se puede observar que los cambios de los valores se desarrollaron dentro de un rango que se corresponde con las dosis determinadas en la mesa de floculación.

Tabla III c. Propiedades físicas del agua filtrada.

Muestra	Análisis	Valor promedio.
PA-7	Color(Pt/Co)	2.66
	Turbidez (NTU)	1
	Aluminio (mg/l)	0.175
	pH	7.23
	Cloro (m g/l)	0.466

Como resultado del empleo de las porciones predeterminadas para las características del agua de entrada, resultó que los valores de turbidez y color se mantuvieron por debajo incluso, de los obtenidos en el agua tratada durante la realización de la prueba de la jarra este día. Al lograrse estos efectos en el agua filtrada, puede concluirse que los ensayos efectuados en esta fecha para las condiciones de color, turbidez y pH, descritas en la Tabla IIIc, fueron llevados a cabo con tal efectividad que permite emplear el método de la prueba de la jarra como un controlador del proceso de floculación y regulador de las dosis a emplearse para circunstancias similares con el agua de entrada.

Análisis físicos y químicos correspondientes a cada proceso durante la potabilización de las aguas.

El control permanente de la calidad del proceso de potabilización de las aguas en la Planta Potabilizadora es una necesidad de carácter inmediato. Esta tarea está amparada en los análisis que se le practican constantemente lo mismo al agua de entrada a la planta (PA-2), como al agua clarificada (PA-7).

Las muestras tomadas son llevadas al laboratorio donde son evaluadas. Al agua cruda se le realizan análisis de dureza, turbidez, color, pH y metales disueltos. Tal como se muestra en el gráfico analítico representado en los anexos. Por otra parte, al agua clarificada se le realizan los análisis mencionados más aquellos que comprenden el control del cloro.

Diariamente son analizados los parámetros siguientes: Alcp, Alcm, pH, Dca, Dmg, DT, Fe, MO, Cl⁻, Zn, SO₄, Al, Mn, SiO₂, ST, Conductividad eléctrica, Ni, Ca, Mg, Cr⁶⁺, Temperatura, Crt, NO₂, NO₃, NH₄, CO₃, HCO₃, Hg, Na, Cu, S.S, Turb, Color.

Esta operación se realiza para cada turno de trabajo, manteniendo de este modo un control estricto sobre las condiciones físico-químicas del agua de entrada (PA-2), del agua de salida (PA-7) y por consecuencia de la calidad del proceso de tratamiento que se lleva a cabo en la Planta Potabilizadora.

Los valores de color, conductividad, STD y % de salinidad se mantienen en los valores admisibles para ser utilizada para el consumo humano.

Tabla IV. Propiedades físicas del agua filtrada.

Mes	pH	Conductividad (μs/cm ⁻¹)	Turbidez NTU	Color Esc.Pt/Co	Salinidad %	S.T.D (mg/l)	M.Org (mg/l)
Marzo	7.562	177.7	1.097	2.462	0.00	71.85	0.97
Abril	7.55	165.72	1.509	2.391	0.00	67.698	0.91
Mayo	7.42	129.25	1.25	4.415	0.00	53	1.05

Tabla V. Propiedades químicas del agua filtrada.(mg/l)

Mes	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	D.total mg/l	D.Calc mg/l	D.Mag. mg/l	M. Orgánica
Marzo	4.94	17.13	0.4	0.2	85.77	0	0.002	0.001	14.66	8.543	72.08	12	70	0.972
Abril	4.86	16.89	0	0	67.92	0	0.001	0.002	14.21	9.84	78.19	12.23	66.64	0.9
Mayo	5.99	13.36	0	0	33.15	0	0.0049	0.001	13.22	14.03	70.0	15.17	54.9	1.05

Los elementos naturales de las aguas se mantienen dentro de límites admisibles para consumo, los elementos indicadores de contaminación como nitrito y nitrato se encuentran en concentraciones trazas. (Tabla V),

El origen de la presencia de los metales pesados en las aguas superficiales se puede asumir como consecuencia de la litología de la zona y el arrastre de sedimentos ricos en estos elementos frecuentes en las áreas de minería a cielo abierto durante los períodos de precipitación, influencia de las aguas residuales de la Planta de Preparación de Pulpa de la Empresa Pedro Soto Alba, aumentando la turbidez y los sólidos en suspensión de las aguas del río que trae aparejado un aumento en las propiedades del agua. (Tabla VI).

Tabla VI. Propiedades químicas del agua Filtrada.

Mes	Elementos minoritarios (mg/l)								
	Ni	Co	Fe	Mn	Cu	Al	Zn	SiO ₂	Cr ⁶⁺
Marzo	0.001	0.001	0.118	0.00	0	0.149	0	14.45	0.017
Abril	0.006	0.0012	0.103	0.00	0	0.163	0	14.24	0.015
Mayo	0.008	0.001	0.102	0.00	0	0.252	0	8.15	0.043

Evaluación del Cloro Residual

La cloración es una alternativa para la desinfección del agua ampliamente difundida en diferentes países, dado que constituye la tecnología más conocida por su eficacia, costos de su aplicación, por ser histórica y epidemiológicamente comprobada.

El cloro se utiliza continuamente en la desinfección del agua. Está ampliamente comprobado que la aplicación del cloro en los procesos de desinfección, ha tenido un efecto positivo en la salud humana. Enfermedades como la tifoidea, el cólera, la disentería, amebiasis salmonellosis, shigelliosis y hepatitis A, han decrecido en los últimos 80 años por efecto de la cloración. (Aguilar, M. 2004).

Las concentraciones de cloro residual en la Planta Potabilizadora durante el muestreo varían desde 0.2-0.7 mg/l en el mes de Marzo, desde 0.3-0.5 mg/l en el mes de Abril y desde, en el mes de Mayo, mostrando así, la inestabilidad durante el proceso de dosificación de cloro

Análisis Bacteriológicos.

Existe un grupo de enfermedades conocidas como enfermedades hídricas, pues su vía de transmisión se debe a la ingestión de agua contaminada.

Es entonces conveniente determinar la potabilidad desde el punto de vista bacteriológico.

Los coliformes fecales y E. Coli son bacterias cuya presencia indica que el agua podría estar contaminada con heces fecales humanas o de animales. (García Jhon, E. 1996). Los microbios que provocan enfermedades (patógenas) y están presentes en las heces, causan diarreas, cólicos, náuseas, cefaleas u otros síntomas. Estas representan un riesgo para la salud de los bebés, niños pequeños y personas con sistema inmunológico gravemente comprometido. En las aguas tratadas desde el punto de vista bacteriológico, según los resultados obtenidos, no existe la presencia de Bacilo Coli en las muestras analizadas, los NMP x 100 ml son de -2.2.

Las aguas analizadas se clasifican según O. A. Aliokin. (De Miguel F.C. 1999)

Por su pH en estas muestras oscila entre 7.4-7.7, caracterizándose por ser un agua neutra débilmente básica.

Por su dureza. Marzo y Abril: Blandas y en el mes de mayo aguas muy blandas.

Contaminación Salina: Agua Normal.

Por su mineralización: Agua Dulce.

Por su composición química: Hidrocarbonatadas magnésicas de tercer tipo.

Medidas de control de la calidad en el proceso de tratamiento.

Para obtener un agua filtrada con calidad en la Planta Potabilizadora se toman una serie de medidas como son:

- ✚ Optima dosificación de reactivos químicos (Aluminato de Sodio, Sulfato de Aluminio y Cloro) en el proceso de tratamiento de agua.
- ✚ Control y periodicidad en el lavado de los filtros.
- ✚ Muestreo y control de las propiedades del agua en cada proceso.
- ✚ Estrecha relación del laboratorio con el turno de trabajo para la dosis optima utilizar en el proceso
- ✚ Control estricto de la dosificación del cloro en las aguas tratadas y cloro residual en las aguas filtradas de los tanques de almacenamiento.

CONCLUSIONES.

Una vez analizados todos los resultados obtenidos y realizada su correspondiente interpretación se arribó a las siguientes conclusiones:

1. Las condiciones de pH, turbidez y color en el agua de entrada al proceso de potabilización (agua cruda), se mantienen generalmente equilibradas durante el periodo de seca y sufren las mayores variaciones en el tiempo lluvioso, alcanzando valores que exigen un consumo elevado de reactivos para mitigar sus efectos.
2. La dosificación óptima y la eficiencia de los diferentes procesos de tratamiento (coagulación, floculación, sedimentación, filtrado y desinfección) son controlados por el laboratorio y el personal de operación de la Planta.
3. Según los resultados bacteriológicos el agua potabilizada cumple con los parámetros requeridos para el consumo de la población, con resultados negativos de Coliformes totales y fecales x 100 ml de agua. (-2.2 NMP X 100 ml).

El proceso de desinfección llevado a cabo en la Planta consta de dosis establecidas capaces de eliminar los organismos patógenos en el agua tratada sin provocar efectos dañinos a la salud humana. Los índices del cloro residual en el agua filtrada se mantienen dentro de los límites para agua potable (Fernández, M. 2003); (Aguilar, M.2004) y (Norma oficial Mexicana Nro12-SSA1-1993)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR, M. Evaluación del cloro residual en las aguas de consumo humano en el municipio de Moa. Trabajo de Diploma. 2004. ISMM. Moa.
- APHA, AWWA, WEF. Standard methods for examination of wastewaters descrii.I.S.A.E.Greeberg y A.D.S.Eaton (editors).9ed.1995.
- DE MIGUEL FERNANDEZ, CONSTANTINO. Hidrogeología Aplicada. La Habana, 1999.
- El uso del cloro en la desinfección del agua [2005-03-15]. Disponible en:
<http://www.edu.tatspr.com.proyectos/inv97-98-II-3-pdf>.

- FERNANDEZ, M. Evaluación de la calidad de las aguas de consumo humano en la zona urbana de la ciudad de Moa. Tesis de Maestría. 2003. ISMM. Moa.
- GARCIA JHON, ENRIQUE. Método biológico para la evaluación y control de la calidad de las aguas y vigilancia de vertidos. Tecnología del agua, noviembre 1996, 159: 41-47.
- MONTERO, R. Evaluación físico-química de la calidad de las aguas del río Moa desde la presa Nuevo Mundo hasta la desembocadura. Trabajo de Diploma. 2004. ISMM. Moa.
- NC -93-02: 1985 (CUBA). Higiene comunal, Agua potable. Requisitos Sanitarios y muestreo. Aprobada Octubre 1985. Vigente Marzo 1986.
- NC 93-03: 1985 (CUBA). Sistemas de abastecimiento de agua. Requisitos sanitarios. Aprobada Dic. 1985. Vigente Sept. 1986.
- Norma oficial Mexicana Nro12-SSA1-1993 [2005-04-4]. Disponible en:
<http://www.unanl.mx/publicaciones/respyn/ii/1/contexto/normao.12.html>

ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA DARSENA DEL PUERTO DE MOA

Alexander Duran Morales⁽¹⁾, Yamilet Espinosa⁽²⁾

- (1) UB Minera/ Departamento de Geología. Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, Carretera Moa Baracoa Km 5. Moa-Holguín. Cuba. Pizarra:6-8012. Fax: 6-2240
Aduran@ecg.moa.minbas.cu
- (2) UB Puerto/Departamento de medio ambiente. Empresa Puertuaria Orestes Acosta.
Yespinosa@epm.moa.minbas.cu

RESUMEN

El presente trabajo titulado Estudio de la Calidad del agua de la dársena del Puerto de Moa, se realizó con el objetivo de conocer el grado de afectación de las mismas bajo la influencia de la intensa actividad antropogénica que tiene lugar en su entorno.

Se realizaron trabajos de campo, dentro de los cuales se destacaron el reconocimiento del área de estudio, logrando realizar el inventario de los principales focos contaminantes. Se describen los principales efluentes y se propone una red de monitoreo para el muestreo de los efluentes que vierten a la Bahía y de las aguas localizadas en la dársena. Se tomaron muestras de aguas en los efluentes y aguas de mar en el período comprendido entre los meses de Enero y Febrero del 2005, las cuales fueron analizadas en el laboratorio Capitán Alberto Fernández Montes de Oca perteneciente al centro de Investigación del níquel en Moa. Con las técnicas de Espectrometría de Absorción Atómica (EAA) se determinaron la concentración de metales pesados en las mismas, con el método Electrométrico se determinó el pH en las muestras de agua y con el método gravimétrico se determinó los siguientes elementos: Metales pesados (Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn), pH, SO₄, contenido de aceite y grasa, Sólidos Disueltos, Sólidos totales y Sólidos en Suspensión.

Según los resultados de los análisis de aguas de mar los valores de pH en la totalidad de los puntos de monitoreos evaluados poseen valores por encima de los establecidos, Los sólidos totales alcanzan valores altos, alcanzando para el mes de enero desde 39 276 mg/l en la estación No 5 perteneciente a la planta de Carbón hasta y 48 468 mg/l para la estación No 2 perteneciente al Litoral A., así como los sólidos disueltos.

ABSTRACT

The present work titled Study of the Quality of the water of the basin of the Port of Moa, one carries out with the objective of knowing the grade of affectation of the same first floor the influence of the intense activity anthropogenic that takes place in their environment.

They were carried out field works, inside which stood out the recognition of the study area, being able to carry out the inventory of the main polluting focuses. The main effluents is described and he/she intends a monitored net for the sampling of the effluents that you/they pour to the Bay and of the waters located in the basin. they took samples of waters in the effluent's and seawaters in the period understood between the months of January and February of the 2005, which were analyzed in the one in the laboratory Captain Alberto Fernández Mounts of Goose belonging to the center of Investigation of the nickel in Moa. With the techniques of Spectrometry of Atomic Absorption (EAA) the concentration of metals weighed in the same one were determined, with the method Electrometric you determines the pH in the samples of water and with the method gravimetric you determines the following elements: Heavy metals (Co, Cu, Faith, Mn, Neither, Pb, Zn), pH, SO₄, content of oil and fat, Dissolved Solids, total Solids and Solids in Suspension.

According to the results of the analyses of seawaters the pH values in the entirety of the points of evaluated monitored possess values above the established ones, The total solids reach high values, reaching for the month of January from 39 276 mg/l in the station Not 5 belonging to the plant of Coal until and 48 468 mg/l for the station Not 2 belonging to the Coast A., as well as the dissolved solids.

INTRODUCCION

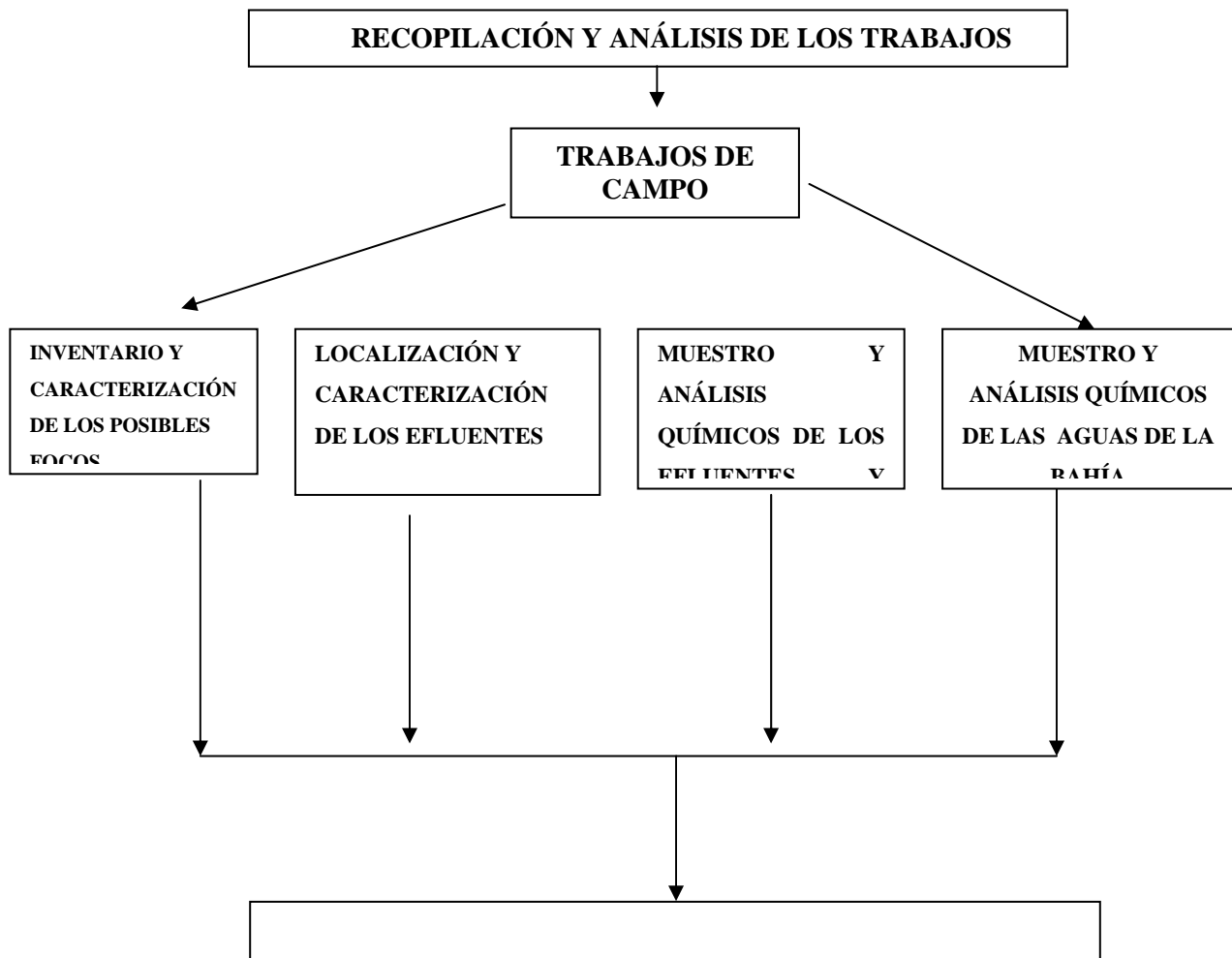
El vertedero final para una gran parte de nuestros desechos es el océano. A él van a parar gran parte de los vertidos urbanos e industriales. No sólo recibe las aguas residuales, sino que, en muchas ocasiones, se usa para arrojar las basuras o incluso, los residuos radiactivos.

El 80% de las sustancias que contaminan el mar tienen su origen en tierra. De las fuentes terrestres la contaminación difusa es la más importante. Incluye pequeños focos como tanques sépticos, coches, camiones, etc. y otros mayores como granjas, tierras de cultivo, bosques, etc. (Cesigma, 1997)

La problemática ambiental actual del Puerto de Moa está localizado en el proceso de atarquinamiento del canal de entrada al mismo, como consecuencia del excesivo aporte de sedimentos que a él llegan, además de los concebidos impactos ambientales provenientes de toda la actividad económica que se ejecuta tanto en el propio puerto como en áreas aledañas, por ejemplo la contaminación atmosférica por gases y polvos provenientes de las fábricas, la contaminación de las aguas por los residuales líquidos y sólidos y demás actividades económicas (prospección y extracción de minerales

Dentro de las problemáticas latentes y que inciden sobre la calidad de las aguas de la bahía radica la localización en zonas aledañas a la costa de depósitos de sustancias tóxicas, fuentes potenciales de contaminación, entre estos se encuentran el azufre de forma sólida y líquida, se recibe ácido sulfúrico, LPG (liquid petroleum gas), pulpa de coral, carbón y la base de combustible localizado en el campo de boyas.

MATERIALES Y METODOS



RECONOCIMIENTO DEL AREA DE ESTUDIO

- Se realizan observaciones del estado natural actual del relieve y la vegetación del área, lo que nos da un índice del grado de erosión y posibles aportes de sedimentos a la Bahía.
- También se realizan trabajos de reconocimiento a partir de los cuales se efectúa el inventario de los principales focos contaminantes que pueden por sus características afectar en un momento determinado la calidad de las aguas de la Bahía.
- Se describen los principales efluentes, caracterizando los mismos desde el punto de vista de su composición físico química, procedencia, lugar de descarga.
- Con estos resultados se establecerán los puntos de monitoreo en el mapa de datos reales. Se realizará el inventario y mapeo de los posibles focos de contaminación, caracterizando los mismos según sus particularidades fisicoquímicas y posibles vías de incorporación al medio circundante.

TOMA DE MUESTRA EN LOS EFLUENTES

Se tomarán 9 muestras líquidas y 9 de sedimentos de fondo para su posterior análisis en el laboratorio Capitán Alberto Fernández Montes de Oca perteneciente al centro de Investigación del níquel. Los elementos a determinar a las muestras líquidas serán: Metales pesados (Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Ce), pH, SO₄, contenido de aceite y grasa, Sólidos Disueltos, Sólidos totales y Sólidos en Suspensión. En el caso de las muestras de sedimentos los elementos a determinar serán: Co, Cu, Fe, Mn, Mg, Ni, Pb, Zn. Los métodos a emplear para determinar estos elementos químicos son: Espectrometría de Absorción Atómica (EAA) para metales pesados, Electrométrico para determinación de pH en las muestras de agua y Gravimétrico para la determinación de SS, ST y SD.

TOMA DE MUESTRA EN LAS AGUAS DE LA DARSENA

Para el análisis de las aguas en la Dársena se tomarán en rango de muestra comprendido entre los meses de Octubre del 2004 a Marzo del 2005. En cada estación se tomarán muestras de agua con pomos de cristal del 1L, a 60 cm. por debajo de la superficie. Para la caracterización fisicoquímica de las aguas de la bahía se tomarán un total de 91 muestras en toda el área de estudio, las mismas se tomarán en diferentes puntos de monitoreo se realizará un volumen de 15 determinaciones fisicoquímicas. Los elementos químicos a determinar en las aguas de la dársena y los métodos empleados para su determinación, aparecen en la tabla (2.2.4)

Se realizó el monitoreo hidroquímico, tomando las muestras de agua en la red de estaciones previstas, de forma tal que abarque toda la zona de interés. Las mismas son:

- Estación 1: Litoral A
- Estación 2: Litoral B
- Estación 3: Litoral C
- Estación 4: Piscina cieno carbonatado
- Estación 5: Planta de Carbón
- Estación 6: Descarga de aguas oleosas
- Estación 7: Muelle –1
- Estación 8: Muelle –2
- Estación 9: Planta de suministro.

Tabal No 2.2.4 Determinaciones fisicoquímicas y métodos empleado en las muestras de agua de la Dársena.

No.	Determinación	Simbología	Estaciones	Método de análisis químico
1	pH	pH	1,2,3,4,5,6,7 y 8	Electrométrico
2	Sólidos en suspensión, Sólidos Total y Sólidos Disueltos	SD, ST y SD	1,2,3,4,5,6,7 y 8	Gravimétrico
3	Ni, Co y Fe	Ni, Co y Fe	1,2,3,4,5,6,7 y 8	Espectrofotometría de Absorción Atómica
4	SO ₄ ²⁻	SO₄²⁻	1,2,3,4,5,6,7 y 8	Gravimétrico
4	Conductividad	Cv	1,2,3,4,5,6,7 y 8	Electrométrico
5	Agua y aceite	A y G	9	
6	Hidrocarburos	Hidroc	9	

PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

El manejo y estudio de análisis químicos puede simplificarse con el empleo de gráficos y diagramas, así como la aplicación de diferentes clasificaciones, en especial cuando se trata de hacer comparaciones entre varios análisis de aguas de un mismo lugar en épocas diferentes o de diferentes lugares.

Según la Norma Cubana del 2003(**Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas-especificaciones**), definen una clasificación que consideramos de importancia para el desarrollo de nuestro trabajo, la misma es:

➤ **Clasificación cualitativa de los cuerpos receptores marinos.**

A los efectos de esta norma los cuerpos receptores se clasificarán cualitativamente según su uso de la forma siguiente:

- **Clase A:** Áreas marinas de zonas de conservación ecológica, o áreas protegidas o áreas de corales.
- **Clase B:** Áreas marinas dedicadas al baño y donde se realizan actividades recreativas en que las personas entran en contacto con el agua.
- **Clase C:** Áreas marinas donde se desarrolla la pesca.

- **Clase D:** Áreas marinas cuyas aguas se toman para uso industrial como en la generación de energía.
- **Clase E:** Áreas marinas en bahías donde se desarrolle la actividad marítimo - portuaria.
- **Clase F:** Áreas marinas para la navegación y otros usos.

Tabla No. 2.3.1 Límites máximos permisibles promedio para el vertimiento de aguas residuales según la clasificación del cuerpo receptor.

		Clase del cuerpo receptor					
Parámetros	UM	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
pH	Unidades	6,0-9,0	No	6,0-9,0	6,0-9,0	5,0-10,0	*
Temperatura	°C	N.I	No	N.I	N.I	40	*
Grasa y aceite	Mg/l	0,5	No	0,5	0,5	5	50
Materiales Flotantes	ausentes	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	*
Sólidos sedimentables	ML/l	1	No	10	10	5	*

N.I: No se incrementará el tenor medio natural del cuerpo receptor marino

No: No se realizará vertimiento alguno

NORMAS UTILIZADAS PARA EFLUENTES:

La norma utilizada para determinación de las concentraciones de elementos en los efluentes se realizó a través de la norma canadiense, la cual expresa lo siguiente:

Las emisiones de efluentes líquidos son tema crucial pues la mayoría de los efluentes líquidos se incorporan al medio ambiente marino.

Canadá: La concentración media aritmética permisible mensual del total de **Ni** insoluble en un efluente es de aproximadamente 0.5 mg/L, según las regulaciones de la Metal Mining liquid Effluent Regulation and Guidelines (MMLER).

Bajo las regulaciones de la MMLER, las sustancias nocivas son designadas como: Cobre, Plomo, Níquel, Arsénico, sólidos suspendidos totales (TSS).

Los niveles de sustancia autorizados en los efluentes líquidos provenientes de las explotaciones bajo las regulaciones de la MMLER se muestran en la siguiente tabla.

Tabla No 2.3.2 Niveles máximos autorizados de sustancias bajo regulaciones de MMLER

Determinaciones	Concentración media aritmética mensual mg/l	Concentración en una muestra compuesta mg/l	Concentración de una sustancia en una muestra simple mg/l
Arsénico	0.5	0.75	1.0
Cobre	0.3	0.45	0.6
Plomo	0.2	0.3	0.4
Níquel	0.5	0.75	1.0
Zinc	0.5	0.75	1.0
TSS	25.0	32.5	50.0
pH	6.0	5.5	5.0

Tabla No 2.3.2 Límites establecidos para efluentes líquidos

Elementos	Límites
Temperatura	< 65 ⁰ C
pH	6.0 < pH < 10
Petróleo y Grasa	30.0 mg/l
Arsénico Total	1 mg/l
Cadmio Total	2 mg/l
Cromo Total	5 mg/l
Cobre Total	5 mg/l
Plomo Total	2 mg/l
Níquel Total	5 mg/l
Estaño Total	5 mg/l
Zinc Total	10 mg/l

DISCICION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

1. Focos contaminantes localizados en el área

Durante el trabajo de campo fueron inventariados un número considerable de focos contaminantes que a través de efluentes se incorporan a la Dársena, estos se relacionan a continuación.

✓ Planta de derretimiento de azufre y secado de sulfuros:

El azufre se importa de forma sólida, granulado, en ocasiones se recepciona ácido sulfúrico (líquido) por el muelle 1. En el trasiego del azufre (con el cubo de la grúa) desde la plataforma hasta el embudo de los derretidores, se esparce por la atmósfera gran cantidad

de finos, estos también se originan durante el traslado con camiones desde el muelle hasta la plataforma. También durante la descarga del azufre al muelle se vierte al mar cantidad formando una capa en suspensión.

El vertimiento del azufre líquido a cualquier parte del área de derretimiento se hace a una temperatura de alrededor de 130 grados centígrados y se origina por salideros en las líneas de drenaje, solidificándose posteriormente.

Lo desechos de aguas de lavado con pequeñas concentraciones de metales pesados, presentan los siguientes valores promedios:

pH- 2,64

Ni- 0.337 (en disolución)

Co- 0.0238 (en disolución)

✓ **Planta de esperadores de coral**

Los yacimientos se localizan en las cercanías de Cayo Moa y son extraídos mediante una grúa flotante. El traslado hacia la dársena se realizan en remolcadores, depositándose posteriormente en la planta lavadora o en u área a cielo abierto cuya capacidad de almacenamiento es de 600 t. Anualmente se manipulan alrededor de 240 000 t.

Durante la recepción y tamizaje de la pulpa de coral extraída de los cienos coralinos, se producen derrames al mar por desbordamiento del depósito o el traslado con el cubo de la grúa hasta el embudo, aportando grandes cantidades de carbonato al agua de la dársena.

El agua de lavado, ligeramente turbia por arrastre de pequeñas porciones de carbonato, que se origina cuando se lava la pulpa de coral para eliminar el exceso de cloruro se vierte al mar.

✓ **Planta de preparación del carbón (antracita)**

Se localiza a la entrada de la dársena en su extremo noroeste. El carbón se decepciona por el muelle No. 2. Descargándose directamente a camiones BELAZ de 40 t. El mismo es transportado hacia el área de la planta y lo depositan a cielo abierto. Durante el proceso de trituración el agua de lavado del mismo escurre hacia el mar, llevando consigo grandes cantidades de partículas que se concentran en las costas. La turbidez oscura del agua de mar en esa zona, esta sujeto al agua que sale del proceso de trituración del carbón, que a su vez vierte los desechos a una piscina donde es almacenado las partículas mas gruesa del proceso, la misma por no contar con un sistema de trapa adecuado para estos casos, lo que implica que grandes cantidades de sedimentos sólidos son incorporado al medio marino. Se pudo observar además el cierto nivel de acumulación del material ya procesado cubierto de vegetación, por lo que infiere la lentitud en el traslado de esa materia hacia la fábrica.

✓ **Base de amoniaco:**

El amoniaco al 99,9% es descargado y bombeado desde el muelle No 1. Hasta los depósitos de la base, se procesa en la planta productora de hidrosulfuro amoniacal y agua amoniacal almacenándose en 15 y 2 balas respectivamente. Posteriormente se traslada en pilas especiales hasta la fabrica CPSA quien a su vez le sirve una parte a la fabrica CECG. Resulta valido para este gas, dada las características de su expulsión a la atmósfera libre, el quedar con frecuencia confinado al espacio por debajo de la base de inversiones nocturnas en la zona deprimida de Rolo Monterrey hacia el interior. En tales condiciones bajo la influencia del terral los contaminantes pueden quedar estancados o ser trasladados muy lentamente hacia NE creando una extensa área bastante homogénea de concentraciones en esa dirección.









✓ **Base de combustible**

Al este del canal de entrada al puerto se localiza el campo de boyas provisto de barreras flotantes para caso de derrames. El proceso de descarga del fuel – oil se inicia empleando una tubería submarina de 980 m. de extensión y otra área de 2 200 m. de largo, con un diámetro de 24 pulgadas cada una, trasladando el combustible hasta la base.

El los últimos años se han reportado 2 accidentes de media magnitud: En una ocasión se derramo el combustible de uno de los tanques y la otra consistió en el desprendimiento de la conexión de la tubería submarina con el barco, lo que afecto una parte del ecosistema marino en esa área.

LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACION DE LOS EFLUENTES

Durante la investigación se localizaron 8 afluentes provenientes de los diferentes focos de contaminación que según las observaciones desembocan en su totalidad en la Bahía afectando la calidad de sus aguas. Estos son:

-  **Efluente 1:** Descarga de agua oleosa proveniente de la base de petróleo
-  **Efluente 2:** Descarga de agua oleosa proveniente de los talleres.
-  **Efluente 3:** Descarga de agua residual proveniente de la planta de secado de Sulfuro de Níquel.
-  **Efluente 4:** Descarga de aguas residuales provenientes de la planta de coral.
-  **Efluente 5:** Descarga de agua oleosa proveniente de la presa de cola de la Fabrica Pedro Soto Alba.
-  **Efluente 6:** Descarga de agua residual proveniente de la planta de Carbón mineral.
-  **Efluente 7:** Descarga de aguas residuales Proveniente de la torre de coral
-  **Efluente 8:** Descarga de agua proveniente del Río Moa.

CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES CON LOS RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS QUE SE HARÁN EN EL CINIQ.

Efluente 1: Descarga de agua oleosa proveniente de la base de petróleo.

Este efluente corre de Sur a norte proveniente de la base de petrolero así la bahía, en el cual arrastra consigo todo tipo de contaminantes (Aceite, Grasa, hidrocarburos y metales pesados), que son nocivos para la contaminación tanto de la bahía y la dársena.

Efluente 2: Descarga de agua oleosa proveniente de los Talleres.

Este efluente proviene de los talleres de transporte y desemboca directamente a la dársena entre el muelle 2 y el muelle 1, el mismo en su recorrido pasa por la planta de derretimiento de azufre por lo que se incorporan concentraciones de sulfatos proveniente de la planta cuando la misma se encuentra en funcionamiento.

Efluente 3: Descarga de agua residual proveniente de la planta de secado de Sulfuro de Níquel.

Este efluente proviene de la planta de secado de sulfuro de Níquel, el mismo hace su descarga directamente a la dársena entre el muelle 1 y dos, también se le incorporan durante su recorrido hacia la misma elementos como el SO_4 , proveniente de la planta de azufre por estar próxima a la misma.

Efluente 8: Descarga de agua proveniente del Río Moa:

El río Moa, como foco contaminante mas importante de la zona costera a donde van a parar residuales de la actividad minera, ademas del vertimiento de la WL (licor residual), el cual es vertido por la Fabrica Pedro Soto Alba así el río cabaña y este a su vez lo incorpora al río

Ef	pH	SS	ST	SD	AyG	Ni	Fe	Co	SO4	Cu	Mn	Pb	Zn
1	6.8	22	586	564	558	0.05	1,19	0,01	21,2	0,03	0,095	0,018	0,064
2	3.48	73	4226	427	562	0.933	6.720	0,08	65,0	0,04	3.64	0,046	0,273
3	5.00	83	1808	45		2.35	21.2	0.297	9,05	< LD	16.9	0,046	5.8
4	7,6	172	4256	2240		0.024	0.208	0.06	82,6	< LD	0.015	0.039	0.016
5	6,7	14	4024	410		2.95	45.3	1.33	335,11	0.12	6,18	0.055	0.197
6	8,2	85	284	119		0.13	1,42	0.003	13,6	0.02	0,176	0.027	0.211
7	9.15	36	2980	37767		0.023	0.065	0.010	1576,3	< LD	0.017	0.207	0.024
8	4.3	203	26888	26685		0.76	0,8	0.07	876,0	0,04	8,5	0,208	0,117

Moa donde posteriormente hace su descarga en la desembocadura que se encuentra en la bahía de Moa.

Tabla #1-Reporte de análisis realizados a los Efluentes.

Expresión de los resultados: pH en unidades de pH, el resto en Mg/L

Valores de pH en las estaciones de monitoreo

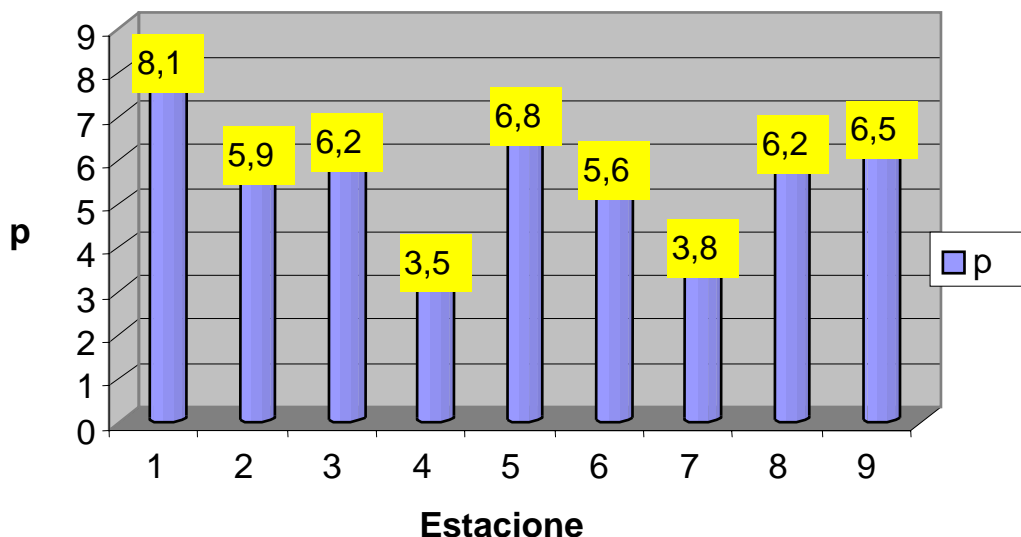


Fig.1-Variación de Ph desde el interior de la dársena hasta la entrada misma del canal.

Concentraciones de Sólidos totales en las Estaciones de monitoreo

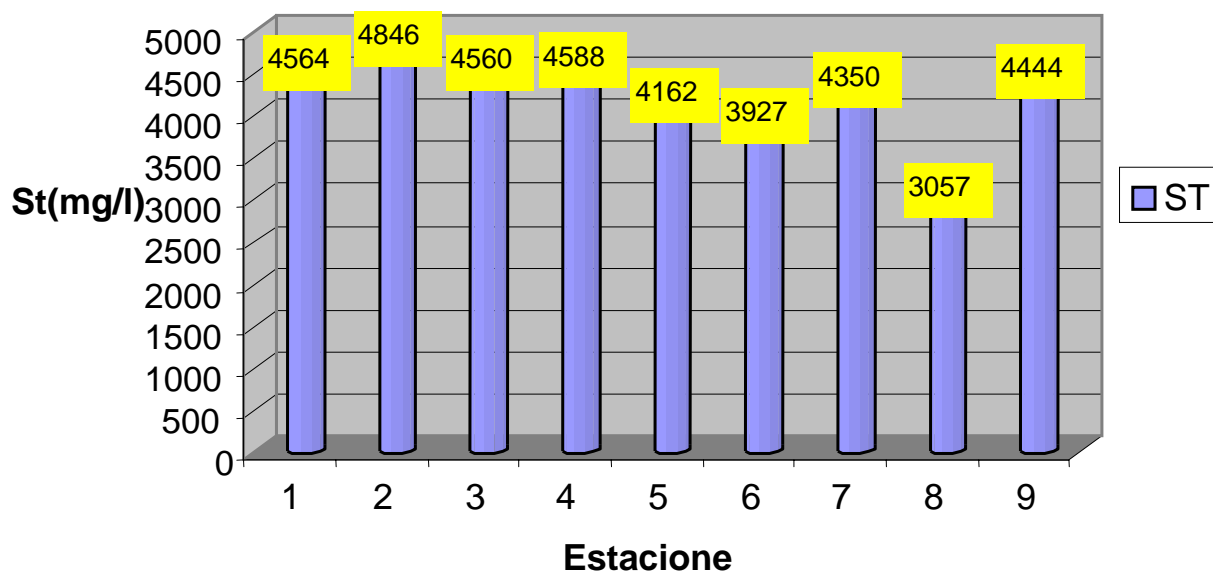


Fig.2.-Variaciones de los sólidos totales desde el interior de la dársena hasta las afueras del canal.

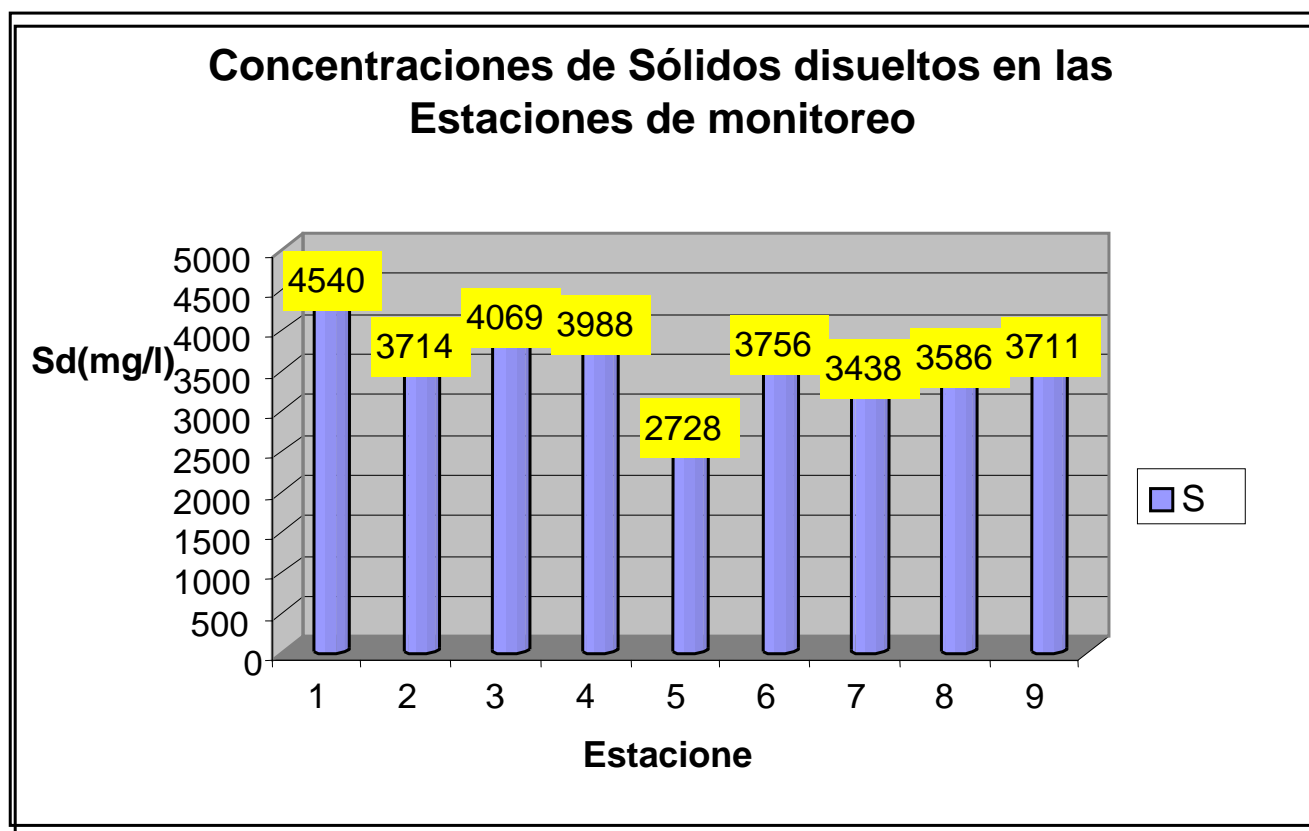


Fig.3- Variaciones de los sólidos disueltos desde el interior de la dársena hasta las afueras del canal.

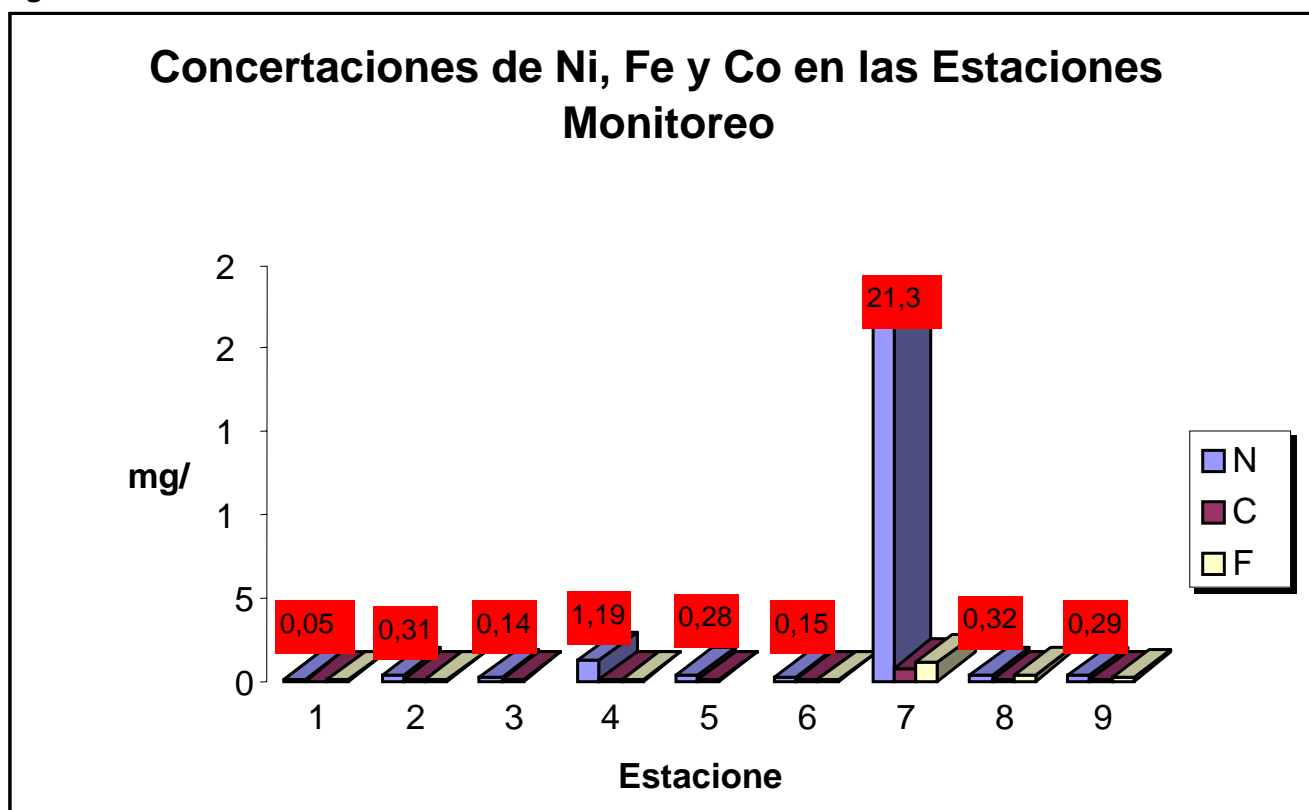


Fig.4- Variaciones de los Metales pesados desde el interior de la dársena hasta las afueras del canal.

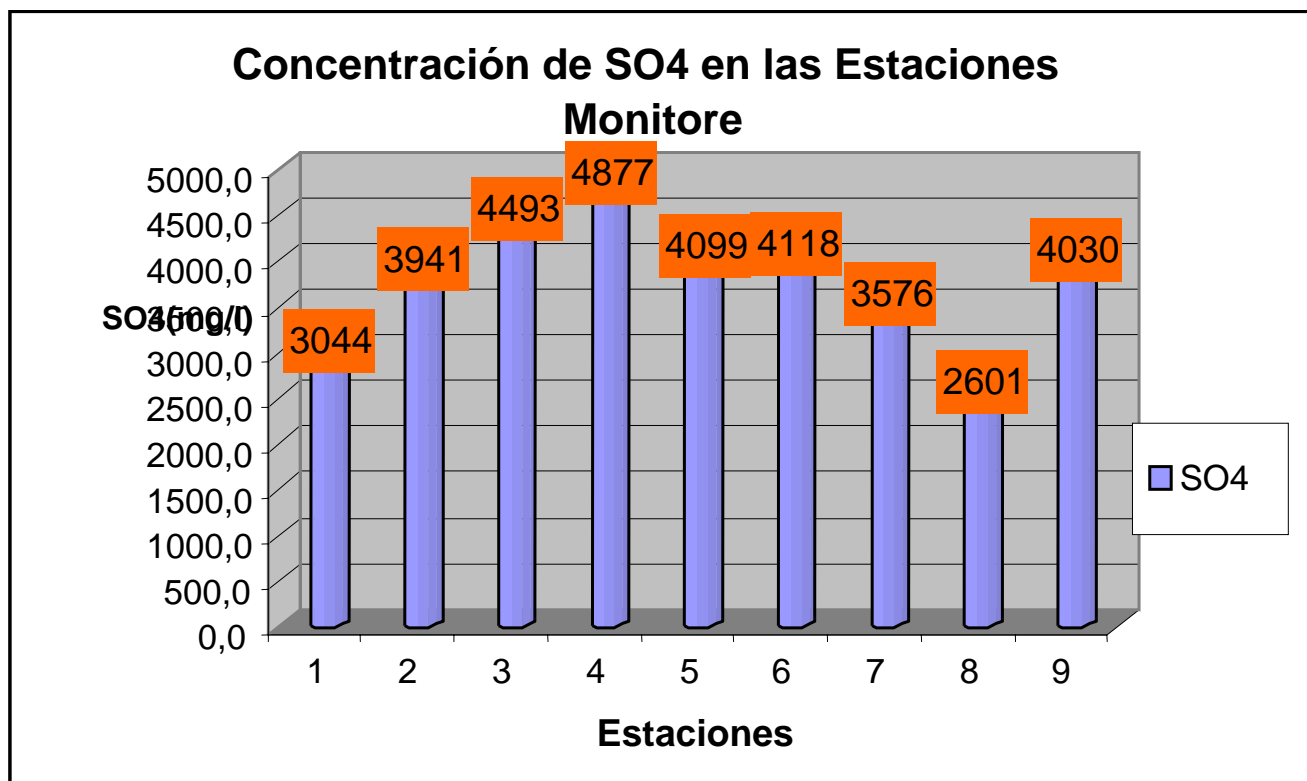


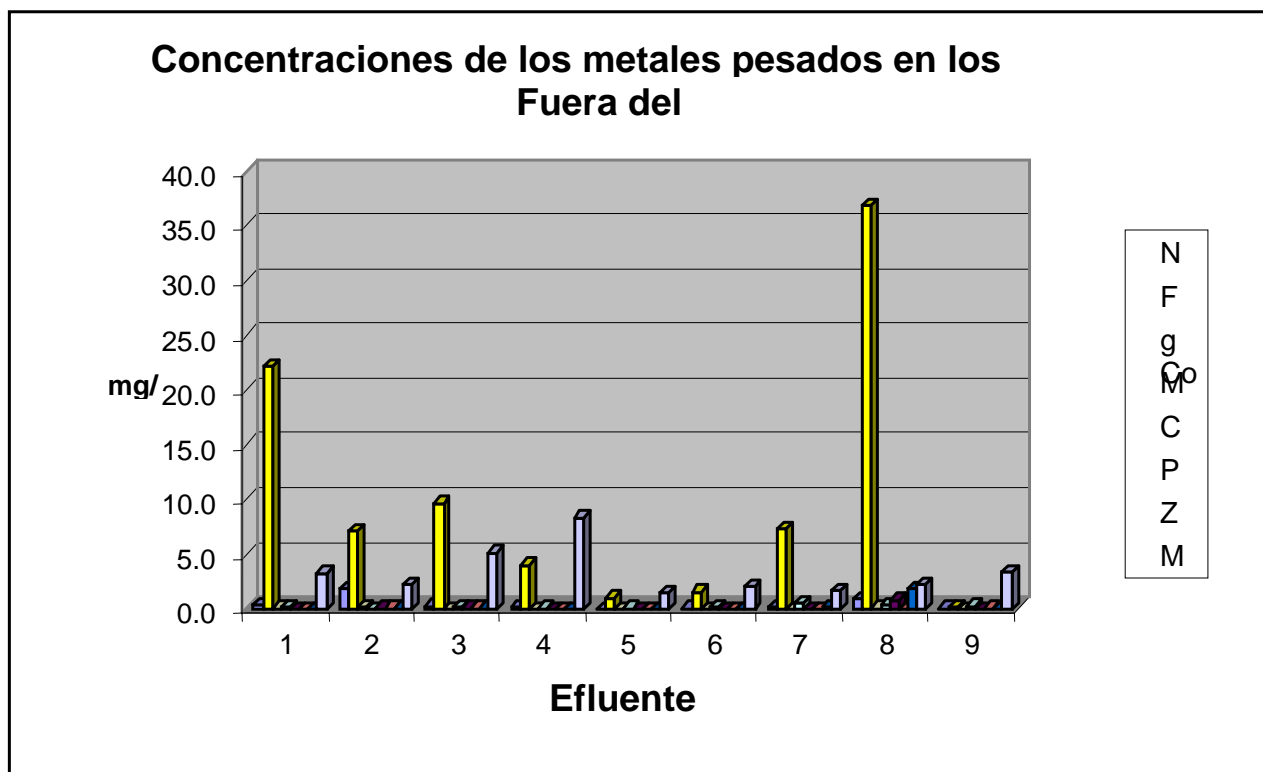
Fig.5- Variaciones del SO₄ desde el interior de la dársena hasta las afueras del canal.

Tabla # 2. Clasificación de las aguas de la dársena Según normas Cubanas

NC XX:2001, NC TS 360: 2002

Parámetros Medios	hidroquimicos	Calidad Buena	Calidad dudosa	Calidad mala
pH: 7,21-4,93				X
Sólidos Totales:35 232 mg/l				X
Ni: 0,72			X	
Co: 0,90				X
Fe: 0,25		X		
SO ₄ : 4112.22 mg/l				

Fig.6-Concentraciones de metales pesados en los sedimento de los diferentes puntos de muestreo en efluentes y en los sedimentos (**Punto de estacion#9**) tomados en la entrada del canal.



CONCLUSIONES

1. Se detectaron en el área de estudio un total de 6 focos contaminantes que afectan la calidad de las aguas de la Dársena. Planta de derretimiento de azufre y secado de sulfuros de Níquel, Planta de esperadores de coral, Planta de preparación del carbón (antracita), Base de amoníaco, Base de combustible, Vertimiento residual del licor residual WL al Río Cabaña.
 - Se localizaron y caracterizaron 8 efluentes constituidos por residuales provenientes de los diferentes focos contaminantes:

Efluente 1: aguas oleosas provenientes de la base de petróleo.
Efluente 2: aguas residuales provenientes de los talleres y planta de derretimiento de azufre.
Efluente 3: aguas residuales provenientes de la planta de secado de Sulfuro.
Efluente 4: aguas residuales provenientes de la planta de Beneficio de cienos Carbonatados
Efluente 5: agua residuales proveniente del Río aeropuerto.
Efluente 6: agua residual proveniente de la planta de Carbón mineral.
Efluentes 7: aguas residuales provenientes de la Planta de Preparación de Pulpa de cienos carbonatados
Efluente 8: agua residual proveniente del Río Moa.
2. Los valores de pH en la totalidad de los puntos de monitoreos evaluados poseen valores por encima de los establecidos, influenciando por el vertimiento de la WL y los residuos de la planta de secado de sulfuro de níquel que son descargados en un afluente que se encuentra al noreste de la dársena y sus aguas al descargarlas al mismo presentan valores de pH de 1.28, afectando directamente al efluente y este a su vez a la dársena, considerándose en su totalidad como aguas ácidas.
3. los sólidos totales y los sólidos disueltos alcanzan valores altos, producto a la Planta de Carbón, a la planta Esperadora de coral y en gran medida al arrastre de gran volumen de sedimento proveniente del río Moa.
4. Las concentraciones de SO_4 son elevadas ya que en el trasiego del azufre (con el cubo de la grúa) desde la plataforma hasta el embudo de los derretidores, se esparce por la atmósfera gran cantidad granos finos, estos también se origina durante el traslado con camiones desde el muelle hasta la plataforma. También durante la descarga del azufre al muelle se vierte al mar cantidad considerables formando una capa en suspensión.
5. Los valores de los metales pesados también son altos, esto esta dado en gran medida a al gran arrastre de sedimento proveniente del río moa, en el cual vienen concentraciones de estos metales producto a la minería existente en la región.

RECOMENDACIONES

1. Construcción del muro de contención en área de la piscina de cierno carbonatado, para evitar derrame de sólidos y líquidos emanado del proceso y que van hacia las costas.
2. Acondicionar depósito recolector de ácido en el muelle 1 en el lugar donde se realizan las conexiones de las mangueras con el buque ya que se encuentran deteriorado y parte del producto se vierte al mar.
3. Realizar estudios y ejecutar tareas, para evitar el derrame de hidrosulfuro provenientes del depósito de la Planta de Secado y que se emana hacia el mar.

4. Realizar un estudio del Río Moa sobre el volumen de sedimentos que arrastra en condiciones de flujo de base y proponer la construcción de una escollera con el fin de contener los sedimentos que llegan a la bahía proveniente del mismo.
5. Revisar la situación de la presa de colas de la Fábrica “Cmdte. Ernesto Che Guevara” y tomar las medidas constructiva necesaria para evitar posible roturas y derrames de eventos hidrometeorológicos extremos.
6. Diseño e implementación de un sistema de tratamiento para los residuales de la Planta de secado y la evaluación de un sitio para verter los residuales tratados, aplicando los requerimientos de las regulaciones de la zona costera y de vertimientos a cuerpos receptores marinos tipo E.
7. Caracterización físico-química de los residuales que se vierten a la canalización de la Planta de Beneficio de los Cienos Carbonatados desde la Planta de Secado, antes y después de que se establezca el sistema de tratamiento recomendado.
8. Rediseñar las canalizaciones pluviales en el área de almacenamiento de la Planta de derretimiento de azufre y en la Planta de Secado de sulfuro, con vistas a manejar y controlar adecuadamente su calidad antes de proceder a su vertido a la Dársena.

BIBLIOGRAFÍA

- Rodríguez, Alina.** Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. [Tesis doctoral], 1999. I.S.M.M, Moa.
- Quintas, Félix.** Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. [Tesis doctoral], 1989. I.S.M.M, Moa.
- Blanco, Blázquez J. L.** Profundización en el estudio geológico y tectónico de Moa. Tesis de maestría. Departamento de Geología, ISMM, 1999.
- NC TS 360: 2004.** (cuba). Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones.
- Martínez, M. Cortes, I. Pérez, R. y Cowley, S.** (1990): Contenido de metales pesados en los sedimentos de la zona litoral de Moa. Informe final. Archivo Científico del Instituto de Oceanología.
- CESIGMA,** Auditoria ambiental al Puerto De Moa, Julio 1997. Ciudad de la Habana.
- Grimanis. A. P., Vassilaki-Grimani M. Y . Griggs G. B(1976):** Pollution studies of trace elements in sediments from the upper Saronikos Gulf, Greece. J. Radional.
- Empresa Geocuba Oriente sur** (2004): Informe sobre el monitoreo ambiental por dragado al puerto de Moa. División de estudios medio ambientales.
- MILLERO, F.J. 1996.** Chemical Oceanography. CRC press, Inc. 531 p.
- Corren, C. W, Saw, D. M, Turekian, K. K, Zemmann, J.** Handbook of Geochemistry. The oceans, Streams and Atmosphere. Volumen I. (300p)

FACTIBILIDAD. ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE BAYAMO

Ángel Luis Marén Jeréz.

Unidad Empresarial de Base de proyectos e investigaciones (UEBPI) Granma. Amado Estévez No. 61,
Rpto Jesús Menéndez, Bayamo Granma

RESUMEN

La ciudad de Bayamo, cuyo desarrollo urbano ha provocado el incremento del volumen de aguas residuales, carece de un alcantarillado suficiente y eficiente que permita la evacuación y tratamiento de estas.

Con anterioridad se realizaron servicios, en los que se propusieron redes de evacuación, cuya solución final fuera construir una Planta de Tratamiento considerando un Alcantarillado Centralizado, en función de las características del núcleo poblacional, ejecutándose soluciones provisionales que se convirtieron en definitivas.

En la medida en que se incrementaron las áreas de desarrollo habitacional: aumentó la tasa de crecimiento poblacional; creció la infraestructura urbana y vial; mejoró el nivel de vida de los pobladores y se han desarrollado nuevas tecnologías relacionadas con el uso de tuberías plásticas y la aplicación de Fitotecnologías en el tratamiento de las aguas residuales, ha sido necesario aplicar una estrategia de descentralización considerando áreas de tratamiento independientes con el objetivo de utilizar las obras ejecutadas integrándolas a las nuevas soluciones, las cuales permitirán diseñar y construir objetos de obra cuyos costos; tiempo de ejecución y requerimiento de recursos humanos, materiales y financieros sean los más adecuados y mínimos posibles, y que las mismas consideren y se adecuen de manera conveniente a las condiciones del Medio Ambiente, minimizando, en gran medida los impactos negativos que provocarán sobre cada uno de los factores las acciones causadas por las actividades constructivas.

ABSTRACT

The Bayamo City, whose urban development has provoked the increase of the wastewater quantity, he lacks of a sewage system enough and efficient that permit the evacuation and treatment of these.

Some years ago was designed a centralized sewerage system with a conventional Wastewater Treatment Plant located in the north area, in terms of the city characteristics, constructing provisional solutions that were converted in definite.

In so far as the city has gone away developing :the growth rate inhabitant was increased ; grew the urban infrastructure; the city improved the standard of living of the inhabitants and they have developed new technologies related with the use of plastic pipes and the natural wastewater treatment, applying a strategy of decentralization of the sewer system, considering independent places of treatment in order to integrating to the news solutions the last one constructed, which will permit laying plans and constructing objects of work whose costs; run time and requisite of human resources, materials and financiers, be the best-suited to our times, and that the same ones be from the Environmental point of view sustainable, mitigating the negative actions during his constructive and exploitation process as far as possible.

INTRODUCCIÓN

- **Características principales de la ciudad de Bayamo.**

La ciudad de Bayamo, capital de la provincia de Granma, con una extensión total de 2681,74 ha (1078,01 ha, corresponden a la zona urbana) se encuentra situada al sureste de la extensa llanura fluvial del río Cauto, sobre la margen oriental del río Bayamo, el cual dió nombre a la ciudad y a una altitud promedio de 55 m sobre el nivel del mar.

En la actualidad Bayamo como cabecera municipal concentra el 17% de la población total del territorio en la provincia; el 67,1% de la población total del municipio y el 90,8% de la parte urbana total; el resto de esta población se asienta en el núcleo urbano Julia - Mabay (9,2%).

La ciudad cuenta actualmente con 145 200 habitantes que representa el 90,9% de los habitantes del municipio, los cuales se asientan en 27 repartos residenciales distribuidos sobre una estructura urbana que se desarrolla en torno a su río, la vía férrea que la atraviesa y la vincula con el occidente y oriente del país, y la carretera central.

MATERIALES Y METODOS

El Estudio de Factibilidad (E. F.) tiene como objetivo, elaborar propuestas factibles para un nuevo esquema que garantice la solución integral y perspectiva del alcantarillado a través de soluciones que resolverán la situación existente con relación a la recolección, conducción y tratamiento de las aguas residuales de la ciudad.

Se realizó el E. F. sobre la base del Diagnóstico del Alcantarillado existente, elaborado al efecto y de los proyectos elaborados en años anteriores, los cuales fueron revisados, comprobándose en el terreno si los distintos objetos de obra ejecutados corresponden a los diseños correspondientes y a los que fueron re proyectados, rehabilitados, completados o los que corresponden a nuevos diseños teniendo en cuenta las tecnologías actuales.

Los distintos objetos de obra que componen el Sistema de Alcantarillado existente y los nuevos diseños que se requieren, garantizarán la evacuación total de las aguas residuales desde cada uno de los objetivos determinados hasta los órganos de tratamiento existentes o por diseñar y construir.

- **Situación actual del alcantarillado (Diagnóstico).**

La zona urbana de la ciudad de Bayamo ocupa un área de 1078,01 ha y de acuerdo con el Sistema de Alcantarillado existente (Colectores Principales y Secundarios construidos), solamente se le puede ofrecer servicio al 76% del área tributaria y al 74% de la población actual, si todas las redes requeridas para ello estuvieran construidas. Dichos colectores, existen solamente en la zona urbana ubicada en la margen derecha del río Bayamo. No sucede de igual forma con las redes de evacuación existentes (ubicadas también en la margen derecha), las cuales solo cubren el 31,84% del área urbana de la ciudad.

A pesar de existir los Colectores Principales y Secundarios, la evacuación y tratamiento de los residuales líquidos, constituye un problema para la ciudad, ya que la cobertura de alcantarillado apenas alcanza el 32 %, quedando sin solución de alcantarillado aquellas áreas ubicadas al norte del ferrocarril, donde el servicio es insuficiente e ineficiente. Los colectores principales de la ciudad presentan serias dificultades en su funcionamiento debido a la falta de conservación y de mantenimiento. No existen Plantas de tratamiento para la depuración y posterior reutilización del agua para otros fines.

En el Centro Histórico de la ciudad, existe parte de la red pero sin salida, por lo que las aguas grises en su generalidad son evacuadas hacia las calles y de aquí hacia el drenaje pluvial, terminando en el río. Muchas fosas están conectadas al drenaje pluvial, considerándose uno de los mayores contaminantes del río en esta zona. En otros lugares se utilizan fosas con sistema de infiltración, que están provocando la contaminación del manto freático.

Existe una red de colectores, cuyo sistema está estructurado en Colectores Principales y Secundarios así como órganos aislados (Lagunas de Estabilización) para el tratamiento de los residuales, los cuales se describen a continuación:

- **Colector Secundario No.1 (CS-1).**

Beneficia actualmente a los repartos: C. Redondo (32,16 ha); C. Cienfuegos (37,30 ha); Rosa la Bayamesa (29,42 ha); J. Menéndez (52,16 ha) y R. Reyes (1,00 ha). En el futuro ofrecerá servicio a los repartos: Pedro Pompa, Izert, El Valle, Marianao, La Unión, Siboney, Galindo, Ojeda, Barrio Azul y La Mosquera, así como a aquellas áreas de los repartos que no han sido conectadas.

En el caso de Barrio Azul, se está trabajando actualmente en la ejecución de una Planta de Tratamiento de residuales para todo el reparto. Este reparto, posee diseñadas todas las redes hidrosanitarias (acueducto, alcantarillado y drenaje pluvial).

- **Colector Secundario calle 39 (Rpto Rosa la Bayamesa).**

Beneficia actualmente al 30% del área total del reparto.

- **Colector Secundario (Ave. Vicente Quesada).**

Ofrece servicio en la actualidad al reparto Rosa la Bayamesa (29,42 ha). En el futuro, beneficiará a toda el área tributaria del reparto que no está conectada y al resto del área que no posee redes de evacuación.

- **Colector Secundario calle 1^{ra} (Rpto. Viviendas Campesinas)**

Solamente beneficia al 3% del área de dicho reparto.

- **Colector Principal No. 2 (CP-2)**

El CP-2 ofrece servicio a los repartos: Viviendas Campesinas (0,33 ha); Las Caobas (20,62 ha); y Antonio Guiteras (64,14ha). En el futuro garantizará la evacuación de toda el área tributaria de cada uno de los repartos considerados y de las nuevas instalaciones propuestas y en fase de ejecución.

El Colector Principal CP-2 se encuentra en un estado técnico regular, existiendo tramos en la carretera central en los que se combina con el drenaje pluvial provocando serios problemas en su funcionamiento.

- **Colector Principal No. 4 (CP-4)**

El CP-4 ofrece servicio al reparto J. Menéndez (80%). En el futuro garantizará la evacuación de toda el área tributaria de cada uno de los repartos considerados (J. Menéndez, R. Reyes, Izert y P. Pompa y de las nuevas instalaciones propuestas y en fase de ejecución.

De los 27 repartos existentes en toda la ciudad, reciben servicio de alcantarillado a través de Colectores Principales, Secundarios o redes de evacuación los que se encuentran ubicados en la margen derecha del río: A. Guiteras, J. Menéndez, C. M. de Céspedes, C. Cienfuegos y parte de Rosa La Bayamesa. La población que no cuenta con este servicio vierte sus residuales en fosas,

letrinas sanitarias, excusados y otros órganos receptores, los cuales no siempre funcionan eficientemente, produciéndose una situación higiénica sanitaria crítica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el Estudio de Factibilidad se desarrolló una variante integral única, en la cual se tuvieron en cuenta las soluciones ofrecidas en Informes Técnicos, Esquemas Precisados, Estudios Técnicos Económicos y Proyectos Técnicos Ejecutivos elaborados por diferentes entidades en años anteriores, así como las soluciones ejecutadas que respondían a la concepción de un Sistema de Alcantarillado Centralizado para toda la zona urbana de la ciudad y las soluciones propuestas en este estudio, determinándose como resultado de la integración de ambas estrategias; la aplicación de nuevas tecnologías para el Tratamiento de las aguas residuales y la utilización de tuberías plásticas para la evacuación y conducción de dichas aguas, que se diseñe el Alcantarillado de la ciudad de Bayamo descentralizadamente, con el objetivo de que su ejecución se realice en varias etapas o fases que permitan construirlos adecuadamente, en menor tiempo, con la calidad requerida y con un costo menor, todo lo cual permitirá darles valor de uso lo más rápidamente posible.

Para ello, se consideraron dos Zonas, teniendo en cuenta que el río divide a la ciudad en dos partes:

ZONA I: Corresponde a la parte urbana de la ciudad ubicada en la margen derecha del río Bayamo.

Esta Zona, en la cual se concentra el 93,22 % de la población actual así como la mayor parte de los objetivos socioeconómicos de la ciudad, está constituida por cuatro Áreas para el tratamiento de las aguas residuales.

- Área No. 1. Los arroyos

Está localizada en el lugar conocido como “Los Arroyos”, ubicado en la margen derecha de la Ave. Granma, después del cruce con el arroyo Salado, en dirección a la carretera que va hacia Holguín. En la misma se ubicarán los objetos de obra que conformarán el Sistema de Tratamiento de Residuales destinado a beneficiar a la parte Este de la ciudad

Los objetos de obra que lo conformarán son los siguientes:

1. Estación de Bombeo
2. Colector de residuales a presión (emisario de entrada)
3. Lagunas de Estabilización (anaerobia y facultativa)
4. Colector final (emisario de salida)

En esta parte Este de la ciudad existe el Colector principal CP-2, al cual deben descargar las aguas residuales de los repartos Viviendas campesinas (35%), Las Caobas (100%) y Antonio Guiteras (40%) y se ha propuesto el Colector Secundario No. 11 (CS-11) que comenzará en la intersección de Carretera Central con la calle principal del Rpto V. Campesinas, continuará por la Ave del Este, cruzará la vía férrea y se incorporará a la Ave 41, hasta terminar en la Estación de Bombeo (propuesta). Dicho colector, garantizará la evacuación de las aguas residuales de las instalaciones existentes en la zona este de la ciudad incluyendo una parte del Rpto Viviendas Campesinas y los repartos ubicados en la zona de Nuevo Desarrollo (repartos A. Guiteras y Granma).

Las aguas residuales tratadas (disposición final) se utilizarán para el riego de fincas forestales.

A esta parte Este corresponde una población actual de 7 777 hab, una futura de 41 367 hab. y un área tributaria de 269,33 ha.

- Área No. 2. Reparto 26 de Julio (Aeropuerto Viejo).

Se localiza hacia el noroeste del reparto Aeropuerto Viejo, entre la margen izquierda de la Carretera Central (vía Holguín) y la margen derecha del arroyo Salado, en áreas de fincas forestales existentes que colindan con la pista del Aeropuerto Nacional Carlos M. de Céspedes.

En ella, ha sido construida una Laguna de Estabilización que beneficiará en los próximos años al 100% de la zona urbana de este reparto. En la actualidad, posee ejecutado el Colector Principal y faltan por construir los Colectores Secundarios y las Redes de relleno con sus acometidas correspondientes, por lo que la misma no tiene valor de uso.

Las aguas residuales tratadas en la laguna (disposición final), serán utilizadas para el riego de fincas forestales.

A esta parte, corresponde una población actual de 1 174 hab, una futura de 3 328 hab, y un área tributaria de 46,73 ha.

- Área No. 3. Siboney

Está ubicada hacia el norte del Centro histórico de la ciudad (Bayamo Norte), entre el canal de drenaje pluvial a cielo abierto; la calle 24 del reparto Siboney y el arroyo Salado. En esta área existe una Laguna de Estabilización, la cual fue construida en el año 2002 y beneficia actualmente a unos 30 000 hab.

Para la evacuación de las aguas residuales correspondientes a esta área, además del CS-1 (Ave. 26 de julio) y de los colectores existentes en las calles V. Quesada y 39 (principal del reparto Rosa la Bayamesa) se ha propuesto para el diseño el Colector Secundario No. 12 (CS-12).

Además de la laguna existente, se diseñará y ejecutará un sistema de tratamiento secundario.

Las aguas residuales tratadas en la laguna, serán utilizadas para el riego de las fincas forestales.

A esta parte, corresponde una población actual de 99 208 hab, una futura de 122 335 hab, y un área tributaria de 562,41 ha.

- Área No. 4. Barrio Azul

Corresponde al área donde se diseñarán y ejecutaran los objetos de obra que conformarán el STR y estará compuesto por:

1. Planta de tratamiento de tecnología Canadiense.
2. Humedales

El área se ubica hacia el norte noroeste del Centro Histórico de la ciudad, entre el río Bayamo, el puente de la vía férrea y el reparto Barrio Azul.

Las aguas residuales tratadas en la laguna (disposición final), serán utilizadas para el riego de las fincas forestales.

A esta parte, corresponde una población actual de 2 203 hab, una futura de 3 067 hab, y un área tributaria de 37,22 ha.

ZONA II: Corresponde a la parte urbana de la ciudad ubicada en la margen izquierda del río Bayamo.

Esta Zona, en la cual se concentra el 6,78 % de la población actual de la ciudad, está constituida por cinco áreas para el tratamiento de las aguas residuales.

- Área No. 5. Fco. Vicente Aguilera

Esta área se localiza hacia el oeste del Centro Histórico y se ubica hacia el sur del reparto Fco. V. Aguilera, entre la vía férrea, el tramo de la carretera Bayamo – Manzanillo y el camino que va hacia la zona de Santa Isabel.

Los objetos de obra que lo conformarán son los siguientes:

- 1 Estación de Bombeo
- 2 Colector de residuales a presión (emisario de entrada)
- 3 Lagunas de Estabilización (pretratamiento)
- 4 Colector final (emisario de salida)

Para la evacuación de las aguas residuales correspondientes a esta área, se han propuesto para el diseño, los Colectores Secundarios No. 1, 2 y 3 (CS-1, CS-2 y CS-3).

Las aguas residuales tratadas (disposición final), serán utilizadas para el riego de las fincas agropecuarias.

A esta parte corresponde una población actual de 3 090 hab, una futura de 5 562 hab y un área tributaria de 35,92 ha.

Área No. 6. San Juan, El Cristo y Latinoamericano.

El área de referencia, está ubicada hacia el oeste del Centro Histórico de la ciudad y en la parte sur de dicho reparto después de los límites urbanos (calle 20), en el área libre situada entre la carretera Bayamo – Manzanillo; el reparto Latinoamericano; el reparto La Hacienda y el río Bayamo, coincidiendo con las Lagunas de Estabilización donde actualmente se produce el tratamiento de las aguas a residuales de esa industria de productos lácteos.

Para la evacuación de las aguas residuales correspondientes a esta área, se ha propuesto para el diseño los Colectores Secundarios No. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 (CS-4, CS-5, CS-6, CS-7, CS-8, CS-9, CS-10) y el Colector Principal (CPr.)

La solución que se diseñará y ejecutará para beneficiar a los repartos: Latinoamericano (100%), San Juan (100%), El Cristo (100%) y asumirá el caudal de aguas pluviales y residuales (mezcladas) proveniente de los repartos V. Campesinas, C.M. de Céspedes, N. Bayamo, A. Guiteras y parte de J. Menéndez, tendrá valor de uso a medida que se diseñen y ejecuten, las redes de relleno, los Colectores Secundarios, el Colector Principal y los diferentes órganos que conformaran la Planta de Tratamiento de Residuales, cuyos objetos de obra se relacionan a continuación:

- 1 Estación de Bombeo
- 2 Colector a presión (emisario de entrada)
- 3 Lagunas de Estabilización
- 4 Humedales

Las aguas residuales tratadas (disposición final), serán utilizadas para el riego de las fincas agropecuarias.

A esta parte corresponde una población actual de 31 473 hab, una futura de 37 792 hab, y un área tributaria de 174,02 ha.

- Área No. 7. La Hacienda.

El área, está ubicada hacia el oeste del Centro Histórico de la ciudad y en la parte norte de dicho reparto después de los límites de las viviendas y al final de la calle principal, en el área libre situada entre la carretera Bayamo – Manzanillo y el reparto de referencia.

Para la evacuación de las aguas residuales correspondientes a esta área, se proyectará un Colector que las recogerá y las conducirá hasta el órgano de tratamiento propuesto.

La solución que se diseñará y ejecutará para beneficiar el reparto La Hacienda (100%) tendrá valor de uso cuando se diseñen y ejecuten, las redes de relleno, los Colectores correspondientes y el órgano de tratamiento que para este caso será fundamentalmente un Tanque Séptico y a continuación como pulimento, trincheras de Flujo Horizontal (con plantas acuáticas) y su disposición final se destinará para el riego de cultivos agropecuarios.

Podrá utilizarse como variante de solución la ejecución de Fosas sépticas independientes para cada vivienda o la combinación de ambos tipos de tratamiento primario.

A esta parte corresponde una población actual de 446 hab, una futura de 598 hab, y un área tributaria de 2,98 ha.

- Área No. 8. Campamento de Pioneros (Canducha Figueredo)

El área, está ubicada hacia el suroeste del Centro Histórico de la ciudad y hacia el este de dicho reparto después de los límites de las viviendas y al final de la calle principal, en el área libre situada entre la carretera Bayamo – Manzanillo y el río Bayamo.

Para la evacuación de las aguas residuales correspondientes a esta área, se proyectará un Colector que las recogerá y las conducirá hasta el órgano de tratamiento.

La solución que se diseñará y ejecutará para beneficiar el reparto Campamento de Pioneros (100%) tendrá valor de uso cuando se diseñen y ejecuten los Colectores correspondientes, las Redes de relleno y el órgano de tratamiento que para este caso será fundamentalmente un Tanque Séptico y a continuación como pulimento, trincheras de Flujo Horizontal (con plantas acuáticas) y su disposición final se destinará para el riego de cultivos agropecuarios.

Podrá utilizarse como variante de solución la ejecución de Fosas sépticas independientes para cada vivienda o la combinación de ambos tipos de tratamiento primario.

A esta parte corresponde una población actual de 303 hab, una futura de 881 hab, y un área tributaria de 4,39 ha.

- **Área No. 9. La Pedrera.**

El área, está ubicada hacia el sur del Centro Histórico de la ciudad y hacia el este de dicho reparto después de los límites de las viviendas y al final de la calle principal, en el área libre situada en las inmediaciones del río Bayamo.

Para la evacuación de las aguas residuales correspondientes a esta área, se proyectará un Colector que las recogerá y las conducirá hasta el órgano de tratamiento.

La solución que se diseñará y ejecutará para beneficiar el reparto La Pedrera (100%) tendrá valor de uso cuando se diseñen y ejecuten los Colectores correspondientes, las redes de relleno y el órgano de tratamiento que para este caso será fundamentalmente un Tanque Séptico y a continuación como pulimento, trincheras de Flujo Horizontal (con plantas acuáticas) y su disposición final se destinará para el riego de cultivos agropecuarios.

Podrá utilizarse como variante de solución la ejecución de Fosas Sépticas independientes para cada vivienda o la combinación de ambos tipos de tratamiento primario.

A esta parte corresponde una población actual de 326 hab, una futura de 965 hab, y un área tributaria de 5,60 ha.

Para las áreas donde será necesario implementar una solución específica de tratamiento de aguas residuales, fundamentalmente aquellas que actualmente no poseen ningún tipo de proceso en este sentido (áreas No. 1,4, 5 y 6), se utilizarán los órganos de tratamiento de tipo convencionales (tradicionales) combinados con tecnologías actuales que se basan en un proceso de fitodepuración (Fitotecnologías), mediante sistemas naturales de tratamiento de efluentes (humedales). En las áreas que actualmente poseen algún tipo de tratamiento como es el caso de las Lagunas de Estabilización (áreas No.2 y 3), el efluente de las mismas se dispondrá para el riego de fincas forestales directamente o de cultivos de plantas de uso ornamental. En las demás áreas (7, 8 y 9), la tecnología a aplicar será la utilización de Tanques o Fosas Sépticas cuyo efluente se tratará en trincheras de flujo horizontal con plantas acuáticas.

CONCLUSIONES

1. Los trazados de algunos de los colectores propuestos y elaborados en años anteriores, se definieron y se ejecutaron en dependencia de la urbanización; las redes técnicas; la población; las instalaciones estatales y sociales, y demás objetos de obra existentes en aquellos momentos. A tal efecto se construyeron los siguientes: CP-2, CP-4, CS-1, CS-2, Colector de la calle 1^{ra} del Rpto. V. Campesinas, Colector de la calle 39 del Rpto. Rosa la Bayamesa, Colector del Hospital Infantil, Colector Principal del Alcantarillado del Rpto. A. Viejo y el Colector de aguas pluviales y aguas residuales combinadas ubicado en la prolongación de la calle Gral. García y ofrecen servicio a un área determinada de la ciudad.
2. De acuerdo con las características de la ciudad de Bayamo, se ha definido que algunas de las soluciones de alcantarillado elaboradas, no pueden ejecutarse porque no responden a los requerimientos actuales. De acuerdo con esta situación, fue necesario elaborar el Estudio de

Factibilidad considerando lo que anteriormente se propuso y lo que actualmente se requiere, determinándose que la variante más factible de elaborar fuera la que considera un Sistema de Alcantarillado no centralizado, con el objetivo de que sean aprovechadas aquellas obras construidas, de manera que las mismas puedan integrarse a soluciones independientes que garantizarán la evacuación y posterior tratamiento de los residuales con la aplicación y utilización de tecnologías actuales.

3. En la actualidad no resulta objetivo construir el CP-3, ya que el trazado propuesto atravesaría la ciudad de sur a norte dividiéndola en dos partes, con todos los inconvenientes que esto traería además de la enorme cantidad de recursos necesarios para su ejecución.
4. Consideramos además, que el costo de ejecución de un Alcantarillado Centralizado y de una Planta de Tratamiento definitiva para toda la ciudad, resultaría demasiado elevado, complejo y su construcción a largo plazo, contra el costo inicial de soluciones independientes que resultaran menos complejas y su construcción será más factible de ejecutar desde el punto de vista técnico-económico y en menos tiempo.
5. Algunos de los Sistemas actuales de Tratamiento de las aguas residuales, correspondientes a áreas urbanas se mantendrán (Lagunas de Estabilización del Rpto. Aeropuerto Viejo y Bayamo Norte); otros, deben eliminarse (como es el caso de las Lagunas de Estabilización de Inseminación Artificial).
6. Los Sistemas de Alcantarillado correspondientes a las zonas urbanas que descargan sus aguas residuales en las Lagunas de Inseminación Artificial y de Obras Varias, se incorporarán a los Sistemas (CP-2 existente y CS-11 propuesto) y al CS-1 existente, los cuales corresponderán a los Sistemas de Tratamiento de Los Arroyos (propuesto) y la Laguna de Estabilización Bayamo Norte, respectivamente.
7. Las entidades que poseen Sistemas de Alcantarillado y de Tratamiento de Residuales independientes, como La Hacienda, los Combinados Cárnico y Lácteo, y la procesadora de pollos, se mantendrán mejorando su eficiencia y funcionamiento mediante la aplicación de las nuevas tecnologías de depuración de aguas residuales.

RECOMENDACIONES

1. Los Colectores Principales, Secundarios y de otra categoría construidos con anterioridad requieren ser evaluados con profundidad y definir su estado técnico actual, con el objetivo de implementar medidas a corto, mediano y largo plazo que garanticen su funcionamiento eficiente. Entre estas medidas, es fundamental realizar los trabajos necesarios para su limpieza capital, eliminando gradualmente de su interior todo tipo de obstáculos que influyan negativamente en su funcionamiento y explotación.
2. Proceder de inmediato a la elaboración de los diseños y a la ejecución de los Colectores propuestos, porque resulta más objetivo puesto que su solución conlleva la utilización de los objetos de obra construidos y las soluciones propuestas en este Estudio de Factibilidad, constituyendo ello una novedad tecnológica en la cual se combinan las soluciones tradicionales propuestas y las construidas en años anteriores con las soluciones actuales de utilización de tuberías plásticas que requieren menor pendiente para garantizar una conducción óptima en función de su coeficiente de rugosidad, y la implementación de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales mediante la utilización de los métodos de depuración biológica, los cuales

requieren para su proceso de degradación de la materia orgánica de plantas acuáticas y de estructuras sencillas. Desde el punto de vista técnico, resultan ser diseños más simples donde las soluciones específicas para cada caso son menos complejas y más fáciles de ejecutar. Económicamente, a pesar que se necesitan Estaciones de Bombeo, las mismas requerirán de equipos y de otros materiales para su funcionamiento cuyo valor es mucho menor que si se implementará un Alcantarillado Centralizado en el que se requerirán condiciones y recursos tanto materiales como financieros elevados, los cuales harían muy costosa la obra en general y el tiempo de ejecución para garantizar su valor de uso inmediato, sería extremadamente largo y los trabajos, complejos y difíciles.

3. Mantener los Colectores CP-2, CP-4, CS-1; y los de calle 1^{ra} (Rpto. Viviendas Campesinas); calle 39 (Rpto. Rosa la Bayamesa); calle 1^{ra} (Rpto Aeropuerto Viejo); Colector del Hospital Infantil y el colector de la calle Gral. García los cuales corresponden a las propuestas de diseños anteriores y que fueron ejecutados, con el objetivo de que formen parte de la solución general de alcantarillado para la ciudad y no ejecutar el proyecto correspondiente al CP-3.
4. Considerar para el tratamiento de las aguas residuales, las soluciones existentes y en funcionamiento (Lagunas de estabilización del Rpto. Aeropuerto Viejo y de Bayamo Norte), combinándolas con las tecnologías actuales de depuración (humedales), basadas fundamentalmente en la utilización de procesos biológicos a través de plantas acuáticas

BIBLIOGRAFIA

- Acueductos. Agua potable en poblaciones. Determinación de la demanda. NRMCM 010/1980.
Alcantarillado Bayamo. Colectores CP-3 y CS. EHH. 21/12/88.
Cubaidis/92. XXXIII Congreso AIDIS. Tratamiento de Residuales II. (Parte 1), Ref. 3.2.02. La Habana. 22 al 28 de Noviembre de 1992.
Diagnóstico de Alcantarillado de la ciudad de Bayamo. UEBPI, septiembre de 2005.
Diagnóstico Urbano-Ambiental de Bayamo. DPPF-Granma. Enero del 2003.
Esquema del Alcantarillado Bayamo Plano No.4- Alcantarillado 1961. EHH. 18-6-84.
Gaceta Oficial de la Republica No.22. Ciudad de al Habana. Noviembre de 1991.
Índices Técnicos y Económicos. Calculo del Valor Inicial de las Obras Hidráulicas. Instituto de Hidroeconomía. La Habana Oct/1981.
Ingeniería Sanitaria. HARDENBERGH Y RODIE.
Manual de Disposición de Aguas Residuales. Tomos I y II. Cooperación Técnica. República Federal de Alemania.
PRECONS. Sistema de Precios de la Construcción. Tomo I. MICONS. La Habana. 1998.
Proyecto: Balcón de la Lizana. Plan General y Cortes. Dpto. Rest y Mntos. Oficina de Monumentos y Centros Históricos. Bayamo, Abril/03.
Registro de Alcance y Contenido D (11)-1.01-30 Alcance de Estudio de Prefactibilidad para un Alcantarillado. EIPH - Holguín. 03 / 02 / 03.
Regulación de la construcción sobre alcance y contenido. RC 1010.
Regulación de Proyección No.1087. Alcantarillado y Drenaje Pluvial Urbano. Ministerio de la Construcción. Habana. 1982.
Reproyección P.I.B.D. Alcantarillado Bayamo Norte. (Colector Principal y Emisarios) EIPH – Granma. 02-05-28.

MECANISMO HIDRÁULICO DE RECARGA ENTRE EL EMBALSE LA GUANÁBANA Y EL ACUÍFERO.

Eugenio Lores Laborde, Estrella Santa Cruz Pérez

UNAICC, Calle 24 % 33 y 35 S/N Nueva Gerona, Isla de la Juventud Cuba, estrella@dij.co.cu

RESUMEN

El presente trabajo esta orientado al conocimientos del mecanismo hidráulico de recarga natural inducido establecido de forma inconsciente por el hombre que ha servido de abasto a la población de la ciudad de Nueva Gerona en la Isla de la Juventud desde los años 70 hasta la actualidad. Las fuentes que se alimentan de esta recarga en periodo de escasa lluvias tiende a bajar su extracción a causas del déficit de agua generado por la disminución del agua en el embalse Las Guanábanas.

Resultado siempre un interés técnico de esclarecer la relación existente entre el agua superficial y subterránea y el aporte de agua que se bebe bombear desde otros sitios al embalse para asegurar la entrega de agua al acueducto.

ABSTRACT

The present work this oriented one to the knowledge of the established induced hydraulic mechanism of natural recharge in an unconscious way for the man that has served from supply to the population of the city of Nueva Gerona in the Youth's Island from the years 70 until the present time. The sources that feed of this overcharge in period of scarce rains spread to go down their extraction to causes of the deficit of water generated by the decrease of the water in the reservoir The Guanábanas.

I am always a technical interest of clarifying the existent relationship between the superficial and underground water and the contribution of water that he/she drinks to pump from other places to the reservoir to assure the delivery of water to the aqueduct.

I. INTRODUCCIÓN

La subcuenca La Guanábana es uno de los tramos hidrogeológicos donde se ubican los pozos de abasto que sirven al Tanque elevado de 20000 m³ la ciudad de Nueva Gerona, en la Isla de la Juventud. En el transcurso de las investigaciones, según las observaciones en el campo y durante los resultados de diferentes pruebas por varios especialistas siempre se formulo la posible la relación del embalse de Las Guanábanas y los pozos de la misma cuenca.

El presente estudio fundamenta y esclarece este comportamiento, pero no con valores que indicarán volúmenes o cantidades sino después de un cúmulo de experiencias y observaciones por los autores ya se puede contar con una teoría más cercana de cómo ocurre la recarga al manto a través del conocimiento de los elementos geológicos e hidráulicos.

Objetivos:

1. Identificar el mecanismo hidráulico entre agua superficial y subterránea.
2. Conocer el aporte de agua proveniente del acuífero y el embalse en los pozos de abasto.
3. Buscar zonas cercanas al embalse con posibilidades de agua a expensas del embalse sin relación hidráulica directa.

II. ANTECEDENTES.

En 1979 A. Valdés realizó "**Evaluación hidrogeológica de los pozos de Abasto de La Guanábana**", para dar respuesta a la propuesta de construir un tanque elevado en la base de la loma de Sierra de Caballos como solución definitiva a la ciudad de Nueva Gerona. En dicho estudio se enmarcan las fuentes principales de abasto G-57, G-58 y G-59, ubicadas en la parte Este del embalse y se deja entrever la posible relación de los pozos con este, sin embargo no se realizaron mediciones ni muestreos de agua que argumenten precedentes.

En 1986, García Marishal realizó un estudio Ingeniero Geológico del cerro La Guanábana dirigido hacia la cueva del mismo nombre, aquí se dan elementos de desarrollo del carso, medición de niveles, a etc.

En 1989 E. Santa Cruz, R. Peña, E. Lores, "**Estudio hidrogeológico de los pozos G-57 y G-59 para el acueducto de Nueva Gerona**" realizaron una reevaluación en los pozos G-57, G-58 y G-59, partiendo de su reposición, ya que estos se destruyeron debido a que el área fue sometida a intensos trabajos agrícolas, el destino de estos trabajos no contemplaba la determinación de la relación del embalse con los pozos, si no que estaban destinada al abasto, no obstante se realizaron mediciones de niveles en el embalse y en los pozos.

En 1996 la inmediatez del inicio de la construcción del tanque se propone un estudio para esclarecer aspectos relacionado con el abasto a partir de los pozos, con el fin de determinar la potabilidad del agua del embalse para mantener el bombeo del tanque como agua de mezcla, donde se determinó la calidad del agua de mezcla, la capacidad de extracción de los pozos de forma puntual.

Posteriormente se realizaron otros trabajos complementarios del área como levantamiento Geofísico aplicando los métodos de campo natural y cuerpo cargado para determinar la dirección de la línea de flujo subterránea.

La fotointerpretación, así como el tratamiento de toda la información de campo y gabinete, nos ha permitido esclarecernos de los factores que definen el comportamiento y regulación entre el embalse la Guanábana y su cuenca subterránea.

III MATERIALES Y METODO

Medición de niveles:

La medición de niveles se realizó primeramente antes de comenzar los trabajos de bombeo en la posición estática y después posteriormente se comenzó a medir las variaciones de niveles en los pozos bombeados, escalas en el embalse y calas de observación, los sondeos se realizaron con un levómetro alemán.

Prueba de trazador:

La prueba de trazador se realizó con 1/2 Kg. de uramina, donde se prepara una bolsa preparada anteriormente en el laboratorio al llegar a la cuava se rompió cronometrando el tiempo, en los pozos de bombeo se observaba hasta clue apareciera el trazador, tomando muestras primeramente cada 30 minutos hasta las dos horas y posteriormente cada 15 minutos, la prueba es cualitativamente hasta determinar la máxima coloración.

Cuerpo cargado:

Para el cuerpo cargado se realizó con un AE-72 de fabricación Soviética, se trazaron seis perfiles radiales con centro en el pozo, los puntos de observación fijo (electrodo) donde se midieron simultáneamente la conductividad en los puntos AB, se bajo un saco de sal al pozo donde se rompió, para determinar la dirección del agua subterránea natural.

Prueba de bombeo:

La prueba de bombeo se realizó para la determinación de los parámetros hidrogeológicos del acuífero como permeabilidad y transmisibilidad subterránea, además de servir de base para los trabajos, de niveles, muestreo químico prueba de trazador.

Fotointerpretación:

Se realizó la foto interpretación mediante un par de fotos del vuelo 11001 realizado en el año 1985, analizadas a través de un estereoscopio para las precisiones de los elementos geológicos dentro del área de estudio.

Muestreo químico:

El muestreo se realizó de forma in situ durante el aforo con muestra duplicadas al laboratorio como método de control y chequeo de las muestras.

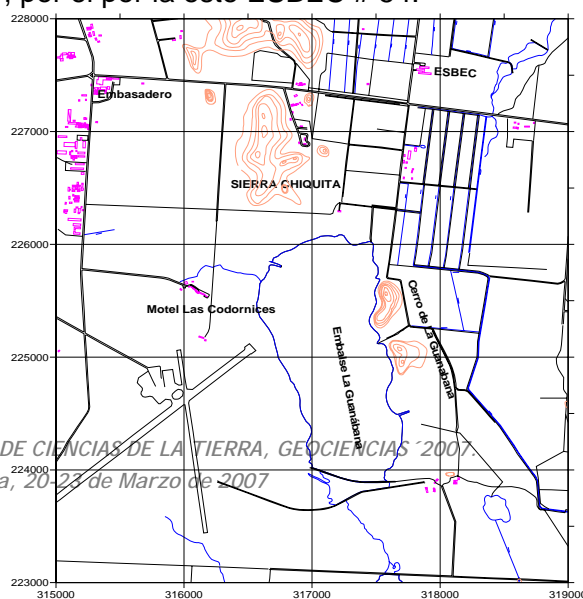
Tabla N° 1 Elementos analizados en mg/l.

PUNTO	Ce	HCO ₃	CL	SST
G-57	184.20	120.4	26.20	125.40
G-58	172.00	9.52	27.00	117.00
G-59	245.38	126.75	26.38	168.00
G-46	268.20	188.00	16.40	193.00
EMBALSE	105.00	19.00	13.00	56.00

IV. DESARROLLO:

UBICACION:

El área se encuentra ubicada geográficamente entre la carretera que va desde el Envasadero Andrés Volsan hacia Columbia en el cruce con la entrada de presidio por la parte norte, en el oeste con el aeropuerto Rafael Cabrera Mustelier, por el por la este ESBE # 54.



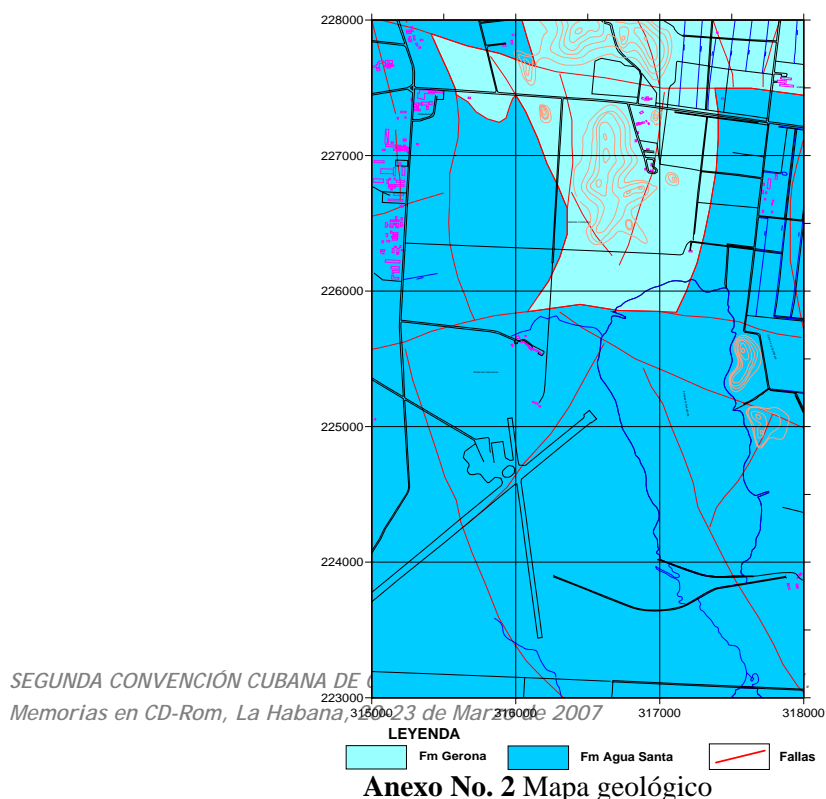
FACTORES INCIDENTES EN EL EMBALSE LAS GUANABANAS

Geológicos:

La base del embalse se encuentra sobre rocas esquistosas con cobertura de arcilla que en profundidad van transicionando a esquistos de edad Jurásica medio inferior Calloviano - Oxfordiano (J_2^{cl} - J_3^{ox}) de la formación Agua Santa (as) y esta a su vez en contacto con rocas mármolicas de la formación Gerona (grn) Jurásico inferior Oxfordiano Cretácico (J_3^{ox} - K) a través de fallas, (anexo No. 2)

La dirección de las fallas principales es hacia el Noroeste con ángulo de buzamiento entre 40° y 50° , según datos geofísicos del levantamiento geológico realizado en el territorio, la profundidad de estas puede alcanzar hasta 100m. El embalse es atravesado en su eje central por una falla principal de más da 8 Km. de largo que se comunica con otra de dirección Sudeste que pasa por la cueva; en la parte norte del embalse se forma un entrelazamiento con fallas de direcciones Este, sudeste donde se produce precisamente el contacto entre la formación Gerona y Agua Santa formando una malla de estructura irregular, donde se espera se produzca una infiltración significativa cuando el nivel de agua del embalse esta por encima, pero en periodo seco el nivel del embalse se mantiene a espensa del acuífero.

La densidad de agrietamiento es elevada en esta área, más de 6 fallas de primer orden, por Km^2 , favoreciendo la carsificación de los mármoles tanto en superficie como en profundidad.



En el anexo N° 2 se observan las estructuras tectónicas que atraviesan el embalse.

Cársicos:

El carso se ve ampliamente desarrollado en los mármoles, aflorando en el Cerro Las Guanábanas donde aparece la cueva que se comunica directamente con el embalse pero el Cerro interiormente presenta numerosas cavidades cársticas que resultan de mayor importancia que forman verdaderos reservorios de agua anexo 3.



Anexo No. 3 Cueva del Cerro Las Guanábanas.

Hidrogeológicos :

El acuífero del área de estudio es semiconfinado con una cobertura sedimentaria (acuitardo) de arcilla de potencia entre 15 y 20 m, posteriormente aparece la capa acuífera y a partir de la falla que pasa por el centro del embalse para la parte Oeste aparecen los esquistos facturados donde los caudales de los pozos apenas alcanzan los 5 l/s, en la parte Este de la falla aparecen los mármoles donde los caudales pueden llegar hasta 80 l/s; la alimentación se produce desde la superficie a través de los sistemas de cavernas y grietas cársticas.

En el plano hidrogeológico estamos sobre una zona de acumulación, donde los gradientes hidráulicos son muy bajos o prácticamente cero, por tanto el movimiento de agua subterránea horizontalmente es estacionario y solo se verifica movimiento de agua en el plano vertical localmente en las zonas de infiltración a través de las oquedades de los mármoles.

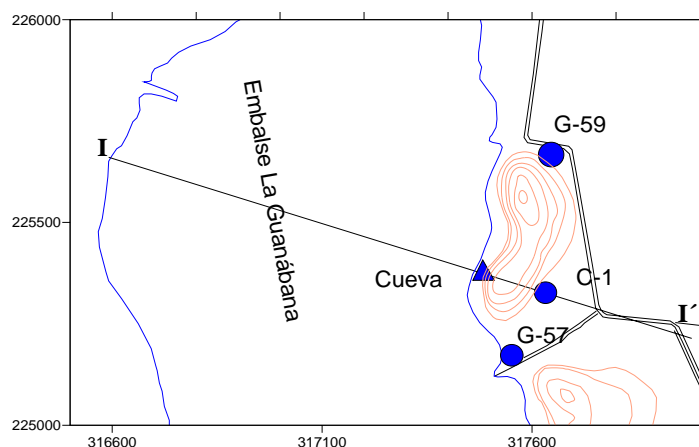
La causa fundamental de la pérdida de agua del embalse se realiza a través de un sistema cársico (cueva) ampliamente desarrollado que aflora en la orilla Este, donde se localiza el cerro del mismo nombre con el punto de vertimiento en la cota de. 12.20 m limite a partir del cual la presa comienza a verter libremente al acuífero recargando al manto (anexo N° 3). Esta no es la única vía ni forma de infiltración de la presa, existen otras formas cavernosas no visibles y la misma se encuentra cruzada por un sistema de fallas que de forma lenta también contribuye a la pérdida de su volumen de agua, estas; son el factor fundamental del desarrollo del carso en el área ya que las mismas ayudan a la

carsificación de los mármoles tanto en superficie como en profundidad, estas cavernas pueden alcanzar hasta decenas de metros de diámetro, constituyendo reservorios subterráneos con grandes almacenamientos, capaces de satisfacer demandas importantes.

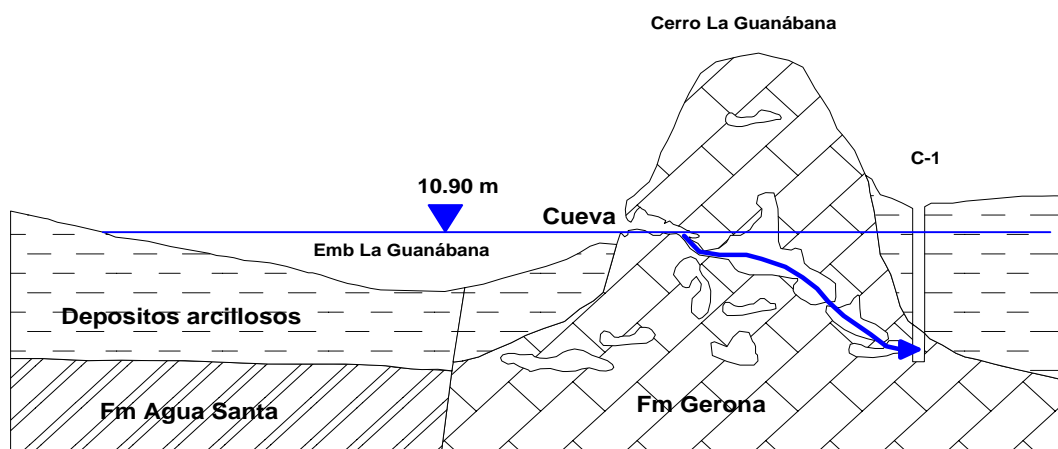
Los pozos ubicados en el área presentan una ligera comunicación con el embalse y solo el pozo G-58 presentaba una comunicación más directa, producto de su ubicación en zonas no estructurales.

En el balance químico se observó que el volumen Cl. en agua a expensa del embalse es mayor en el pozo.

En el anexo No. 4 se observa en planta la disposición del perfil mientras que en el anexo No. 5 muestra la relación de las fuentes con las estructuras tectónicas y el embalse.



Anexo No. 4 Plano del Perfil I'-I



Anexo No.5 Perfil Hidrogeológico I'-I.

V. RESULTADOS.

Niveles:

La variación de niveles no resultó decisiva para la determinación de la relación acuífero embalse, ya que el volumen de agua bombeada que se requería para provocar el desnivel en el embalse estaba fuera de la capacidad de las bombas instaladas, en la siguiente tabla se muestra los resultados de los observaciones de los niveles en metros.

POZO	Nivel estático	G-59	G-59 y G-57	OBSERVACION
G-57	3.96	9.10	9.10	
G-58	2.92	10.2	10.2	
G-59	3.75	19.43	19.43	
P-3	3.00	3.00	4.80	
P-5	4.02	4.02	6.10	
Escala 1	2.06	2.06	2.06	Nivel relativo
Escala 2	2.04	2.04	2.10	
G-46	3.20	3.20	3.20	
G-49	3.00	3.00	3.00	
Embalse	11.99	11.99	11.99	Cota absoluta

Tabla -No. 2

La relación hidráulica entre los pozos y el embalse durante las operaciones de bombeo se comporta como influente debido al abatimiento en los pozos o cuando existen grandes lluvias donde el nivel del embalse se eleva por encima de la cota 12.20 metros, fuera de estas condiciones los niveles se mantienen en equilibrio.

En la construcción de los pozos se puede observar un ligero asenso del nivel producto del artesianismo del acuífero, luego se produce un descenso al nivel normal.

Prueba de trazador:

Los resultados de la prueba de trazador no resultan del todo satisfactorio; en el tiempo de muestreo y observación no apareció y solo después de haber pasado 24 horas aproximadamente el aforador observó una leve coloración en el agua del pozo bombeada que apenas llegó a mantenerse algunos minutos, este resultado es lógico ya que el cuerpo receptor de la uramina es volumétricamente muy grande en relación al bombeo planteado y el carácter disolvente del agua de la cueva es grande.

Cuerpo cargado:

El cuerpo cargado nos dio como resultado un flujo de agua nulo sin preferencia donde la conductividad radialmente iba aumentando gradualmente producto a la disolución del cloruro de sodio y no por la disolución dirigida por alguna corriente de agua, de aquí se deduce desde el punto de vista hidráulico el área de estudio se encuentra en una zona acuífera de acumulación.

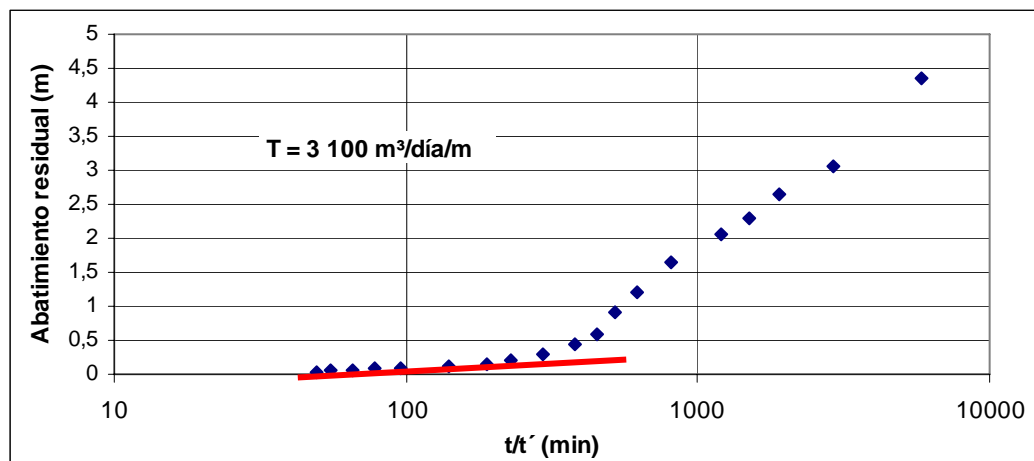
Prueba de bombeo:

La prueba de bombeo se realizó primeramente con el G-59 a 45 l/s y posteriormente a las 24 horas después de estabilizar los niveles en el pozo se empezó a bombear el pozo G-57 a 70 l/s simultáneamente los datos del bombeo aparece en la siguiente tabla.

POZO	NIVEL	G-59	G-59 y G-57	GASTO L/S
G-57	3.96	9.10	9.10	70
G-59	3.75	19.43	19.43	45

Tabla No.3

El bombeo simultáneo no mostró relación hidráulica entre los pozos G-57 y G-59 al estar relacionados ambos con sistemas cársicos diferentes. Como testimonio de la comunicación se revela la transmisibilidad que a modo de ejemplo aparece en el anexo No. 6, con valores típicos de formaciones cársicas bien alimentada, en este caso por las aguas del embalse.



Anexo No. 6 Gráfico de transmisibilidad del pozo G-57

Fotointerpretación:

La interpretación de las fotos aéreas simultáneamente con el mapa geológico, corroboran la existencias de las fallas y su posibilidades de transmisión de agua según el grado y zona de humedad visible, nos dejó claro que el área que ocupa el embalse se encuentra condicionada por estructura tectónicas (fallas). Donde las pérdidas solamente no se produce en la cueva si no también a través de su base aunque esta cantidad es muy pequeña.

Muestreo químico

Los pozos recientemente construidos presentan mineralización normal del acuífero de 198 mg/l, después de pasar 96 horas de bombeo su mineralización baja a valores intermedio entre el agua de la presa y la del acuífero dando fe de un agua de mezcla (tabla N° 4).

Tiempo (hora)	HCO ₃ (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	SST (mg/l)
0	112	27	5	37	2	13	2	198
96	95	22	3	31	3	12	2	167

Tabla No. 4

Después de realizar un balance de masa con volumen de agua entre el acuífero el embalse y el agua bombeada en los pozos se llegó al siguiente resultado:
El embalse aporta el 36.3 % del volumen de agua que se extrae como promedio de los pozos ubicado en el área y la distribución del caudal de aporte por el embalse y la cuenca aparece en la tabla siguiente.

Pozos	Cuenca (l/s)	Embalse (l/s)	Total (l/s)
G-57	38.22	21.78	60
G-59	15.93	9.07	25
Total	54.15	30.85	85

Tabla No. 5 Aporte de agua del embalse y de la cuenca subterránea a los pozos.

Estos datos nos refiere a un volumen de agua anual desde el embalse de 10^6 m^3 / año, que corresponde al 29 % del volumen de agua bombeada.

VI. CONCLUSIONES.

1. Existe relación hidráulica entre el embalse y la cuenca subterránea, el 36.3 % de volumen de agua bombeada de los pozos corresponde al embalse, aproximadamente unos 32 l/s, se espera que en otros puntos los volúmenes sean superiores o menores en relación con su posición con los elementos geológicos y hidráulicos.
2. Las estructuras tectónicas en los mármoles constituyen el factor fundamental para la formación de formas cársticas por donde circula el agua desde el embalse al acuífero. El embalse se encuentra ubicado encima de un sistema de fallas, que de otra forma constituye vías de infiltración o recarga al manto.
3. La cueva es una de las vía directas de la entrada del agua superficial al manto subterráneo. La cota máxima de almacenamiento del embalse esta regulada naturalmente a los 12.20 m por la toma de la cueva, valores superiores solo se mantendrán en dependencia de la capacidad de infiltración de la misma y aporte de le de la cuenca superficial en tiempo de estiaje.
5. Los pozos contruidos en la base del tanque al interceptar fallas que vienen desde el embalse Las Guanábanas, presentan un aseguramiento del recurso y un mayor tratamiento del agua superficial al tener mayor recorrido a través del medio rocoso poroso.

BIBLIOGRAFIA

- Voluntad Hidráulica, No. 63** (1984) *Consideraciones acerca de los cálculos hidrológicos para pequeñas cuencas, utilización del método racional en condiciones de Cuba*; Dórticos L. P.; Pág. 2
- 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, pags 51-80.
- 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 HIDROGEOLÓGICA E INGENIERO GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO PUNTA GORDA, MOA

Yumisleidys Sánchez Sánchez ⁽¹⁾, **Yuri Almaguer Carmenates** ⁽¹⁾, **Constantino de Miguel Fernández** ⁽¹⁾

(1) Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. S/N Las Coloradas Moa. Holguín. Cuba. C.P. 83329, E-mail: ysanchezs@ismm.edu.cu; yalmaguer@ismm.edu.cu; cdemiguel@ismm.edu.cu

RESUMEN

El presente trabajo refleja los resultados de una investigación compleja que obtuvo una nueva generalización hidrogeológica e ingeniero geológica del yacimiento Punta Gorda, dados a partir de exploraciones realizadas a nivel de detalle, que incluyeron trabajos de campo y gabinete recientes. El estudio ofrece la determinación del régimen de las aguas subterráneas, el establecimiento de las particularidades de los acuíferos existentes, que denota al complejo acuífero de las ofiolitas, el cual se encuentra subdividido en dos horizontes, el primero en las lateritas (Capa 1 y Capa 2), que se caracterizan por poseer propiedades de acuitardo, el segundo y principal horizonte acuífero formado por las capas 3 y 4, de serpentinitas agrietadas, con régimen de acuífero semiconfinado.

Se realizó la caracterización geotécnica de los horizontes lateríticos, basada en la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), y el comportamiento de las propiedades físico – mecánicas; así como, el análisis del factor de seguridad en la corteza. Se obtuvieron e interpretaron planos de cohesión, ángulo de fricción y peso específico, mediante análisis estadísticos, para determinar el comportamiento de los suelos lateríticos según sus propiedades resistentes.

Con los resultados descritos acerca de la temática abordada, se puede inferir que con el diseño de sistemas de drenes naturales, se lograría disminuir la humedad presente en las lateritas; y a su vez, se podrían identificar las áreas más vulnerables a la ocurrencia de movimientos de masas durante el desarrollo de actividades mineras.

ABSTRACT

The present paper is about the results of the complex investigation obtaining a new hydrogeological generalization and geological engineering of Punta Gorda deposits, resulting of realized explorations to detail level, it includes theoretical and field work recently. The study offers the determination of groundwaters regime, it established the particularities of being aquifers that denote to complex aquifer of ofiolites, which is subdivided in two horizons, the first on laterites (Layer 1 and layer 2), characterized for having aquitard properties, the second and main aquifer horizon formed for layers 3 and 4, of fractured serpentinites, with regime of semiconfined aquifer.

The geotechnical characterization of laterites horizons was realized based on the classification of Unificated System of Soils Clasifcation (USSC), and the behaviour of chemistry and physical properties; as soon as, the analysis of security factors in the crust. Cohesion, friction angle and specific weight planes were interpreted and obtained, mediant stadistics analysis, for to determinate behaviour of laterits soils according to resistants properties.

With described results about the text, it can be infered with the design of naturals drainage, it could be possible to decrease the present humidity laterits, at the same time we could identified the over vulnerable areas to mass movements occurrence during the mine activities.

INTRODUCCIÓN

Millones de años reflejados en tiempo geológico han transcurrido y a su vez formado los yacimientos de ferroniquelíferos a partir de las rocas serpentinizadas del macizo ofiolítico. Su génesis, de



particularidades geológicas muy complejas, revela la notable influencia de las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas durante su formación.

A pesar de la experiencia acumulada en la explotación mineral e industrial de estos singulares yacimientos, aún existe pérdida y empobrecimiento de la materia prima mineral durante su extracción, debido precisamente a las características naturales de estos suelos, así como, a la influencia antrópica.

El desarrollo de las técnicas computacionales con la creación de nuevos software permiten, con el trabajo de bases de datos, obtener planos que caracterizan los complejos acuíferos con sus horizontes y las particularidades ingeniero geológicas de las cortezas lateríticas de estos yacimientos.

Las empresas de la Unión del Níquel, en proyectos de desarrollo minero, afrontan dificultades ante las condicionantes que imponen los agentes naturales. Precisamente, dirigido a elevar el conocimiento ante estas interrogantes, la presente investigación, permite profundizar en la caracterización ingeniero-geológica e hidrogeológica, siendo una útil herramienta durante la planificación minera en dicha entidad.

METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA INVESTIGACIÓN

La metodología aplicada en la investigación (Figura 1) para el análisis y establecimiento de las características hidrogeológicas e ingeniero geológicas del yacimiento Punta Gorda, parte de la recopilación bibliográfica a partir de la búsqueda de materiales y datos de trabajos ejecutados en el mismo (De Miguel C., 2004; Blanco et al, 2004), describiéndose el procedimiento utilizado en el procesamiento de las bases de datos, así como, para el análisis de la estabilidad de taludes y laderas, nos auxiliamos de dos métodos: según el Coeficiente de Correlación y el método de rotura planar, el cual es utilizado en zonas tropicales (Dos Santos y Augusto Filho, 2005). Este último es un método que se sustenta en el cálculo del factor de seguridad, tomando en cuenta variables como cohesión, peso específico, ángulo de fricción (tangente), inclinación de la pendiente (seno, coseno) y profundidad de ruptura.

Finalmente, con toda la información procesada e interpretación de los resultados obtenidos, podemos alegar que el método de rotura planar facilita la identificación de las zonas más vulnerables a la ocurrencia de deslizamientos, así como, determinar quizás con anticipo el riesgo que puedan presentar determinadas obras, sectores económicos o sociales, según el comportamiento que reflejen las variables anteriormente expuestas; así como, con el análisis del coeficiente de correlación se puede identificar de forma areal el comportamiento de las propiedades utilizadas. De ahí que, con toda la información obtenida durante la investigación realizada se haya llegado a una fundamentación más acertada acerca de la estabilidad del macizo rocoso, y conjuntamente concluido en la generalización hidrogeológica e ingeniero geológica del yacimiento Punta Gorda.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización hidrogeológica

En el yacimiento Punta Gorda existe un complejo acuífero formado por dos horizontes acuíferos estratificados o con capas (De Miguel, 2004), las que para mejor comprensión hidrogeológica, ingeniero - geológica y minero, es resumida su litología en la tabla I. Se encuentra el primer horizonte



representado por las lateritas, formada por dos capas, la primera denominada OICP (ocres inestructurales con perdigones) y la segunda subdividida en OII (ocres inestructurales iniciales), OEF (ocres estructurales finales) y OEI (ocres estructurales iniciales). En el caso del horizonte acuífero más profundo, es decir, el horizonte de las serpentinitas, está representado por las capas 3 (roca muy lixiviada) y capa 4 (roca agrietada).

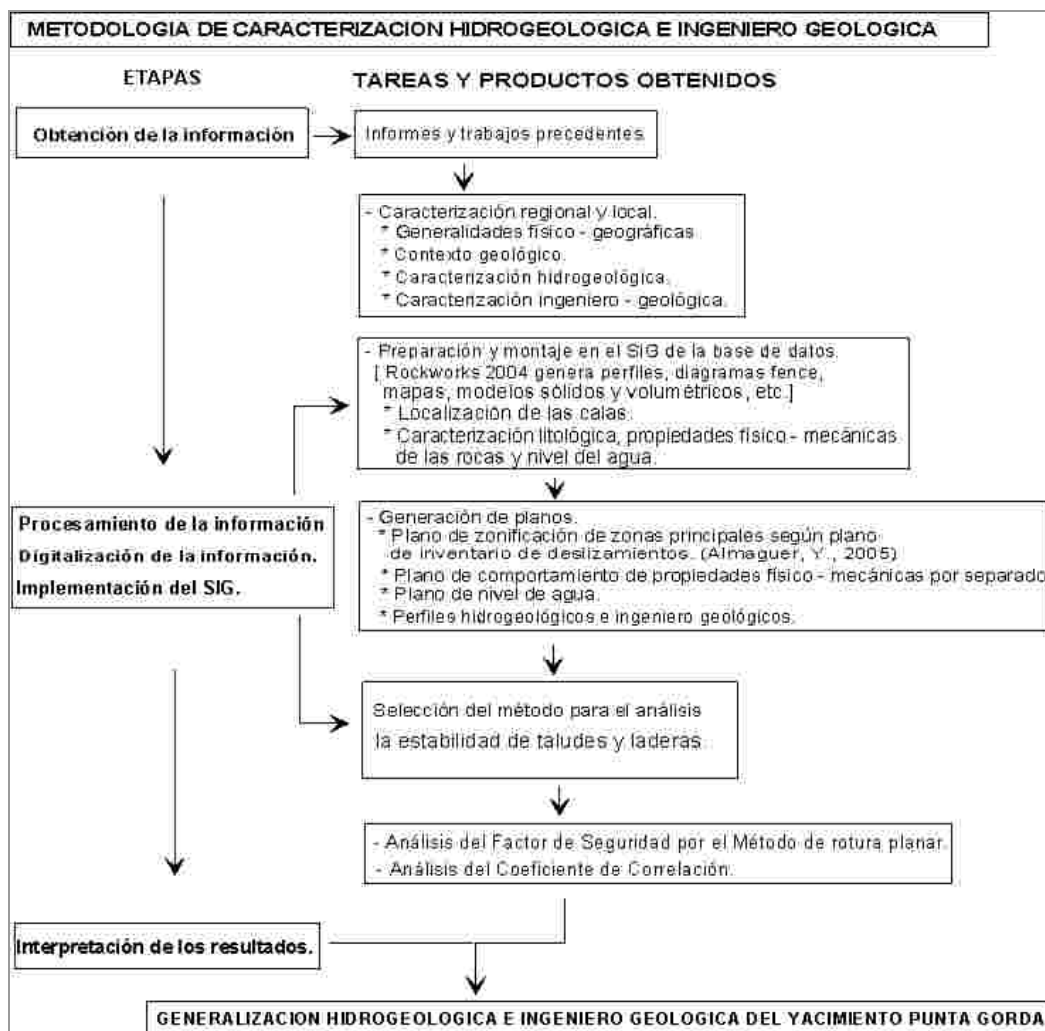


Figura 1: Organigrama que resume la metodología de la investigación.

El agua subterránea generalmente se detecta en las serpentinitas lixiviadas y serpentinitas agrietadas y su profundidad de afloramiento oscila en el yacimiento entre 0 y 27,4 m, en dependencia del relieve del terreno, de la profundidad de yacencia de estas rocas y espesor de las lateritas; siendo el ascenso del agua lento, hasta estabilizarse el nivel a distintas alturas de su cota de aparición. Este ascenso demuestra la existencia de presión de agua en las rocas acuíferas representadas por las serpentinitas, baja permeabilidad, conductividad de nivel y transmisividad de estas rocas.

Tabla I. Caracterización del complejo acuífero del yacimiento Punta Gorda. (De Miguel, 2004).

Horizontes acuíferos	Litología
----------------------	-----------



Lateritas	Arena gravo - limosa con fracciones gruesas constituidas por perdigones de hierro, con baja plasticidad (Capa 1 - OIP)
	Limo arcilloso de alta plasticidad (Capa 2 - OII, OEF, OEI)
Serpentinitas	Roca muy lixiviada, presente en forma de arena limo - gravosa con arcilla y fracciones de serpentinitas (Capa 3)
	Roca agrietada (Capa 4)

Los niveles de aguas subterráneas, en las calas hidrogeológicas realizadas en el yacimiento, se han estabilizado a profundidades que oscilan entre 4,1 y 29,2 m, en correspondencia con las presiones puntuales y locales del acuífero, relieve del terreno y ubicación en perfil del techo de las serpentinitas.

En el área del yacimiento las presiones en las aguas subterráneas oscilan entre 0 y 8,4 m, determinadas por la diferencia de cotas entre la cota de afloramiento del agua y cota de estabilización del nivel (Figura 2).

Hasta las profundidades estudiadas, el flujo de las aguas subterráneas y su dirección están influenciadas por el relieve del terreno, cauces de ríos y otras depresiones del terreno. Existe una dirección del flujo predominantemente en dirección Norte, hacia el río Moa, con desviaciones locales en los extremos del yacimiento en dirección al río Yagrumaje, río Los Lirios, depresiones del terreno con afluencia de agua (manantiales), y en la parte central del yacimiento existe un flujo radial en dirección a los pozos de explotación mineral que en profundidad cortan las rocas serpentiniticas.

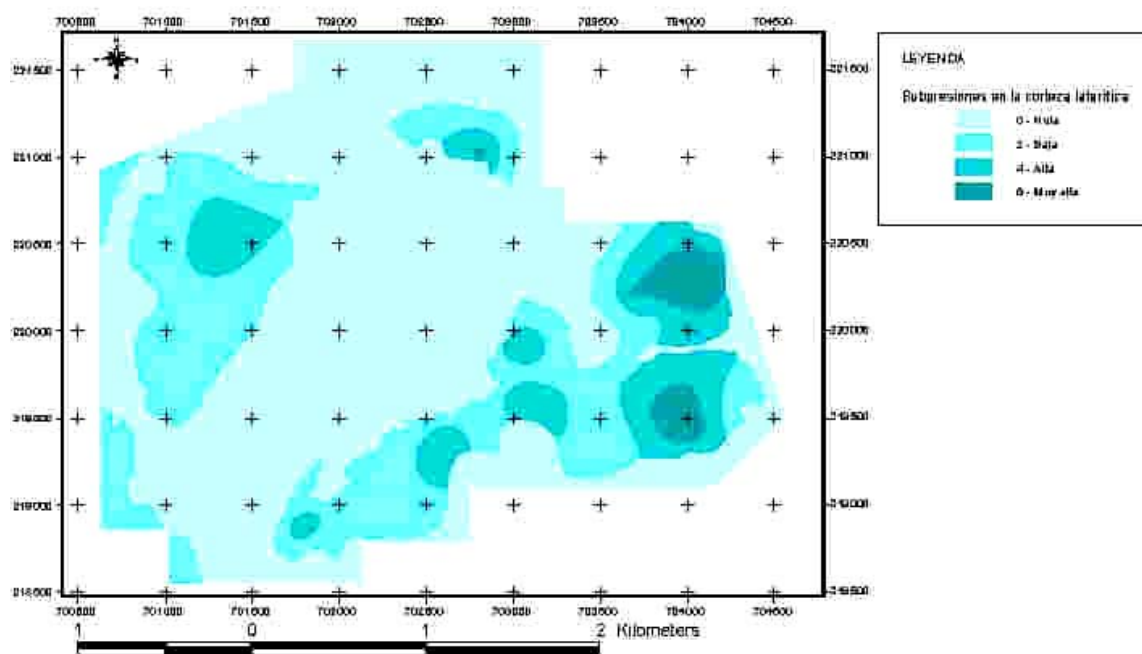


Figura 2. Plano de subpresiones de la corteza laterítica del yacimiento Punta Gorda (Escala original 1:2 000). (Almaguer, 2005).



El gradiente del nivel piezométrico de las aguas subterráneas oscila entre 0,0004 y 0,0232. Los valores más bajos caracterizan el área del yacimiento con menores pendientes del terreno los valores más altos caracterizan las áreas de mayores pendientes (Figura 3).

Los espesores saturados y acuíferos fueron totalmente perforados durante los trabajos de campo (perforaciones), a excepción del acuífero de las serpentinitas agrietadas, en las que solo se perforó 5 m bajo el techo de la serpentinita agrietada con la aparición del agua en cotas superiores y hasta unos 3 m bajo la cota de aparición del agua en las serpentinitas agrietadas. En el territorio los espesores de las serpentinitas alteradas es de unos 30 m como valor medio.

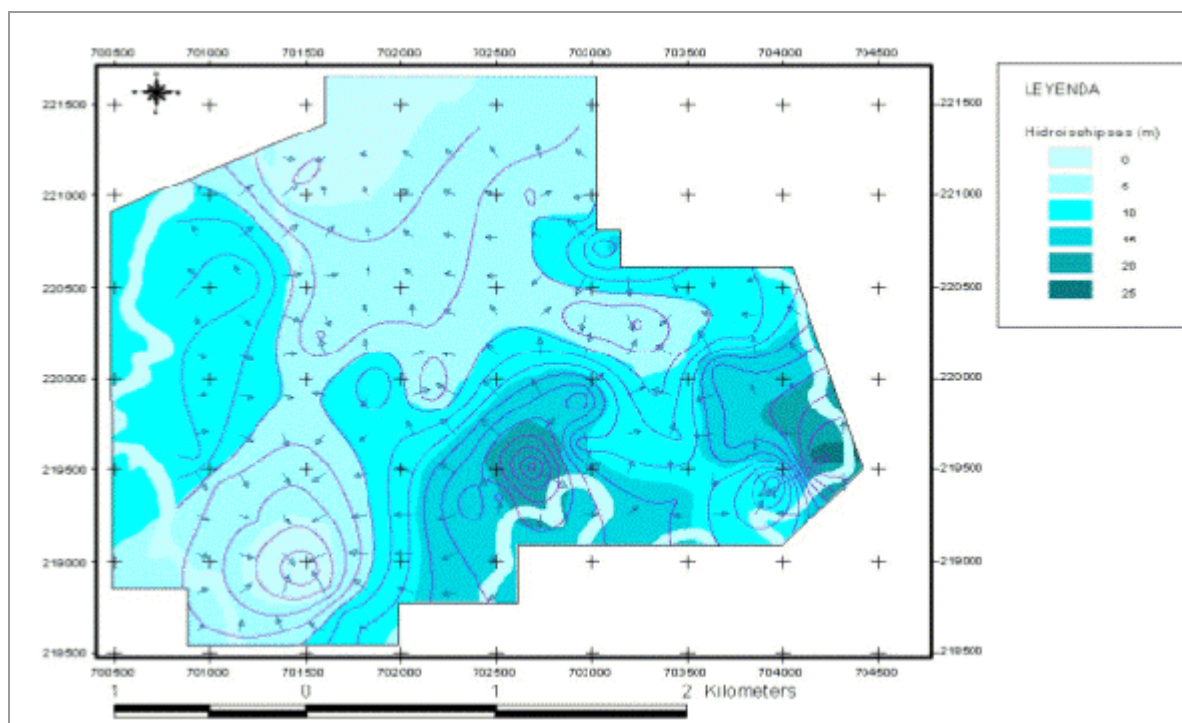


Figura 3. Plano de hidroisohipsas y dirección de flujos subterráneos en el yacimiento Punta Gorda. (Escala original 1:2 000). (Almaguer, 2005).

En las lateritas, la zona saturada no representa un acuífero, ya que debido a la litología existente, prácticamente no existe circulación lateral del agua, por lo que esta zona la podemos considerar como un acuitardo. Los espesores saturados perforados en las lateritas oscilan desde 0 m hasta 27,6m., y los mismos dependen del relieve del terreno y base de erosión del mismo. Los mayores espesores de las lateritas se encuentran en las áreas más altas del yacimiento.

La permeabilidad representada por el coeficiente de filtración resultó ser variable, tanto en las lateritas como en las serpentinitas. En las lateritas, el coeficiente de filtración oscila entre 0,006 y 0,21 m/día., y por capas sus valores medios son como sigue: Capa 1 – 0,106 m/día, Capa 2 – 0,043 m/día.

En las serpentinitas la permeabilidad oscila en valores entre 0,004 y 0,43, aunque en zonas de fallas se encuentran valores superiores a 3 m/día. Por capas en las serpentinitas la permeabilidad representada por el coeficiente de filtración alcanza los siguientes valores medios: Capa 3 – 0,044 m/día, Capa 4, sin considerar las zonas de fallas – 0,14 m/día.



Como puede observarse, la permeabilidad en la capa 4 (Serpentinitas agrietadas) es más de tres veces mayor que la permeabilidad de las serpentinitas lixiviadas (Capa 3) y que el de las lateritas (Capa 2) y 1,3 veces mayor que la permeabilidad del estrato de cubierta de las lateritas (Capa 1).

Se le determinó la acuosidad a las lateritas, por su importancia en el proceso minero – industrial, sus valores son bajos y expresados en l.seg/m de abatimiento son menores de 0,1 l.seg/m.

En la mayoría del área de distribución de las lateritas la acuosidad es predominantemente de origen capilar, por saturación debido a procesos de ascensos capilares desde mayores profundidades y teniendo como fuente las serpentinitas acuíferas, las que subyacen a las lateritas.

Las propiedades de ascenso capilar de las lateritas fueron determinadas basándose en la granulometría de los sedimentos analizados y su porosidad.

Como resultado de los cálculos efectuados, tenemos que los ascensos capilares en las lateritas oscilan entre 0 y 25,5 m. Los menores valores coinciden con espesores lateríticos de la Capa 1 que presenta la granulometría más gruesa, con ascensos que oscilan entre 2,4 y 3,4 m. En la capa 2 donde la granulometría es más fina, correspondiendo con ella los ascensos capilares oscilan entre 20 y 32,8 m. con medios de 26,0 m.

En la mayor parte del territorio del yacimiento Punta Gorda las lateritas yacen directamente sobre las serpentinitas lixiviadas y acuíferas, siendo la zona de contacto entre estas diferencias litológicas la mayor vía de circulación de las aguas subterráneas en las lateritas, por lo que las posibilidades determinadas de ascensos capilares en las lateritas por su granulometría, se hacen efectivas al estar estos sedimentos en contacto directo con el agua de su basamento.

Los ascensos capilares propiamente son efectivos a partir del nivel de estabilización de las aguas (por saturación) en estos sedimentos, debido a las subpresiones desde su basamento en las serpentinitas agrietadas, donde existen aguas confinadas con presiones moderadas. (Figura 2).

La humedad en las lateritas oscila en la Capa 1 entre 17,1% y 47,3%, en la Capa 2 oscila entre valores de 31,4 y 94,9%. Esta diferencia de valores de estas capas es debido a que en la Capa 1, la granulometría es más gruesa y sobre ella actúa directamente el proceso de evaporación, al ser la primera capa a partir de la superficie del terreno.

En la Capa 2, los mayores valores de humedad se registran en las sub-capas b y c, ubicadas a mayores profundidades y contactando la Capa c con las serpentinitas acuíferas. La humedad de estas capas está influenciada directamente por las presiones existentes en las aguas contenidas y que circulan por las serpentinitas, hasta niveles de equilibrio de esas presiones (Figura 2). Sobre la cota de acción de las subpresiones desde las serpentinitas, la humedad de las lateritas está influenciada directamente por los procesos de ascensos capilares a través de las lateritas desde la zona de humedad por presiones subyacentes o directamente desde las aguas contenidas en las serpentinitas.

Otro aspecto que influye en la humedad de las lateritas, lo representa la rugosidad del techo de las serpentinitas agrietadas y acuíferas, ya que en aquellos puntos donde presenta descensos con relleno de lateritas, estas se presentan con alta saturación, pudiendo en algunos casos encontrarse el agua a pequeñas profundidades.

En general, en todo el espesor de las lateritas, la humedad presente, de forma predominante hasta la superficie del terreno es originada por el ascenso de las aguas desde las serpentinitas, por las



presiones existentes en esas aguas y por los procesos de ascensos capilares que se desarrollan constantemente en las lateritas.

Durante los períodos de lluvia en la parte superior de las lateritas se produce una saturación (sobresaturación de los espesores de las lateritas) debido a la infiltración de las aguas de lluvia desde la superficie del terreno, esta saturación en profundidad se desarrolla hasta profundidades donde se equilibra con las humedades presentes debido a los ascensos capilares y subpresión desde las serpentinitas agrietadas.

Régimen de las aguas subterráneas

Con el estudio del régimen de las aguas subterráneas del yacimiento Punta Gorda, concluimos que las podemos diferenciar en los dos horizontes acuíferos que forman el complejo acuífero en las ofiolitas. El primer horizonte acuífero está desarrollado en las lateritas y formado por las dos capas que caracterizan los sedimentos en ellos presentes [Capa 1 y Capa 2, Tabla I].

En la capa 1 con espesor variado de 0 a 5 m. la presencia de agua de circulación libre se limita a los períodos de lluvia, cuando parte del agua que se precipita se infiltra y circula hacia zonas de drenaje de la capa, ocurriendo a la vez la evaporación de esta agua en partes o totalmente en zonas donde esta capa forma bolsones dentro de los sedimentos arcillosos de las lateritas.

Durante períodos de lluvia, desde esta capa ocurre la infiltración de las aguas a la Capa 2 estabilizándose la infiltración hasta profundidades en que las aguas saturan espesores no totalmente saturados por aguas que ascienden por los procesos de ascensos capilares y subpresiones de las aguas desde las serpentinitas agrietadas.

Por lo antes expuesto se deduce, que esta capa presenta un régimen de acuífero esporádico y su alimentación proviene principalmente de las aguas de lluvia que se infiltran en una proporción mínima, de las aguas que llegan hasta ella por ascensos capilares de aguas que yacen a mayores profundidades.

En el primer horizonte acuífero y bajo la Capa 1 yace la Capa 2 con espesor saturado que oscila entre 0 y 8 m. y formada por tres subcapas. En esta Capa como acuífero está presente un acuitardo, debido a que la granulometría de los sedimentos presentes no permite la libre circulación de las aguas. Sin embargo, las propiedades acuíferas las determina el alto grado de saturación de las lateritas, por procesos de ascensos capilares que se desarrollan en ella y que provocan una muy lenta circulación de las aguas, en este caso, en sentido vertical ascendente, hasta la superficie del terreno o hasta la Capa 1 que forma la cubierta del yacimiento, donde en períodos de seca principalmente, el agua es evaporada.

En períodos de lluvia, por la infiltración de las aguas desde la Capa 1 se produce un movimiento vertical descendente de las aguas que se infiltran, hasta profundidades en que las lateritas están saturadas por aguas de ascensos capilares y que han ascendido por las subpresiones presentes en las lateritas. (Figura 2).

De tal forma, el régimen de flujo de esta capa es permanente y predominantemente ascendente, teniendo como zona de drenaje la Capa 1 y la superficie del terreno desde donde se evaporan las aguas. Durante los períodos de lluvia, existe un régimen vertical descendente de infiltración y éste en tiempo depende también del período de duración de lluvias y del tiempo que demore la saturación de la parte superior de las lateritas, hasta profundidades en que las mismas, aunque presentan humedad, no están totalmente saturadas por las aguas de ascensos capilares aquí presentes.



El segundo horizonte acuífero en profundidad formado por las capas 3 y 4 tiene sus propias diferenciaciones. La Capa 3 formada por serpentinita agrietada con espesor máximo de unos 30 m., es la capa de mayor acuosidad en el complejo acuífero de las ofiolitas, por tener una mayor permeabilidad y libre circulación del agua. Por estas condiciones y su yacencia bajo sedimentos de mucho menos permeabilidad, presenta régimen de acuífero semiconfinado con presiones notables, aunque no sobrepasan los 10 m (1 atmósfera).

La alimentación de la Capa 4, se debe a la infiltración de las aguas de lluvia, en aquellas zonas donde aflora a la superficie del terreno y por infiltración de las aguas de fuentes fluviales representadas por cauces de los ríos Yagrumaje, Los Lirios y otros. El drenaje de esta Capa se produce predominantemente por su escurrimiento, hacia zonas bajas que se corresponden con los ríos Moa y Yagrumaje, donde estos escurren en cotas más bajas. En segundo orden y en pequeñas proporciones, esta Capa presenta un drenaje vertical ascendente desde su techo, causado por los procesos de ascensos capilares de las lateritas que absorben las aguas desde las serpentinitas y posterior evaporación desde la superficie del terreno de las aguas que ascienden.

Caracterización ingeniero geológica del yacimiento Punta Gorda

El yacimiento cobalto níquelífero de Punta Gorda se encuentra ubicado dentro de un macizo ofiolítico y por las características estratigráficas y litológicas de los sedimentos y rocas presentes en la parte superior del corte y sus propiedades físico mecánicas, se diferencian cuatro capas con sub-capas geotécnicas. [Tabla II].

Análisis del factor de seguridad por el método de rotura planar. Según este modelo de rotura, el cálculo del factor de seguridad puede ser obtenido por la ecuación (Dos Santos y Augusto Filho, 2005) presentada a continuación:

$$FS = \frac{c + \gamma * \cos^2 i * \tan \phi}{\gamma * z * \cos i * \text{seni}}$$

Donde:

c – cohesión

γ - peso específico

i – inclinación de la pendiente

ϕ - ángulo de fricción

z - profundidad de rotura

Tabla II. Horizontes ingeniero-geológicos presentes en el yacimiento Punta Gorda (Guardado y Almaguer, 2001; Blanco et al, 2002; Almaguer et al, 2005a; Almaguer, 2005).

Horizontes ingeniero geológicos		Horizontes geólogo-genéticos	Tipo de suelo (SUCS)	Observaciones
4		Ocre inestructural con perdigones (OICP)	SM – Arena gravo-limosa con fracción gruesa constituida por perdigones de óxido de hierro. Plasticidad baja. Color – Rojo ladrillo oscuro.	A medida que se desciende en el corte aumenta la humedad, disminuyen los pesos específicos
3	3c	Ocre inestructural sin perdigones (OI)	MH- Limo arcilloso de alta Plasticidad. Color- varía desde carmelita amarillento hasta verde amarillento, en partes	



	3b	Ocre estructural final (OEF)	abigarrado.	naturales y disminuyen las características resistentes.
	3a	Ocre estructural inicial (OEI)		
2		Serpentinita lixiviada (RML)	SM – Arena limo-gravosa con arcilla, con fracción gruesa constituida por fragmentos de serpentinitas. La fracción fina presenta alta plasticidad. Color- verdoso.	
1		Roca ultrabásica Serpentinizada (RMA)	Roca.	

Suelos SM (OICP). Los resultados obtenidos a partir del cálculo del factor de seguridad (FS) en los suelos SM, que se asocian a los ocre inestructurales con perdigones (OICP) en el cortante rápido saturado, determinan un FS óptimo para profundidades de superficie de rotura de valores ≤ 1 m, con una pendiente que no exceda los 5° ; sin embargo, si esta aumentara a 10° se comportaría medianamente estable, al igual que a una profundidad de 2 m con 5° de pendiente.

Suelos MH (OII, OEF, OEI). En suelos tipo MH, según el cortante rápido saturado, el FS resulta óptimo para 5° de pendiente con valores ≤ 1 m, y medianamente estables para profundidades de 2 m. Sin embargo, cuando la pendiente se eleva a 10° , resulta igual el comportamiento al descrito con anterioridad con 1 m de profundidad.

Suelos SM (SL). En suelos tipo SM, según las características de ambos cortantes (rápido y lento saturado), presentan un FS con estabilidad a los 5° de pendiente del terreno a profundidades con valores ≤ 4 m, al igual que con 10° y 2 m, hasta 15° con 1 m de profundidad de la superficie de rotura. Sin embargo, esto varía de $20^\circ - 25^\circ$ con 1 m y 5° con 6 m, pues resulta medianamente estable.

Análisis estadístico. Se realizó un análisis del coeficiente de correlación, con la finalidad de demostrar la relación existente entre las variables utilizadas con respecto al factor de seguridad [Tabla III]. Dicho análisis se demuestra a continuación:

- Correlación negativa entre el FS y la pendiente del terreno. Esto significa que con la disminución de los valores del factor de seguridad, la pendiente tiende a aumentar, resultando por tanto, una mayor inestabilidad en los taludes y laderas, ya que las fuerzas movilizadoras superarían considerablemente en valor a las resistentes.
- Correlación negativa entre el FS y la profundidad de superficie de rotura. Revela un comportamiento similar al anterior, ya que el aumento de la profundidad de superficie de rotura provoca una disminución en los valores del FS, donde la inestabilidad en los taludes y laderas resulta evidente.
- Correlación negativa entre el factor de seguridad y la cohesión. Esto significa que con el aumento de la cohesión, disminuyen los valores del factor de seguridad, por el incremento de materiales arcillosos, los cuales se relacionan con la potencia de los ocre estructurales, con aumento de la humedad y el peso propio del suelo.
- Correlación positiva entre el factor de seguridad y el peso específico. Cuando existe un incremento de los valores del peso propio, se evidencia la influencia del peso específico de los ocre inestructurales con perdigones (OICP), que son los que más peso tienen en el corte, debido a su contenido de material arenoso y a que poseen menor contenido de humedad.



Tabla III. Análisis de correlación entre variables de cálculo del factor de seguridad con el método de rotura planar.

Correlación	C	Peso Esp.	H	Pendiente
FS	-0,06	0,11	-0,33	-0,35

Comportamiento areal de las propiedades físico – mecánicas de las rocas

A partir de las características presentes en las propiedades físico – mecánicas de las rocas analizadas se ha podido determinar el comportamiento de los suelos existentes en el yacimiento Punta Gorda. De ahí, que su interpretación resulte de primordial importancia, ante la probabilidad de ocurrencia de algún fenómeno natural o provocado artificialmente, ya que dichos suelos son extremadamente susceptibles al desarrollo de movimientos de masas, como deslizamientos de taludes y laderas inestables.

De acuerdo a la distribución areal de la media ponderada de los valores de cohesión existe una concentración hacia el N - NW del área, con valores entre 0,01 y 0,29; lo cual refleja por una parte la relación directa con el aumento de los contenidos de materiales arcillosos y la disminución de los arenosos en la corteza, además de ser un indicador de las propiedades resistentes de los mismos. (Figura 4).

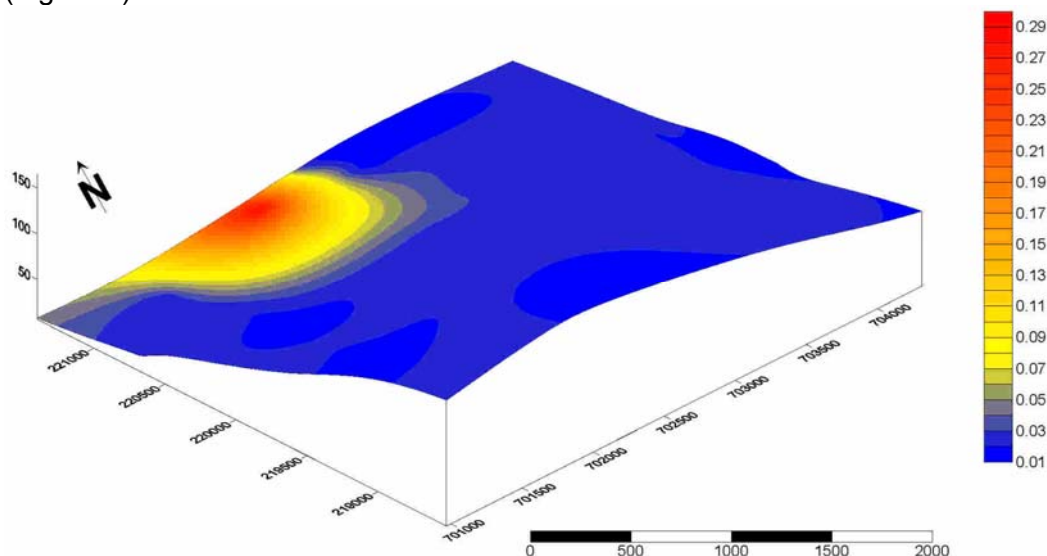


Figura 4. Plano de comportamiento de la cohesión.

El plano de comportamiento del ángulo de fricción revela una concentración marcada hacia el S – SE - SW con valores entre 12 y 24.5, los más altos reportados por el ángulo de fricción en el yacimiento Punta Gorda; se observan hacia el SW – NW del plano en cuestión, lo cual explica la existencia de suelos más arenosos con menos contenidos de arcilla y de mayor resistencia. En las zonas de menores ángulos de fricción, ubicadas hacia el NE y en forma alargada al W, y con menos magnitud al E, se debe prestar especial atención a la estabilidad de los taludes de explotación, por la predisposición natural debido a la disminución de las fuerzas resistentes. (Figura 5).

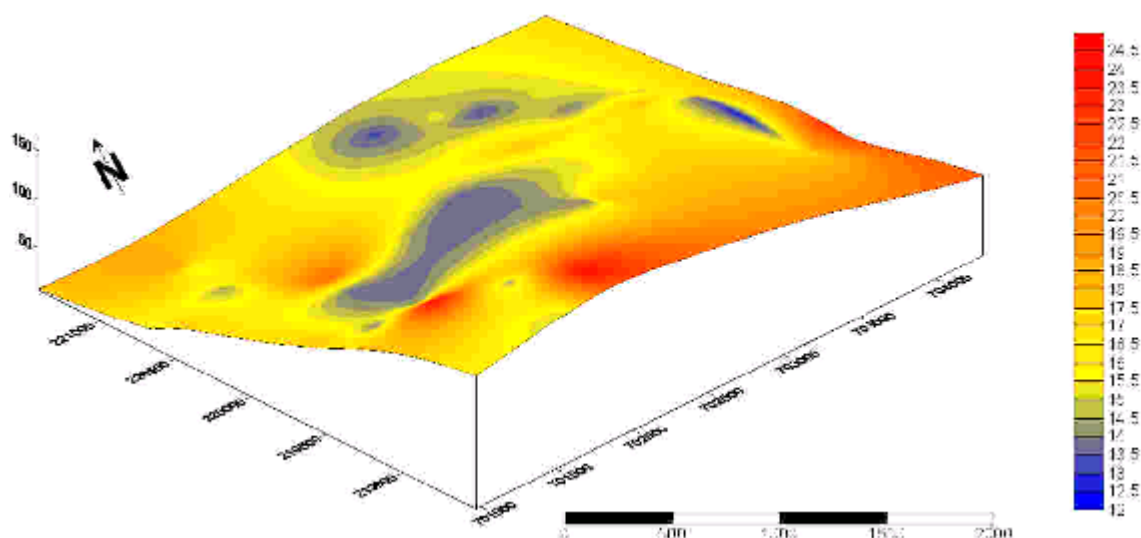


Figura 5. Plano de comportamiento del ángulo de fricción.

El plano de comportamiento del peso específico refleja hacia el NE y meridionalmente en forma alargada al E un incremento de los valores de peso específico, propiedad que suele comportarse inversamente proporcional con respecto a la resistencia de estos suelos porque incrementa el peso propio y por tanto las fuerzas movilizadoras, provocando aumento de la inestabilidad del terreno. Sin embargo, los valores mínimos se concentran fundamentalmente hacia el S – SE del plano, y de forma aislada hacia el E, lo cual es símbolo de suelos relativamente estables. (Figura 6).

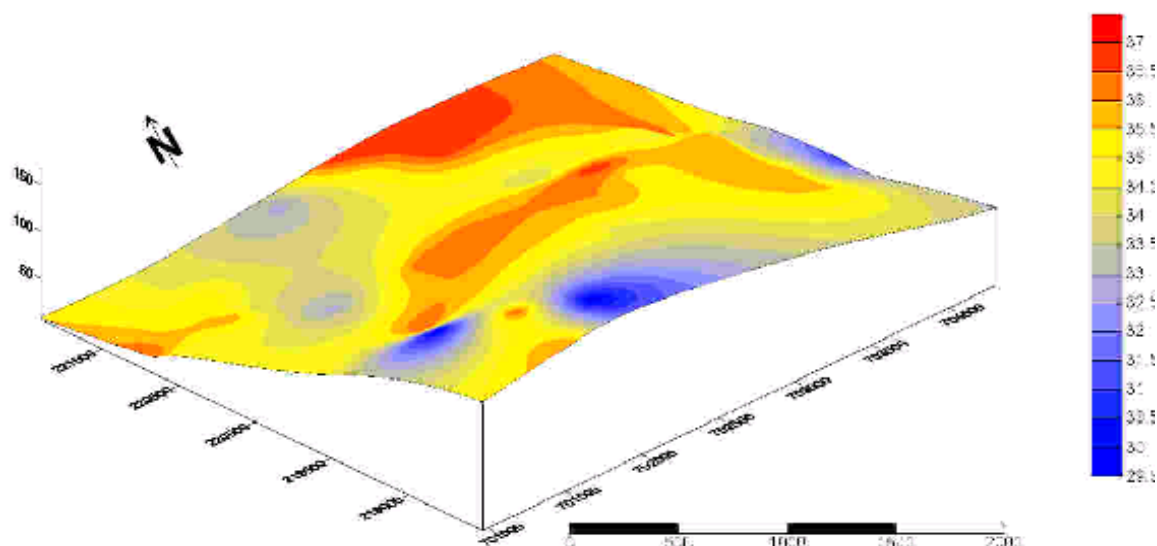


Figura 6. Plano de comportamiento del peso específico.

CONCLUSIONES

1. Desde el punto de vista hidrogeológico, las condiciones existentes en el yacimiento Punta Gorda son poco complejas. Existe un complejo acuífero formado por dos horizontes, el primero en las lateritas (Capa 1 y Capa 2), que se caracteriza por poseer propiedades de “acuitardo”, el segundo y principal horizonte acuífero está formado por las capas 3 y 4, de



serpentinitas agrietadas, con un régimen de acuífero semiconfinado. La profundidad de afloramiento del agua subterránea varía en función del relieve del terreno y profundidad del techo del acuífero en las Serpentinitas agrietadas y oscilan entre 1 y 27,4 m. La dirección del flujo subterráneo general es en dirección al Norte, con desviaciones locales hacia ríos y pozos de explotación mineral existentes.

2. De acuerdo a los cálculos del FS los suelos SM (OICP) según datos de cortante rápido saturado, determinan una estabilidad óptima para profundidades de superficie de rotura ≤ 1 m, con una pendiente que no exceda los 5° . Sin embargo, a los 10° se comporta medianamente estable, al igual que a una profundidad de 2 m con 5° de pendiente.
3. El FS en suelos MH (OII, OEF, OEI) según el cortante rápido saturado, resulta óptimo para 5° de pendiente con valores ≤ 1 m, y medianamente estable para profundidades de 2 m. Sin embargo, cuando la pendiente se eleva a 10° , resulta igual el comportamiento al descrito con anterioridad con 1 m de profundidad.
4. Los suelos SM (SL) reflejan un FS con estabilidad a los 5° de pendiente del terreno a profundidades con valores ≤ 4 m, al igual que con 10° y 2 m, hasta 15° con 1 m de profundidad de la superficie de rotura. Sin embargo, esto varía de $20^\circ - 25^\circ$ con 1 m y 5° con 6 m, pues resulta medianamente estable.
5. La interpretación de los planos de cohesión, ángulo de fricción y peso específico, obtenidos a partir del cálculo de la media ponderada, revelan la existencia de suelos que indican las propiedades resistentes de los mismos hacia el N – NW con el aumento de materiales arcillosos según la valoración de la cohesión; concentración marcada al S- SE- SW reflejando el contenido arenoso de la corteza laterítica, y además, la resistencia de la misma evaluando el comportamiento del ángulo de fricción; y, al NE y meridionalmente al E se incrementan los valores de peso específico, que a su vez implica un aumento de las fuerzas movilizadoras y provoca inestabilidad del terreno.

BIBLIOGRAFÍA

- Almaguer Y., 2005: "Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamientos en el yacimiento Punta Gorda". Tesis Doctoral, ISMM. p: 108.
- Blanco J. L. y E. Llorente, 2004: "Investigación ingeniero-geológica e hidrogeológica de la Base Minera Punta Gorda". Archivos de la Subdirección de Minas, Empresa Ernesto Che Guevara, Moa, Cuba. (Informe Técnico).
- De Miguel C., 2004: "Informe hidrogeológico conclusivo sobre: Investigación ingeniero-geológica e hidrogeológica de la Base Minera Punta Gorda. Archivos de la subdirección de Minas, Empresa Ernesto Che Guevara, Moa, Cuba.
- Dos Santos Oliveira A. y O. Augusto Filho, 2005. Análise de Movimentos de Massa com Base em Observações do Evento do Ano 2000 de Campos de Jordão (Estado de São Paulo, Brasil). Solos e Rochas (Revista Latino-americana de Geotecnia), São Paulo, Brasil, Vol. XXVIII (No. 1): p: 99-111.

LAS CARACTERÍSTICAS GEOLOGO - HIDROGEOLOGICAS DEL RIO YAGRUMAJE

Amparo Velázquez Velazquez⁽¹⁾ , Constantino de Miguel Fernández⁽²⁾

(1) Empresa de Ingeniería y Proyectos de Níquel, Carretera Moa Sagua km 1 1 / 2 Moa, Holguín, Cuba CP: 83300, E-mail: Avelazquezv@ceproni.moa.minbas.cu

(2) Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Las Coloradas s/n CP 83300 Moa, Holguín, Cuba, cdemiguel@ismm.edu.cu.

RESUMEN

El Río Yagrumaje se localiza en la ciudad de Moa y colinda con los yacimientos ferroniquelíferos Punta Gorda y Yagrumaje Este, lo que le atribuye una importancia especial al mismo y surge la necesidad de conocer sus características geológico hidrogeológicas con vistas a la futura ejecución de obras ingenieriles de gran envergadura en esta zona.

Para lograr los objetivos se ejecutaron itinerarios geológicos e hidrogeológicos a partir de los cuales se realizaron mediciones de buzamiento, dirección y frecuencia de aparición de las grietas, apertura, rugosidad, persistencia y presencia de agua.

Se realizaron además mediciones de caudal a través del cauce y se calcularon los principales parámetros hidrológicos de la cuenca, realizando un muestreo hidroquímico que permitió conocer después de los análisis fisicoquímicos parámetros tales como el pH, conductividad, turbidez, sólidos totales disueltos, color.

Se determinaron los principales macrocomponentes en las aguas superficiales (CO_3 , HCO_3 , SO_4 , Cl y Mg, Ca, Na, K, SiO_2), así como algunos microcomponentes tales como el Fe, Ni, Co, Mn.

A partir de los resultados se conoce que la cuenca se encuentra compuesta por rocas ultrabásicas serpentizadas, una parte ocupada por depósitos sedimentarios de edad Paleógeno y Neógeno – Cuaternario, con un desarrollo de la corteza de intemperismo. El procesamiento de las grietas en el área determinó 4 sistemas o familias de grietas de dirección NW – SE, el caudal se incrementa en su curso y por su composición química las aguas hidrocarbonatadas cloruradas magnéticas.

ABSTRACT

Yagrumaje River is located in Moa city and is adjacent to Punta Gorda and Yagrumaje East nickeliferous ore bodies, giving a remarkable importance to the site, where the geological- hydro-geological features are important to be known in order to develop significant engineering Works in the area.

In order to achieve the objectives geological and hydro-geological itineraries are developed where dip measurements, frequency and direction of cracks appearance, opening, roughness, persistence and water presence are carried out.

Width measurements were also Developer through the stream, calculating the main hydro-geological parameters, carrying out a hydro-chemical sampling allowing to know the parameters such as pH, conductivity, turbidity, total dissolved solids and colour after the physical-chemical analysis.

The main macro components in the surface water were determined (CO_3 , HCO_3 , SO_4 , Cl and Mg, Ca, Na, K, SiO_2), as well as some micro components such as Fe, Ni, Co, Mn.

According to the results, there are some ultrabasic weathered rocks, a part occupied by sedimentary deposits belonging to the Paleogene and Neogene – Quaternary periods, with a development in the weathering layer. The cracks process in the area determined 4 systems or crack families from NW – SE, the width is increased through its course, observing magnesian-hydrocarbonated-chlorinated waters.

INTRODUCCIÓN

La reservas de aguas en el municipio de Moa son abundantes representadas por una densa red hidrográfica que fluye de sur a Norte desembocando en el océano Atlántico.

El conocimiento actual sobre las características geológicas, hídricas e hidroquímicas de las mismas son escasas y dentro de esta red se localiza el Río Yagrumaje, objeto de la investigación. El mismo circula a través de los yacimientos de níquel de la Empresa Cmdte Ernesto Che Guevara y es altamente afectado por la actividad minera.

A partir de la necesidad del conocimiento de las características geológicas, hídricas e hidroquímicas de esta cuenca, dado por la importancia que reviste para los trabajos de búsqueda, exploración de los recursos minerales existentes y el conocimiento estructural de las rocas sobre las cuales se desarrollan los mismos y para garantizar una mejor proyección de las obras construidas por el hombre y la protección del medio ambiente en general se desarrolla nuestro trabajo el cual servirá de base para el desarrollo de futuras investigaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

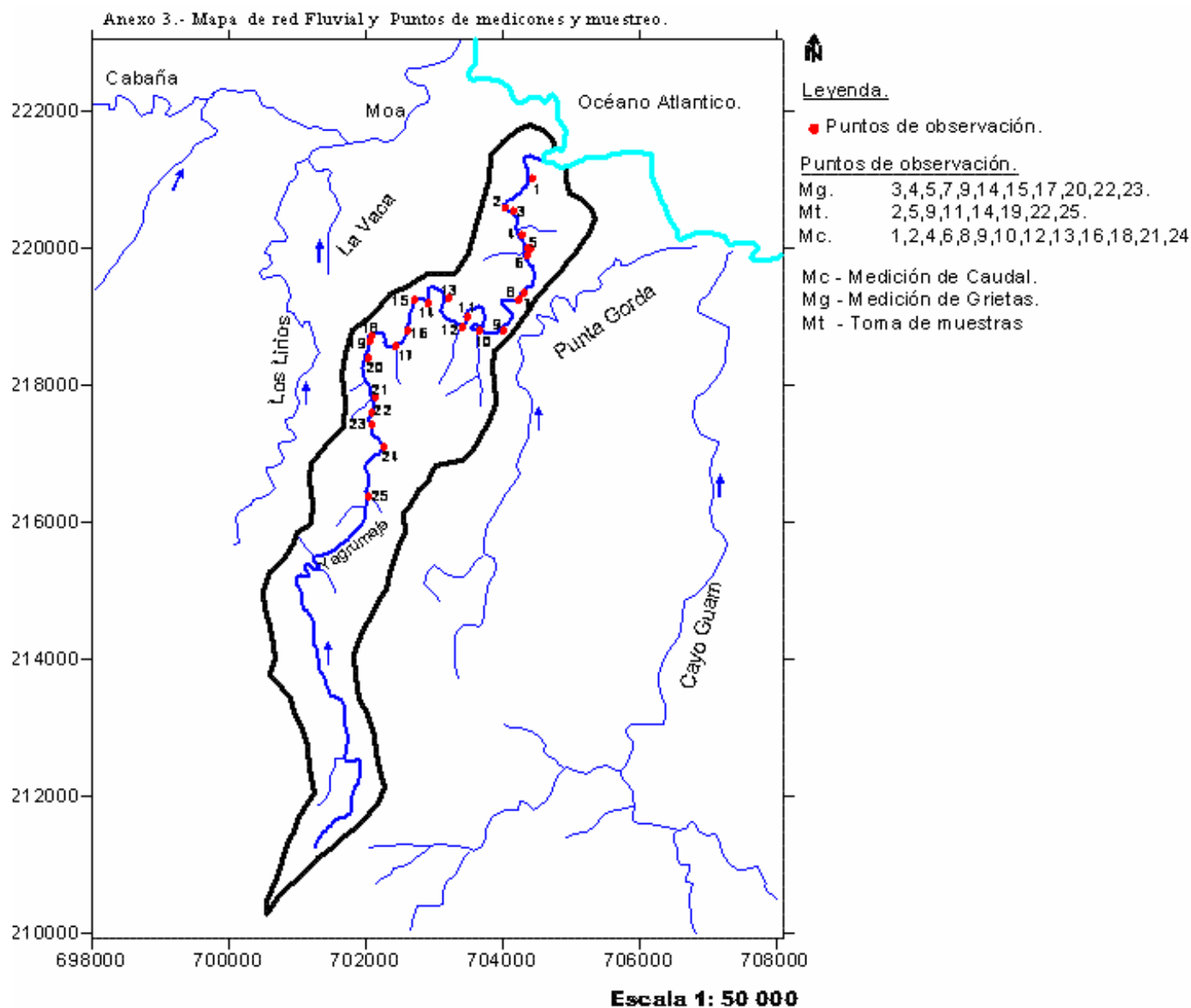
Para la ejecución del presente trabajo, como etapa posterior a la recopilación y análisis de la información, se realizaron los itinerarios geólogo hidrológicos en un área de 14.8 km² a través del cauce del Río Yagrumaje, el cual tiene una extensión de 13100 m

En el área se realizaron mediciones en un total de 25 puntos, dentro de los cuales se efectuaron 32 mediciones, 8 de ellas fueron toma de muestras de agua, a una distancia de un kilómetro entre puntos. Otras 13 correspondieron a la medición de caudal, los cuales se ejecutaron a una distancia de quinientos metros y las 11 restantes a la medición del agrietamiento, (medición de buzamiento, dirección, frecuencia de aparición, apertura, rugosidad, persistencia, presencia de agua etc), las que se realizaron a una distancia de un kilómetro, así como la documentación de afloramientos y la descripción de los tipos de rocas presentes.

En el área de evaluación se tomaron 8 muestras de aguas superficiales las cuales fueron analizadas posteriormente en el Laboratorio de la Planta Potabilizadora de agua de la Empresa Ernesto Che Guevara, con el objetivo de conocer las características físico-químicas de las mismas. En cuanto a las propiedades físicas, se determinó para cada una de las muestras: pH, conductividad, turbidez, sólidos totales disueltos, color. Se determinaron los macrocomponentes (CO₃, HCO₃, SO₄, Cl y Mg, Ca, Na, K, SiO₂), así como algunos microcomponentes tales como el Fe, Ni, Co, Mn. Para esto vamos a relacionar el equipamiento que fue utilizado para obtener la mayor precisión posible en los resultados.

- Para las determinaciones relacionadas con la conductividad, sólidos totales disueltos y salinidad empleamos el conductímetro WTW LF - 330 UNICAM.
- Determinaciones de pH, el potenciómetro WTW UNICAM.
- Obtención del color, análisis colorimétricos, Fe, SiO₂, y SO₄, nos apoyamos en el espectrofotómetro DR - 2000 y el espectrofotómetro ultravioleta visible Helios λ UNICAM. En la determinación del Cl⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, CO₃⁻, HCO₃⁻ y para los restantes se empleó valoración volumétrica, estableciéndose el residuo seco por el método gravimétrico

Grafico No 2 .Mapa de datos reales



RESULTADOS Y DISCUSION

Características geológicas de la cuenca del Río Yagrumaje.

El área que ocupa la cuenca Yagrumaje está compuesta fundamentalmente por rocas ultrabásicas serpentinizadas, una parte ocupada por depósitos sedimentarios de edad Paleógeno y Neógeno – Cuaternario, con desarrollo de la corteza de intemperismo.

Existe un grado de serpentización que oscila aproximadamente del 30% - 60%, lo que dificulta la determinación en muchos casos de la composición primaria de las rocas, con un mayor desarrollo de las harzburgitas, que representan por si mismas unas rocas masivas oscuras, de matiz verdusco o pardusco, compuesto por olivino de granos finos que es posible observar entre los granos de piroxenos, aunque en el área se han observado piroxenitas y dunitas. Estas observaciones se realizan en zonas cercanas al nacimiento, no siendo así hacia las zonas más bajas de la cuenca, donde las rocas han sufrido una mayor actividad tanto tectónica como química y las rocas presentan un mayor grado de serpentización.

Las márgenes del río en su mayoría están cubiertas de vegetación, aunque es posible observar dentro de la corteza depósitos clásticos gruesos poco clasificados, de composición serpentinitica, coloreados de verde amarillo, carmelita, los fragmentos pueden ser subangulosos, semiredondeados, su tamaño puede oscilar desde gravoso, mediano, grandes.

En el sector estudiado de la cuenca del río Yagrumaje fueron detectados los siguientes complejos rocosos:.

- ❖ **Rocas ultrabásicas serpentinizadas (K_2).** Aparecen representadas hacia la parte sur de la cuenca, ocupando los valles del arroyo Los Lirios y el Río Yagrumaje. Estas rocas se presentan muy serpentinizadas, y están representadas fundamentalmente por harzburgitas serpentinizadas. Se le atribuye una edad Cretácico Medio (K_2).
- ❖ **Corteza laterítica ferroniquelífera (N_1).** Aparece representada hacia la parte Suroeste - Sureste de la cuenca. Es una corteza madura, con un completo desarrollo del perfil laterítico. Yace inmediatamente por encima de las rocas madres representadas por las harzburgitas serpentinizadas. Su formación tiene relación con la transgresión marina. Su edad posible es Mioceno (N_1). Producto a la tectónica y al desarrollo geológico de la región, el levantamiento y hundimiento de la corteza trae como consecuencia que el material de esta corteza en los bloques levantados, sea sometido a la erosión. Posteriormente este material es transportado (al parecer la distancia de transportación fue corta y la erosión intensa) y por ultimo se acumula, dando lugar a un material sedimentario que tiene las mismas características que la corteza de la que proviene. Estas lateritas sedimentarias son de una edad más joven que la corteza de lateritas ferroniquelíferas.

A medida que sucedía el desarrollo geológico de la zona, la tectónica iba actuando directamente sobre estos materiales y con el mecanismo anterior, estos materiales ya formados iban sufriendo la acumulación de materiales procedentes de su misma fuente de origen, pero de edad más jóvenes que estos.

- ❖ **Laterita sedimentaria (N_2).** Aparece representada en toda la parte Nordeste - Noroeste de la cuenca. Es un material que proviene de la corteza laterítica ferroniquelífera, al ser sometida al intemperismo y la erosión. Se desarrolla un perfil de intemperismo que puede ser muy variable: incompleto, complejo o reducido, lo que está en dependencia de la intensidad del proceso de intemperismo. Su contacto con la corteza de edad más vieja es discordante, su edad posible es Plioceno (N_2).
- ❖ **Laterita sedimentaria (Q_1).** Aparece en la parte norte de la cuenca, en dirección Norte- Oeste. es un material proveniente del anterior, que producto al intemperismo, y a la erosión es arrastrado

y acumulado. El material que forma el perfil laterítico, aunque tiene las mismas características de la corteza original, está más desordenado que en el caso anterior, lo que hace posible que estas zonas se caractericen por presentar perfiles reducidos, complejos y muy complejos. Todo esto en dependencia también del grado de madurez de la corteza de intemperismo. Su formación está relacionada con el nuevo levantamiento de la zona, el cual se mantiene en la actualidad. Es de edad más joven que la secuencia anterior. Es de edad posible Pleistoceno (Q_1).

- ❖ **Depósitos detríticos aluviales (Q_2).** Aparece representado en los valles de los Ríos Moa, Yagrumaje, los arroyos Los Lirios y La Vaca. Es un material que se acumula en los valles Fluviales y proviene por lo general del arrastre y acumulación del material laterítico en tiempos recientes, por parte de la erosión y de las aguas fluviales. Es de reciente acumulación, Holoceno Reciente (Q_2).

La tectónica del área de estudio es sumamente compleja, se encuentra bajo la influencia de dos grandes fallas regionales que pasan por los valles de los Ríos Moa y Cayo Guam. Por su parte la cuenca se encuentra bajo la influencia de una falla de primer orden que es el Río Moa, a partir de ella se desarrolla en la cuenca toda una serie de fracturas de segundo orden, entre los que se destacan. , 2000). Así como análisis de las fotos aéreas de la cuenca:

- Falla Yagrumaje NE: Presenta una dirección $N30^\circ E$, con una longitud aproximada de 1000m.
- Falla Yagrumaje NW: Tiene una dirección $N50^\circ W$ con una longitud aproximada de 1500.
- Falla Yagrumaje: E: Se encuentra al norte, a lo largo del río ocupando una extensión de 1100m con dirección $N52^\circ E$.
- Falla Yagrumaje: N: Se extiende desde el centro del área hacia el norte con una longitud de 1500m, de dirección $N3^\circ W$.
- Falla Yagrumaje abajo: se extiende aproximadamente 1100m a lo largo del río, en dirección $N2^\circ W$.
- Falla Yagrumaje centro: Asociada a una estructura que atraviesa al río en el centro del área con una extensión de aproximadamente de 1100 m en dirección $N80^\circ W$.
- Falla Yagrumaje: Asociada a una estructura de dirección $N75^\circ E$ con extensión de 1000m.
- Falla Yagrumaje arriba: Posee dirección $N80^\circ W$, se extiende a lo largo de la desembocadura del Río Moa hasta Punta Yagrumaje.
- Falla Yagrumaje: asociada a un tramo recto a lo largo de la desembocadura del Río Yagrumaje con una extensión de 1300m, en dirección $N80^\circ W$.

❖ **Caracterización hídrica del Río Yagrumaje.**

La cuenca del Río Yagrumaje con un área total de 14.8 Km² está ubicada al sureste de la ciudad de Moa a unos 6 Km de la misma en línea recta. Sus aguas vierten directamente al Océano Atlántico

La cuenca es estrecha y alargada en forma de “pluma” con alineación suroeste a noreste, teniendo su inicio en las coordenadas N; 210,200 E; 700,500. Según el sistema Lambert. .Más del 95 % de la cuenca se encuentra en la vertiente Norte de la cordillera Sagua – Moa - Baracoa, el resto es un relieve costero.

La alimentación del Río Yagrumaje se caracteriza por dos períodos bien definidos: el húmedo de Octubre a Mayo cuando ocurren las mayores precipitaciones en cantidad e intensidad, presentándose las mayores precipitaciones en la parte alta de la cuenca con magnitudes medias históricas hasta de

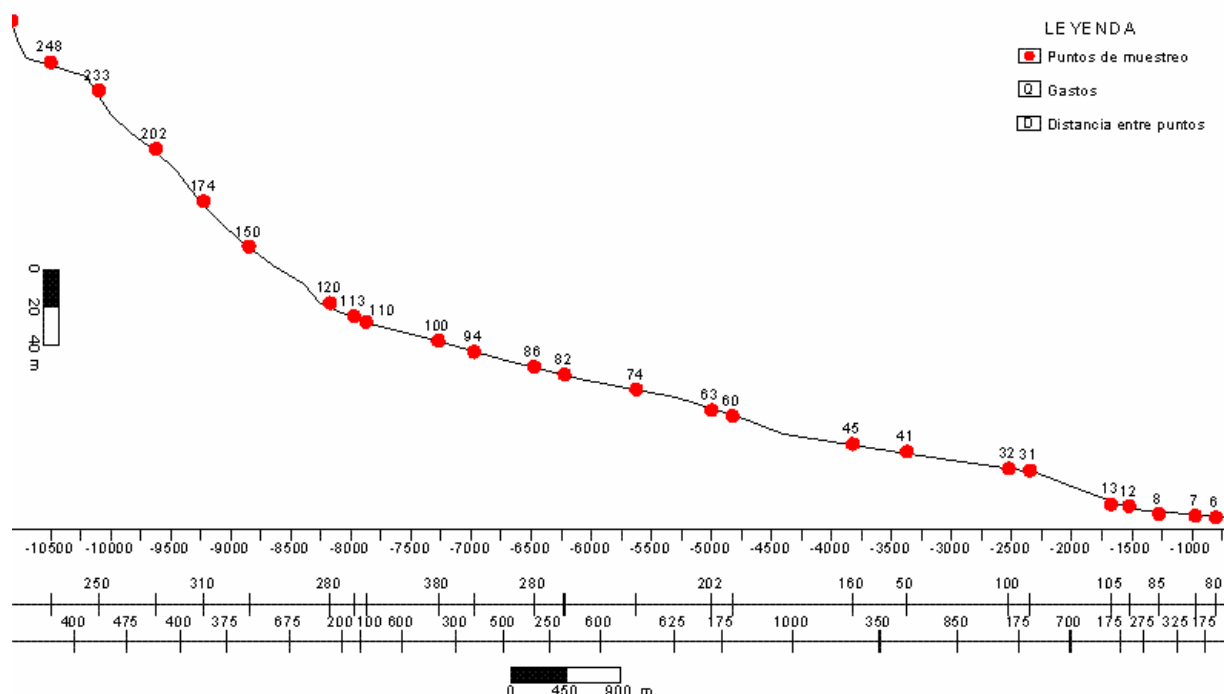
1600 - 1800 mm /año (Anexo N^o 2). A las precipitaciones máximas corresponden avenidas con caudales hasta 315 m³/s . (S Fernández 2000).

El segundo período de alimentación corresponde al período de estiaje de Junio a Septiembre, cuando la principal fuente de alimentación la representa el escurrimiento subterráneo a través del macizo rocoso formado principalmente por serpentinitas, las cuales durante el período húmedo acumulan grandes volúmenes de agua por infiltración de las aguas de lluvias, que posteriormente a través del sistema de fallas y grietas presentes son drenadas hacia el cauce del Río Yagrumaje y arroyos afluentes del mismo, caracterizándose la salida de esta agua al río en goteo a través de las grietas pequeñas y manantiales descendentes con gastos muy variados en función de la vía de drenaje por la que ocurre el movimiento del flujo subterráneo (grietas y fallas) ; aunque los caudales en los manantiales más productivos no sobrepasan los 10 L /seg (los observados con salida en taludes del cauce sobre el nivel del agua).

Bajo el nivel del agua en el río por el fondo y taludes del cauce también drenan las aguas subterráneas en la mayor parte de la cuenca, a través de grietas y fallas, esto puede observarse por las características de las rocas que forman el cauce, donde por el alto agrietamiento en tramos el fondo del cauce es escalonado, con pequeños saltos de agua, en parte con grandes bloques y cantos poco rodados, por lo que la rugosidad del cauce corresponde con el coeficiente de rugosidad $r = 0,1$ (categoría por clasificación de M. F Srab), para ríos de montaña.

El caudal del escurrimiento del Río Yagrumaje se incrementa en la trayectoria del río y disminuye en la parte baja de la cuenca de datos aproximados de caudales en observaciones realizadas en Marzo - Abril 2001, esto puede explicarse en función de que en la parte alta de la cuenca el cauce presenta mayor pendiente y son menos fracturadas las rocas que lo forman, en la parte baja el cauce presenta menos pendiente aunque corre en cotas relativamente altas (hasta 50 m) (ver Perfil Anexo No. 20.), las rocas del cauce se encuentran más fracturadas y falladas, por lo que se incrementa la permeabilidad bajo el cauce y laterales del mismo, sobre todo en aquellos tramos donde en el cauce se encuentran acumulaciones de cantos y gravas.

Figura No 3. Perfil topográfico del Río Yagrumaje



Por cálculos hidrológicos, el escurrimiento medio histórico del Río Yagrumaje es de unos 0,58 m³/seg. (S. Fernández 2000), con gastos mínimos de unos 0.11 m³/seg en períodos de estiaje (caudal medio de las medidas en Marzo 2001 después de varios meses de sequía).

El escurrimiento máximo es de 310 m³/seg. (S. Fernández 2000) para períodos de avenidas. La evaporación media en el territorio es de unos 1600 mm/año (E. C. González-1986), correspondiendo a una temperatura media anual de 22.6°C – 30.5°C, lo que conjuntamente con las magnitudes de las precipitaciones caracterizan las condiciones climáticas del territorio como típicas de Subtrópico.

Por las características de la cuenca y red hidrográfica contenida en ella determinamos parámetros que a continuación exponemos con aplicación de fórmulas de N.E. Altóvski:

- **Densidad de la cuenca:** Caracteriza los metros de cauce de la red hidrográfica por kilómetros cuadrados de la cuenca.

$$D = \frac{\sum L}{F}$$

$\sum L = 19250$ m- Longitud total del río y arroyos que forman la red hidrográfica de la cuenca.

$F = 14.8$ Km²- Área total de la cuenca.

$D = 1300.7$ m/ Km².

- **Sinuosidad del Río Yagrumaje:** Se expresa por el coeficiente de sinuosidad y caracteriza el meandraje del río.

$$\varphi = \frac{\ell}{L}$$

$\ell = 13100$ m – longitud del río por el cauce.

$L = 10650$ m- distancia en línea recta entre el punto de nacimiento y la desembocadura del río.

$\phi = 1.23$)

$\phi < 1.25$ Cauce poco sinuoso

• **Asimetría de la cuenca:** Caracteriza la distribución de áreas de la cuenca a ambos lados del cauce del río principal, en este caso del Río Yagrumaje.

$$a = \frac{Fi - Fd}{F}$$

a- coeficiente de asimetría.

Fi = 6.2 Km² área de cuenca en su parte izquierda a partir del cauce.

Fd = 8.6 Km²- área de cuenca en su parte derecha a partir del cauce.

F = 14.8 Km²- área total de la cuenca.

a = 0.16

si a < 0.25 Es simétrica

si a > 0.25 Es asimétrica

si a < 0.25 Por lo que la cuenca del Río Yagrumaje es simétrica.

• **Pendiente media del cauce del río:** caracteriza la pendiente del cauce por diferencias de cotas absolutas entre punto de inicio del río y su desembocadura entre la longitud total del río .

$$I = \frac{Hi - Hd}{L}$$

Hi = 740 m- cota absoluta en punto de inicio del cauce.

Hd- 0,0 m- cota absoluta en punto de desembocadura del río.

L = 13 100 m- longitud total del río.

I = 0.0564 = 1/ 17.73

Independientemente al gradiente medio calculado, debemos señalar que en la parte alta de la cuenca existen pendientes del cauce por tramo que superan la magnitud 1/35.08

▪ **Módulo del escurrimiento superficial:** caracteriza el escurrimiento medio histórico por Km² de cuenca.

$$\mu_0 = \frac{Q_0}{F}$$

Q₀= 0,58 m³/seg = 580 l/seg. Escurrimiento Medio Histórico.

F= 14.8 Km². Área Total de la cuenca.

$$\mu_0 = 39.1 \text{ l/ seg.Km}^2$$

Conociendo el módulo de escurrimiento superficial medio histórico y el escurrimiento mínimo (Q_{min}) que es aproximadamente 110 l/ seg. Y que corresponde al drenaje del escurrimiento subterráneo, podemos calcular el módulo del escurrimiento subterráneo μ_{SUB} .

$$\mu_{SUB} = \frac{Q_{min}}{F}$$

F= 14.8 Km². Área total de la cuenca.

De donde $\mu_{SUB} = 7.43 \text{ l/ seg. Km}^2$.

Conociendo el módulo del escurrimiento subterráneo y el módulo del escurrimiento medio histórico podemos determinar que parte de este último lo representa el escurrimiento subterráneo a través del coeficiente modular K. Por la fórmula de I:S: Sektser.

$$K = \frac{\mu_{SUB}}{\mu_0} = \frac{7.43}{39.1} = 0.19$$

Lo que representa que un 19 % del escurrimiento medio histórico del Río Yagrumaje corresponde al escurrimiento subterráneo drenado por este río.

Tabla_ 5. Tabla de parámetros de cálculo en puntos de observación durante marcha rutas.

A_s – Área media de la sección de cálculo.

L – longitud de medición.

K- coeficiente para ríos escarpados de montañas.

V- velocidad media.

Q- caudal medio en el punto.

• **Caracterización hidroquímica de las aguas del Río Yagrumaje**

Según los resultados de los análisis químicos de las aguas del Río Yagrumaje son aguas dulces por su mineralización, la cual oscila desde 0,09g/l hasta 0,30 g/l, por su pH son aguas básicas, según la dureza son aguas blandas y una muestra con valores de 0,92 (muy blanda) y los valores de conductividad oscilan desde 70 hasta 113,7 μ /cm, incrementándose hacia la desembocadura lo que explica la influencia de las aguas de mar sobre estas. Respecto al color y la turbidez para las muestras M-1, M-2, M-3, tomadas en el mes de Marzo se aprecia una correspondencia lógica de los valores, característicos de aguas típicas que fluyen sobre suelos lateríticos, los cuales favorecen en el tramo de evaluación la incorporación de sedimentos producto de la actividad minera, lo cual ha provocado la erosión lateral que afecta las aguas alterando el color y aumentando la turbidez. Para las muestras M-4, M-5, M-6, M-7 y M-8 tomadas en el mes de Abril se aprecian incrementos notables del color y de la turbidez, lo que se explica por el aumento de las precipitaciones atmosféricas y el arrastre intensivo de sedimentos hasta el cauce.

Por su composición química los iones predominantes son Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃, Cl, SO₄, cuya fuente de origen es natural, influenciado fundamentalmente las precipitaciones atmosféricas, la acumulación de sales en zonas aledañas a la costa que han sido transportadas por la actividad eólica, la cual es intensa en la zona de estudio, bajo la influencia de los vientos predominantes, estas sales se acumulan y luego durante las precipitaciones estas sales son disueltas e incorporadas al flujo.

Una fuente importante de formación de la composición de estas aguas superficiales son las aguas subterráneas del complejo acuífero de las lateritas y de las ofiolitas, ricas en estos elementos las cuales han sido enriquecidas de estos elementos durante la infiltración de las precipitaciones atmosféricas.

Según la clasificación de Kurlov se clasifican en hidrocarbonatadas, clóricas, magnésicas, sódicas, y según Kurlov en clase: hidrocarbonatadas, grupo: magnésicas, tipo: Los microcomponentes predominantes determinados en los análisis son fundamentalmente el Ni, Co, Fe y el Mn los cuales se comportan incrementando ligeramente sus concentraciones hacia la desembocadura, los valores de Fe, varían desde 0,004mg/l hasta 0,05 mg/l, superando los valores máximos permisibles según la norma cubana para agua potable y el Mn desde 0,006 mg/l hasta 0,01 mg/l fundamentalmente. Su origen es natural y son aportados por el tipo de rocas predominantes y su incremento esta dado por la influencia de las actividades mineras.

. Características ambientales generales de la cuenca.

En la actualidad la cuenca del Río Yagrumaje se encuentra bajo impactos producidos por la actividad minera y que repercute directamente sobre la flora, la fauna y los suelos. La flora en la deforestación que le produce por el destape de los yacimientos y explotación futura, la fauna en la emigración de especies hacia zonas no afectadas por la deforestación y el ruido, los suelos que por el efecto de la deforestación y explotación minera quedan totalmente desolados, alterados y altamente erosionados. Por las condiciones de afectaciones de los suelos, características climáticas y de relieve del territorio durante los periodos húmedos

Decenas de miles de toneladas de suelos son erosionadas transportadas por el escurrimiento superficial hasta el Río Yagrumaje que por las grandes velocidades que presentan sus aguas durante las avenidas trasladan todo el material erosionado hasta el mar, donde por la dirección de las corrientes marinas gran parte de los sedimentos vertidos son trasladados y depositados en la Bahía de Moa y zonas costeras intermedias.

En la actualidad los impactos relacionados corresponden a la explotación del Yacimiento Punta Gorda, del cual solo el extremo Este queda dentro del área de la cuenca y en territorio de la parte baja de la cuenca, sin embargo en años próximos esta prevista la explotación del Yacimiento Yagrumaje Norte con centro en las coordenadas N:220.500 E:704.600 y posteriormente el Yacimiento Yagrumaje Oeste con centro en las coordenadas N:218.250 E: 702.250, el primero en territorio próximo a la costa y el segundo en la parte central de la cuenca del Río Yagrumaje, en ambos casos la mayor parte de los yacimientos se encuentran en áreas de la cuenca del Río Yagrumaje, por lo que es de esperar que los impactos ambientales que se produzcan en la cuenca por la explotación minera sean muy superiores a los que se producen en la actualidad.

CONCLUSIONES

1. El área que ocupa la cuenca del Río Yagrumaje está compuesta fundamentalmente por rocas ultrabásicas serpentinizadas, una parte ocupada por depósitos sedimentarios de edad Paleógeno y Neógeno – Cuaternario, con un desarrollo de la corteza de intemperismo.
2. En el sector estudiado de la cuenca del Río Yagrumaje fueron detectados los siguientes complejos rocosos: rocas ultrabásicas serpentinizadas (K_2), corteza laterítica ferroniquelífera (N_1), laterita sedimentaria (N_2), laterita sedimentaria (Q_1) y depósitos detríticos aluviales (Q_2).
3. El procesamiento de las grietas en el área determinó 4 sistemas o familias de grietas de dirección NW – SE predominantemente, son grietas de cizalla, prácticamente cerradas, no presentan rellenos, y al parecer se vinculan al emplazamiento tectónico de las ofiolitas.
4. La cuenca es estrecha y alargada en forma de “pluma” con alineación suroeste a noreste, su área es pequeña, es simétrica y el cauce es poco sinuoso. Con un caudal del escurrimiento que se incrementa en su curso con valores que oscilan entre 380 y 80 l/seg y además El 19 % del escurrimiento medio histórico del Río Yagrumaje corresponde al escurrimiento subterráneo drenado por este río.
5. Las aguas del Río Yagrumaje son dulces por su mineralización, blandas y muy blandas según la dureza, por su composición química los iones predominantes son Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+1} , K^{+1} , HCO_3 , Cl , SO_4 , los microcomponentes predominantes determinados en los análisis son fundamentalmente el Ni, Co, Fe y el Mn y según la clasificación de Kurlov son del tipo hidrocarbonatadas, clóricas, magnésicas, sódicas, y según Kurlov en clase: hidrocarbonatadas, grupo: magnésicas, tipo: III

BIBLIOGRAFÍA

Batista, J. 1998. Caracterización geológica y estructural de la región de Moa a partir de la interpretación del levantamiento aeromagnético 1: 50000. Tesis de maestría. Departamento de Geología, ISMM.

Blázquez Blanco, J.L . 1999. Profundización en el estudio geológico y tectónico de Moa. Tesis de maestría Departamento de Geología, ISMM 1999.

De Dios Leyva, D. 2000. Particularidades de la distribución espacial de las intercalaciones no industriales presentes en el "Sector Central" del Yacimiento Punta Gorda. Tesis de Maestría. Departamento de Geología, ISMM.

De Miguel Fernández, Constantino. 1999. Hidrogeología aplicada, 1ed. La Habana.. Editorial "Félix Varela",

Iturralde, Vincent , M. 1990 Las ofiolitas en la constitución geológica de Cuba. Ciencias de la tierra y el espacio, No. 17..

NC. 93 – 02: 1985. 1986 (Cuba). Higiene comunal, Agua potable. Requisitos sanitarios y muestreo. Aprobada Octubre 1985. Vigente Marzo.

NC. 93 – 03: 1985. 1986. (Cuba). Sistemas de abastecimiento de agua. Requisitos sanitarios. Aprobada Diciembre 1985. Vigente Septiembre

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LOS ESTUDIOS INGENIERO-GEOLÓGICOS CON VISTA AL EMPLAZAMIENTO DE CAMARONERAS

Rosa María Salazar Meriño y Colectivo de autores.

GEOCUBA Oriente Norte, Unidad de Desarrollo Científico Tecnológico. Investigaciones Regionales. Carretera Central Vía a Bayamo Km. 2 ¹/₂. E-mail: argrcitec@holguín.Geocuba.cu

RESUMEN

Con el objetivo de determinar la conveniencia ingeniero-geológica y constructiva de las áreas propuestas para la implantación de una camaronera a través de la caracterización de las variables ingeniero-geológicas, geológicas, geofísicas y geomorfológicas se diseñó una metodología de investigación aplicada a cuatro áreas del litoral noreste de la provincia de Holguín, en la misma se emplean las tecnologías más avanzadas en el campo de la teledetección y el procesamiento de imágenes, incluyendo además el análisis de datos y el procesamiento geoestadístico multivariado de toda la información acumulada, procesada y obtenida, bajo el principio de economía mínima.

El trabajo es muy actual, en el mundo se usan estas tecnologías, por primera vez se aplican en Cuba para una obra de este tipo.

Programas usados: SURFER, AutoCAD Map y un paquete de programas utilitarios desarrollados por GER-Ote, compatibles con todos los sistemas de factura nacional e internacional aplicables a la geociencias.

Se ofrece el MDT, análisis geólogo-tectónico, fenómenos físico-geológicos, propiedades físico mecánica por métodos geofísicos, potencia de suelo, profundidad de la intrusión salina, comportamiento sísmico del territorio, evaluación de la pendiente e impactos generados con la construcción. Se realiza la evaluación de la conveniencia ingeniero-geológica y constructiva de todos los parámetros que la definen.

Como resultados se obtuvo la zona más conveniente para la ubicación de la camaronera, con una mayor precisión y fundamentación técnica, se disminuyeron los plazos de ejecución y los costos, con un volumen mínimo de trabajos de campo, demostrando que la metodología empleada es aplicable y factible económicamente.

ABSTRACT

With the objective of determining the engineer-geologic and constructive convenience of the areas proposed for the installation hatchery of shrimp through the characterization of the engineer-geologic, geologic, geophysical variables and geomorphologies you design an investigation methodology applied to four areas of the northeast coast of Holguín, in the same one the most advanced technologies are used in the field of the teledetec and the prosecution of images, also including the analysis of data and the prosecution geoestadistic multivariated of all the accumulated information, processed and obtained, under the principle of minimum economy.

The work is very current, in the world these technologies are used, for the first time they are applied in Cuba for a work of this type.

You program used: SURFER, AutoCAD Map and a package of utilitarian programs developed by GER-Ote, compatible with all the applicable systems of national and international invoice to the science of land.

The MDR, analysis of the geologist-tectonic square, offers physical-geologic phenomena, properties physique mechanics for geophysical methods, depth of the saline intrusion, seismic behaviour, evaluation of the slope and impacts generated with the construction. Is carried out the evaluation of the engineer-geologic and constructive convenience of all the parameters that define it.

As results the most convenient area was obtained for the location of the hatchery of shrimp, with a bigger precision and technical foundation, they diminished the execution terms and the costs, with a minimum volume of field works, demonstrating that the used methodology is applicable and feasible economically.

INTRODUCCIÓN

En la porción noreste de la provincia de Holguín se han comenzado a fomentar la producción de camarones, construida ya una camaronera y en planes perspectivos varias de ellas, con vista a esta tarea se elaboro la propuesta metodológica de este trabajo. Ante esta problemática surgió la necesidad de elevar el nivel de respuesta y conocimiento ingeniero-geológico del territorio costero con perspectivas para el desarrollo de estas inversiones que usan tecnologías con regulaciones y exigencias muy particulares las cuales definen el costo de la inversión.

Se partió de la hipótesis de que: el empleo de la teledetección, los procesamientos de imágenes, la aplicación de técnicas GIS y un volumen mínimo de trabajos de campo permiten definir las zonas favorables desde el punto de vista ingeniero-geológico para la ubicación y construcción de una camaronera, con lo cual es posible disminuir los costos de la inversión y una optimización de las soluciones ingenieriles.

El objetivo general de esta investigación es determinar la conveniencia ingeniero-geológica y constructiva de las áreas propuestas para la implantación de una camaronera a través de la caracterización de las variables ingeniero-geológicas, geológicas, geofísicas, hidrogeológicas y geomorfológicas. Para dar una respuesta integral al problema planteado, se establecieron los siguientes objetivos específicos: establecer las variables que caracterizan el estudio ingeniero-geológico para regiones costeras y sus particularidades para obras de este tipo, caracterizar las áreas de estudio desde el punto de vista geólogo-tectónico con la utilización de técnicas espaciales, empleando también estas tecnologías para determinar y evaluar los fenómenos físicos-geológicos, además de determinar las propiedades físico-mecánicas que posibiliten establecer la factibilidad ingeniero - geológica y constructiva a partir de los criterios estadísticos, teóricos o de expertos.

Para dar cumplimiento a los objetivos señalados se emplea un conjunto de métodos indirectos y directos de campo, que incluye las técnicas espaciales de teledetección, reconocimiento de patrones, análisis geomatemáticos y procesamiento digital de imágenes. La metodología empleada, difiere sustancialmente de la que se lleva a cabo para los estudios ingenieros-geológicos de factibilidad o regionalización de forma tradicional, al desarrollarse la misma en 4 etapas. En la primera se parte del umbral del conocimiento geológico e ingeniero-geológico de la región y se crean los modelos digitales de todas las variables acumuladas, en una segunda etapa se realizaron los procesamientos digitales de todas las variables y se efectuó el análisis de las imágenes, creándose el MDT, donde a partir de él se confeccionaron los mapas temáticos para determinar la zona favorable, con estos resultados preliminares se diseñó el volumen y metodología de los trabajos de campo tanto de geofísica, como levantamiento geológico. La tercera etapa se realizó en el terreno con el empleo de los métodos eléctricos y sísmico correspondiente a las investigaciones geofísicas y trabajos geológicos, en la cuarta etapa se interpretó la información geofísica y la geológica, sirviendo estos resultados para validar o reinterpretar en otros casos los resultados de la segunda etapa, pudiendo caracterizar y precisar las zonas favorables.

Los trabajos de investigación en la etapa de factibilidad y estudio regional de cuatro zonas para definir las áreas económicamente factibles, forma parte la presente metodología, la cual se desarrolla en los Municipios de Frank País y Moa, en un área total aproximada de 120 km², definidos por los inversionistas.

En la obtención de los objetivos propuestos resultaron de gran aporte las experiencias obtenidas de los estudios ingenieros-geológicos detallados realizados en la camaronera Guajaca en el municipio de Frank País, en la que las experiencias y resultados obtenidos no han sido los que se necesitaban, ni se esperaban confrontándose diversos problemas durante todo el proceso inversionista, incluida la etapa de los estudios de suelos, el que adoleció de un diseño o método de trabajo adecuado o

integral, de ahí que se basara el mismo en el método de perforación, muestreo y análisis de laboratorio, permitiendo obtener un gran nivel de información y detalle de forma puntual, extrapolando por criterios analógicos los conocimientos obtenidos en otras áreas, obviando la variabilidad que tienen estas capas en estas regiones costeras donde se han visto sometidas a diversos procesos geológicos incluidos el emplazamiento del complejo ofiolítico entre otras, lo que ha provocado por lo general discontinuidad en el corte geológico de la capa superficial. El insuficiente detalle de estas particularidades señaladas es uno de los elementos que más han elevado el costo de la inversión de dicha camaronera, pues se conoce que este tipo de instalación exige ser ubicada preferentemente en zonas con espesores de suelos mayores a 1 m, poco erosionable, impermeable, de pendiente baja y donde las cotas no superen los 10 m.

En la realización de la investigación se consultó y tomó como base la información geológica, ingeniero-geológica, geomorfológica, hidrogeológica y geofísica existente sobre la región, la que es muy variada y relativamente abundante sobre todo con estudios geológicos y técnicos regionales a escala 1:100 000, 1:50 000 fundamentalmente, estando orientados a hacer la evaluación de problemas diversos sobre todo a la búsqueda de minerales y en algunos casos a elevar el conocimiento científico de las ciencias geológicas. No abundan en la región trabajos encaminados a la solución de problemas ingenieriles.

Entre los principales trabajos usados se encontraron el mapa geológico de los especialistas soviéticos Adamovich y Chejovich (1962); el mapa geológico de Oriente realizado por la Brigada Cubano Húngara a escala 1:250 000 y el mapa geológico del Polígono CAME V, Guantánamo, a escala 1:50 000 que abarca parte del territorio estudiado. La limitante de este trabajo para nuestro propósito es la descripción muy esquemática de los sedimentos superficiales del Plioceno al Cuaternario, lo cual reviste gran importancia para nuestro trabajo. Son de gran interés los trabajos realizados por los especialistas del Centro de Investigaciones geológicas (CIG), el Instituto de Geología y Paleontología y el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, entre otros. Deben destacarse trabajos más recientes realizados por profesores y estudiantes de la Facultad de Geología, como las tesis doctorales de J. Proenza (1997) y de Alina Rodríguez (1998). No debe dejarse de mencionar la tesis de maestría de J. Batista (1998) en la cual se hace una caracterización geológica y estructural de Moa a partir de la interpretación del levantamiento aeromagnético a escala 1:50 000, llegándose a conclusiones importantes, como es el de la correspondencia de los altos valores del campo magnético con la gran potencia del corte ofiolítico ultramáfico en algunos sectores, mientras que los valores bajos se corresponden con la cercanía o afloramiento de los niveles cumulativos básico de gabro, así como delimitar zonas de alteraciones hidrotermales y áreas de desarrollo de otras litologías.

El principal resultado obtenido fue establecer una metodología para determinar la zona más conveniente desde el punto de vista ingeniero-geológico y constructivo, a partir del empleo de las técnicas espaciales, con validación de campo, a las variables que más influyen para definir la zona más perspectiva, entre estas se encuentran: litología, tectónica, pendiente, potencia de suelo, zona de potencia de aereación, techo de la roca, intrusión salina y procesos físico – geológicos.

La novedad científica del trabajo está dada por la definición y caracterización de las principales variables del medio natural que influyen en la correcta selección y ubicación de un área para la construcción de una camaronera, empleando la modelación, simulación y procesamiento con técnicas espaciales computarizadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Volumen y metodología de los trabajos

Para la ejecución de este trabajo fue necesario diseñar y aplicar una metodología de investigación que concibiera un análisis integral a partir del establecimiento y caracterización de las variables que más incidencia tienen para dar respuesta a la selección, ubicación y construcción de una camaronera, de ahí que se concibieran cuatro etapas para lograr este propósito, partiendo del análisis, procesamiento y evaluación de un volumen importante de la información ingeniero-geológica, geológica, hidrogeológica, etc, acumuladas en las instituciones que se dedican a estos estudios o archivan dichos resultados, los que permiten orientar el proyecto de investigaciones con un costo mínimo, precisión en sus resultados, disminución de los tiempos de ejecución y en un volumen mínimo de los trabajos de campo.

La primera etapa, partió del umbral del conocimiento, iniciándose con la recopilación y estudio de la información geológica, geomorfológica, geofísica, hidrogeológica, sismológica, etc. de interés para las áreas de trabajo. Esta información se extrajo de informes, gráficos y mapas a diferentes escalas, los cuales fueron analizados y algunos convertidos en formato digital para poder interactuar de forma multidisciplinaria, logrando la optimización de los trabajos. En este caso está el Mapa Geológico 1:50 000 del Polígono CAME V, que se llevó a formato digital y también se introdujeron los datos de las calas perforadas en las áreas de estudio.

La segunda etapa consistió en la preparación de distintos modelos digitales temáticos, la digitalización de la información topográfica y la confección del modelo digital del terreno (MDT), donde la precisión requerida sea la suficiente para el mapa topográfico escala 1:10 000, a partir de este se generó un conjunto de coberturas dirigidas tanto a los análisis morfométricos como geomorfológicos y geológicos los cuales contribuyen con gran peso a la caracterización ingeniero - geológica.

Los análisis por teledetección, procesamiento de imágenes, análisis morfométricos y geomorfológicos, unidos a métodos de clasificaciones, estudio por componentes principales y análisis multivariado permitieron obtener los resultados alcanzados y determinar la zona más favorable de cada área, la cual fue validada y complementada con los trabajos de campo y reinterpretación. En esta misma etapa, con los resultados alcanzados hasta el momento, se realizó una sistematización de la información a recopilar durante los trabajos de campo, lo cual trajo como consecuencia poder alcanzar un volumen suficiente de información sobre los elementos más importantes dentro del estudio realizado de forma tal que se unificaran criterios de descripción, repercutiendo así, en una mayor facilidad para la automatización y empleo de técnicas numéricas en las labores de interpretación y análisis. También se establecieron, los trabajos geológicos de campo y la metodología y volumen de los trabajos geofísicos, aunque esta última tuviera variaciones posteriores, debido a las condiciones del terreno.

La tercera etapa se desarrolló en el terreno, mediante levantamiento de campo, donde se hizo énfasis en la interpretación de los principales resultados de las etapas previas, en lo referente a definir los contactos y carácter entre los diferentes tipos litológicos, realizar observaciones geomorfológicas, estructurales, hidrogeológicas y en particular donde había desarrollo de suelo, o donde había afloramiento de roca, se consideraron otros fenómenos que tienen gran incidencia como es la presencia de pantanos. El control topográfico con sistema de posicionamiento global GPS unido a las tomas fotográficas con una cámara digital -EPSON photo PC 750Z de los lugares más importantes, repercute en una mayor calidad y precisión de los resultados obtenidos. También se hicieron los trabajos geofísicos, que más adelante se explican en la metodología empleada.

La cuarta etapa estuvo dirigida a los trabajos de gabinete: la interpretación de los resultados de los trabajos geofísicos empleados, el resultado de las comprobaciones geológicas de campo y los resultados de los procesamientos automatizados; se logró determinar la zona más favorable de las áreas analizadas, así como determinar las que no tuvieran perspectivas, para la construcción de una camaronera; y caracterizar geológicamente cada una de ellas, brindar la potencia de suelo pronosticada, las zonas pantanosas y la presencia de intrusión salina.

Para la determinación de las zonas más perspectivas se partió del criterio de que dicha zona es donde la potencia de suelo sea mayor, por encima de un metro, la pendiente del terreno sea mínima siempre menor de 10 grados y la posición hipsométrica por debajo de la cota 10 m. Con la combinación de estas tres coberturas por superposición digital se obtuvieron y suavizaron las zonas más perspectivas a las cuales se le realizó un análisis estadístico de las principales variables involucradas, esto se hizo en el SURFER, por Grid Math donde se multiplicaron los modelos ya normalizados de Potencia de suelo, Pendiente y el de la Cota por debajo de 10 metros. Donde algún valor sea cero el resultado sería cero. En el mapa aparece señalada esa zona, que va constituir el área favorable, además se tuvo en cuenta la presencia de pantanos, que constituyen un factor invalidante para la construcción. A cada mapa obtenido se le hizo una tabla con resultados estadísticos.

Investigaciones geofísicas

Estos estudios se realizaron a lo largo de 4 franjas de costa con la especificidad de contar con topografía casi plana y sin sobrepasar la curva de nivel que marca la cota 10 metros. Teniendo como objetivo determinar las potencias de las capas de suelos y estimar la profundidad del techo de las rocas y sus principales parámetros y características, con la finalidad de evaluar la factibilidad para la proyección de la camaronera, así como orientar las prioridades de los trabajos a realizar durante la investigación detallada para la construcción.

El complejo de métodos geofísicos realizado fueron: Sondeo Eléctrico Vertical AB/2 máx. = 100 m, Perfilaje Eléctrico Simétrico abertura MN/2=5 m, AB/2=40 m, Sísmica de Refracción Somera.

RESULTADOS

Propiedades físico – mecánicas

Las propiedades físico-mecánicas, dada por los resultados geofísicos se muestran en la tabla I.

Tabla I. Tabla de propiedades físico-mecánicas.

Tabla de propiedades.								
Capas	V_p (m/s)	ρ_a (ohm.m)	δ (kN/m ³)	Índice de poros: (e)	R_c (MPa)	F.K.P	Coeficiente de Poisson	Agresiv Horm. Fe.
I	350	10	16	4.02	0.49	0.13	-	Agresiva
II	560	25	17	2.34	0.98	0.16	0.13	Agresiva
III	1500	48	19	0.59	5.67	1.20	0.28	No Agresiva
IV	3500	100	24	0.003	3.385	3.50	0.32	No Agresiva.

En la región donde están ubicadas las áreas de estudio hay desarrollo de algunos fenómenos físico-geológicos, como el carso, la erosión, los deslizamientos, el empantanamiento y presencia de saladares, por la influencia que tienen en la construcción de la obra. Donde aparece el Complejo Carbonatado aparece el carso superficial, el cual se manifiesta fundamentalmente en forma de diente de perro; este fenómeno es particularmente intenso sobre las calizas costeras de la formación Jaimanitas en todas sus áreas de exposición, también en las calizas de la formación Júcaro. El proceso de abrasión marina se expresa fuertemente en las costas escarpadas. El empantanamiento está relacionado con las costas bajas existentes cerca y sobre todo en los sectores de interrelación de la sedimentación fluvio – marina, este fenómeno puede ser invalidante para la construcción de las

camaroneras. El proceso de meteorización está bien desarrollado en la región de estudio, debido a la presencia de las rocas ofiolíticas serpentinizadas, en este tipo de litología hay desarrollo de cárcavas y deslizamientos. En dos de las áreas de estudio hay presencia de intrusión salina, es necesario tener en cuenta este fenómeno a la hora de cimentar. Otro proceso que aparece en la región es la presencia de saladares, estos se van a formar al cuajarse la sal en las marismas, estos suelos son estériles por la abundancia de sales en ellos.

De la conjunción de los datos obtenidos de la geofísica empleada, los procesamientos realizados al Modelo Digital del Terreno, las observaciones de campo se dan las características de cada una de las áreas estudiadas y teniendo en cuenta que las mejores condiciones para la factibilidad constructiva de la camaronera en las áreas estudiadas se presenta en aquellos sectores donde concurren las siguientes condiciones: pendiente $< 10^\circ$, suelos con espesor > 1 m, cota < 10 m, se obtuvo como resultados las zonas más favorables dentro de cada área y su caracterización desde el punto de vista ingeniero geológico.

Se establecen las características geológicas más generales de la región de estudio, ofreciéndose de conjunto las particularidades estratigráficas y estructurales más sobresalientes. Para evitar repeticiones innecesarias al inicio de cada área se da el cuadro estratigráfico existente describiéndose las unidades propias de cada una de ellas. Las unidades que se repiten se describen sólo en una. Además se ofrece las características ingeniero geológica de cada área estudiada.

Área I:

Litologías: las mismas se representan en la Figura 1, aparece el corte geológico en la misma. Pa (Q_{III} - Q_{IV}) pantanos; arcillas y arcillas turbáceas. D – p (Q_{III} - Q_{IV}) deluvio – proluviales; materiales finos con abundantes clastos. Formación Jaimanitas (Q_{III}); calizas órgano – detrítica, arrecifales y calcarenitas. Formación Júcaro (N_1^2 - N_2); calizas órgano – detríticas y margas. Formación Castillo de los Indios (P_2^{1-2}); tufitas, margas, calizas y aleurolitas.

Caracterización ingeniero geológica: (Fig. 2) la zona perspectiva analizada dentro de esta corresponde a la ocupada por los sedimentos deluvio – proluviales que ocupa una superficie de 630242 m^2 . En el zona perspectiva los espesores de sedimentos tienen valores medios de 1.7 y máximos de 3.1 m, se encuentran formando un relieve llano con pendientes máximas de 2.2° . Se detectó la presencia de intrusión salina a profundidades medias de 2.2 y un máximo de 7 m. Está protegida contra penetraciones del mar por una barrera natural constituida por colinas arrecifales de la Formación Júcaro. El área es perspectiva desde el punto de vista ingeniero – geológico en la etapa de factibilidad para la ubicación de los objetos propuestos.

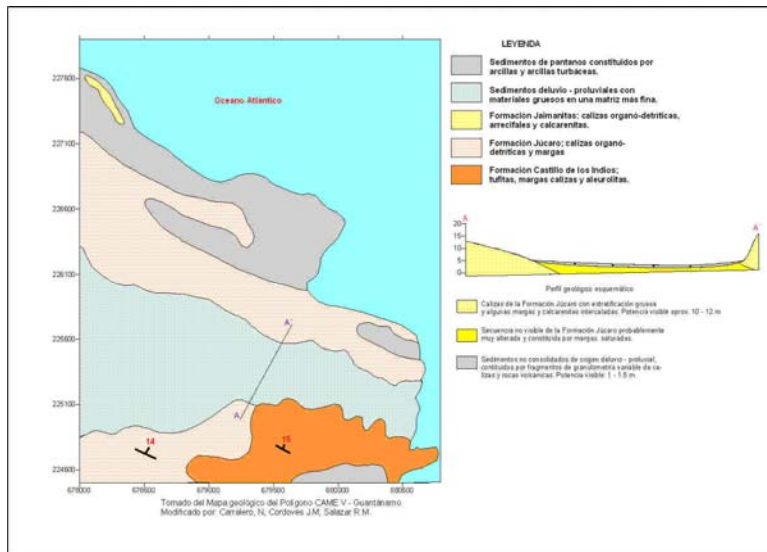


Fig. 1. Mapa geológico del área I.

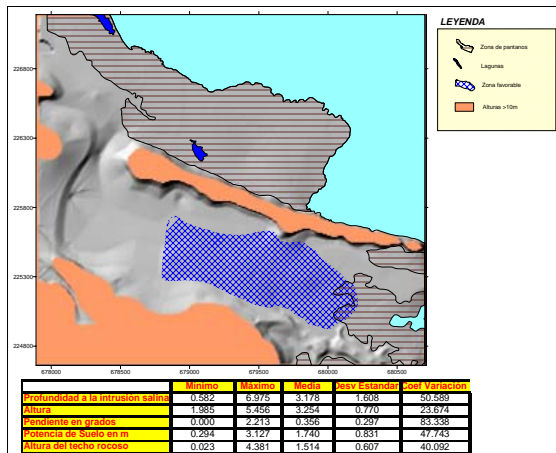


Fig. 2. Mapa de la zona favorable del área I.

Área II:

Litologías: las mismas están representadas en la figura 3, son las siguientes: Pa (Q_{III}-Q_{IV}) pantanos; arcillas y arcillas turbáceas. D – p (Q_{III}-Q_{IV}) deluvio – proluviales; materiales finos con abundantes clastos. D (Q_{III}-Q_{IV}) deluvio; materiales de arrastre de granulometría variable. Formación Jaimanitas (Q_{III})- calizas órgano – detríticas y arrecifales. Formación Júcaro (N₁²-N₂) calizas arrecifales y margas fundamentalmente. Formación Mucaral (P₂²-P₃¹) margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, conglomerados polimícticos, limolitas y tobas. Complejo ofiolítico (Integrado por ultrabasitas de distintos tipos y grado de alteración). Los sedimentos deluvio – proluviales están asociados a la corteza de intemperismo y con la ubicación de esta, cercanos a los niveles hipsométricos más elevados, lo cual pudiera estar dado por procesos de redeposición.

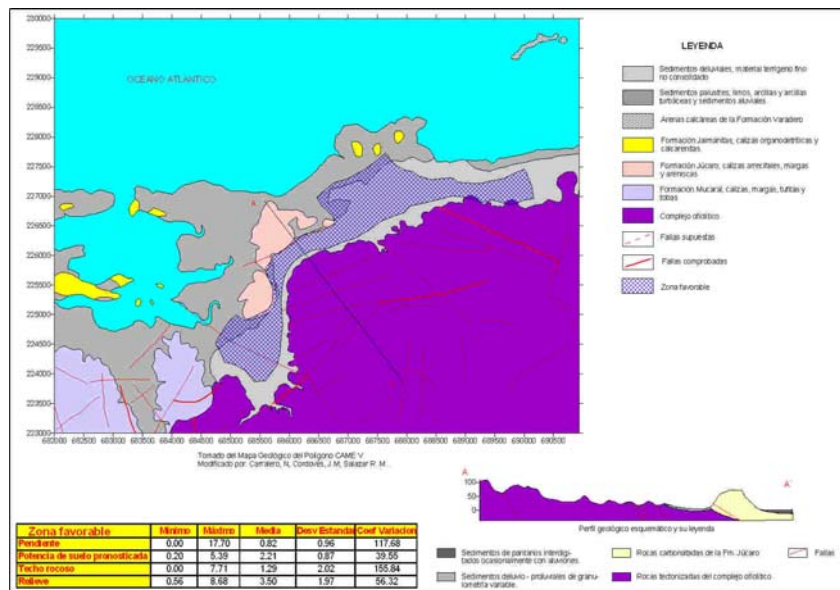


Fig. 3. Mapa geológico y zona favorable del área II

Estructuralmente el área de estudio presenta una tectónica bastante complicada debido a la presencia de rocas del complejo ofiolítico y del paleógeno, por lo que el sustrato sobre el cual aparecen las rocas de cobertura y los sedimentos del cuaternario se encuentra intensamente dislocado. En particular la zona perspectiva se asienta sobre las ofiolitas.

Caracterización ingeniero geológica: (Fig. 3) la zona perspectiva analizada dentro de esta corresponde a la ocupada por los sedimentos deluvio – proluviales que ocupa una superficie de 4123770 m². En el área perspectiva los espesores de sedimentos tienen valores medios de 2.2 y máximos de 5.4 m, se encuentran formando un relieve llano con pendientes máximas de 17.7° y media de 0.82°. No se detectó la presencia de intrusión salina. El área es favorable en esta etapa de la investigación, pero por sus dimensiones no cumplen con las condiciones exigidas.

Área III:

Litologías: en la figura 4 aparece la distribución de las litologías y un perfil geológico, representativo del área de estudio. Pa (Q_{III}-Q_{IV}). D-p (Q_{III}-Q_{IV}). Arena de la Formación Varadero. Formación Santo Domingo. Complejo ofiolítico (J₃-K₁). Integrado por ultrabásitas de distintos tipos y grado de alteración. Los sedimentos palustres presentan características similares a los existentes en las áreas anteriores, excepto en el carácter de la vegetación que se desarrolla sobre ellos que es particularmente densa y variada. Regionalmente la tectónica del área III es muy compleja. Están presentes no sólo las rocas del complejo ofiolítico sino también las secuencias volcánicas del Cretácico, por lo que el sustrato que se encuentra a una profundidad muy baja tiene un alto grado de dislocación.

Caracterización ingeniero geológica: (Fig. 4) la zona perspectiva analizada dentro de esta corresponde a la ocupada por los sedimentos deluvio – proluviales que ocupa una superficie de 1695815 m². En la zona perspectiva los espesores de sedimentos tienen valores medios de 1.3 m y máximos de 2.3 m, se encuentran formando un relieve llano con pendientes máximas de 2.3°. La accesibilidad del área es compleja y el desarrollo de la vegetación es amplio aunque no son invalidantes, pero encarecen los trabajos de investigación de detalle y de ejecución. Los materiales constitutivos de los sedimentos son lateríticos con fragmentos de rocas silicificadas, lo cual pudiera perjudicar los trabajos de laboreo. La zona es perspectiva desde el punto de vista ingeniero –

geológico en la etapa de factibilidad, aunque con peores condiciones que las áreas I y II para la ubicación de los objetos propuestos. También tiene el inconveniente de sus dimensiones que impide el emplazamiento de todos los objetos de obras.

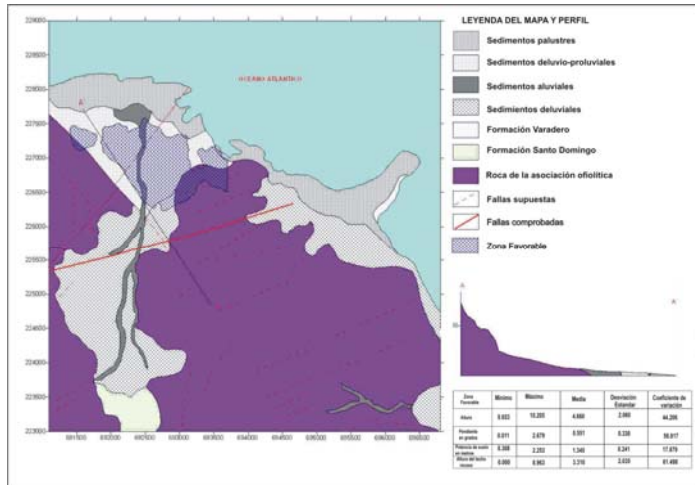


Fig. 4. Mapa geológico y zona favorable del área III.

Área IV:

Litologías: las rocas se representan en la figura 4, así como un perfil geológico. Pa ($Q_{III}-Q_{IV}$). Al ($Q_{III}-Q_{IV}$): tiene poco desarro. Formación Yateras ($P_3^2-N_1^1$). Formación Cabacú ($P_3^2-N_1^1$). Formación Santo Domingo ($K_1^a-K_2^b$). Desde el punto de vista físico – mecánico las litologías presentes son muy duras como las de la Formación Yateras. La Formación Cabacú, es una formación terrígena está constituida casi totalmente por conglomerados con clastos de rocas muy resistentes. El resto de las litologías presentes como se observa en el perfil y en el Mapa Geológico son rocas de la asociación ofiolítica, fundamentalmente serpentinitas muy tectonizadas y tobas de la Formación Santo Domingo.

Caracterización ingeniero geológica: (Fig. 5) la misma no es perspectiva porque se evidencia la existencia de una cobertura de suelo muy poco potente y a la vez con una escasa distribución superficial, prácticamente toda el área se desarrolla sobre las rocas del complejo ofiolítico, caracterizadas por elevaciones de más de 10 m de altura y fuertes pendientes, la zona de baja pendiente, cotas menores que 10 m, es de pantanos y también presenta complejidades geológicas, geomorfológicas y estructurales.

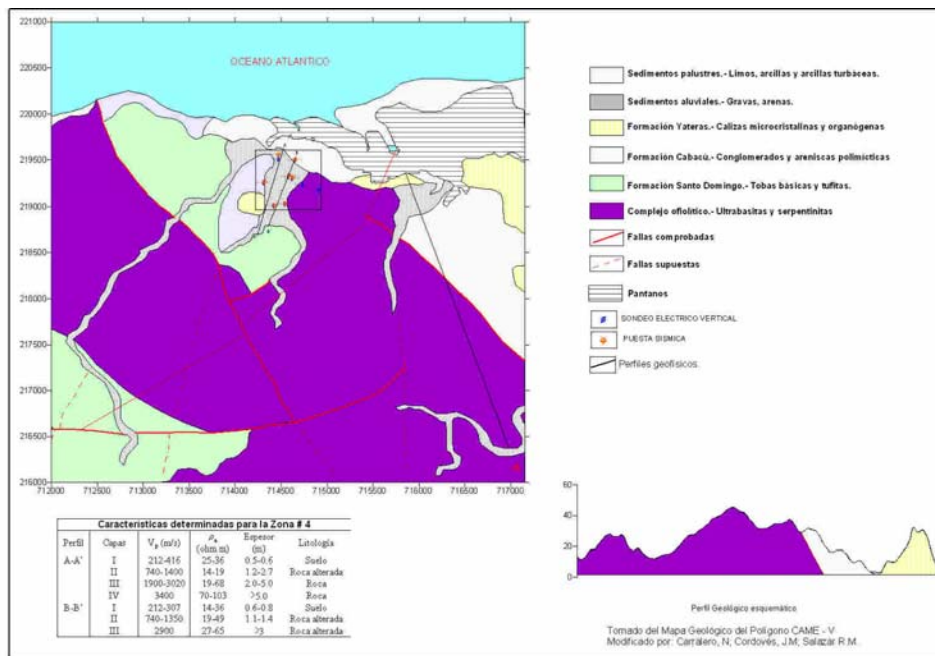


Fig. 5. Mapa geológico y datos geofísicos del área IV

CONCLUSIONES

1. La metodología empleada en el estudio de factibilidad ingeniero-geológico, para la construcción de una camaronera permitió seleccionar el área más conveniente para su ubicación, logrando una mayor precisión y fundamentación técnica, disminución de los plazos de ejecución y reducción de los costos, con un volumen mínimo de los trabajos de campo.
2. Las variables que definen los criterios ingenieriles para la ubicación de una camaronera son la litología, tectónica, fenómenos físico-geológicos, sismicidad y potencia de suelo, los que fueron estudiados empleando las técnicas espaciales con validación de campo.
3. En el estudio se corroboraron las complejidades geológicas e ingeniero-geológicas de las cuatro áreas investigadas, siendo la más factible desde el punto de vista económico, ingeniero-geológico y constructivo el área I.

BIBLIOGRAFÍA

- Astráin P. J., C. M. Guilarte, C. Leyva, L. Pérez. 1992. Sistema de investigación ingeniero- geológico regional básico. Inédito.
- Batista J. A. 2002. Nuevas regularidades geológicas de la región Mayarí-Sagua-Moa a partir de la reinterpretación del levantamiento aerogeofísico. Tesis Doctoral. Departamento de Geología, I.S.M.M.
- Blanco J. L. 1999. Profundización en el estudio geológico y tectónico de Moa. Tesis de maestría. Departamento de Geología, I.S.M.M.
- 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.
- Mapa e informe geológico del polígono CAME V. 1981. Guantánamo. ACC – AC Hungría.
- Mapa Geológico de la República de Cuba. Escala 1: 500 000.1989. IGP, AC de la URSS e Instituto de Geología.
- Rodríguez A. 1998. Estudio Morfotectónico y Geodinámico del territorio de Moa. Tesis de Doctoral. I.S.M.M.

ANÁLISIS GEOTENSIONAL DEL MACIZO ROCOSO SIERRA CRISTAL PARA EL TRAZADO DE LOS TÚNELES DEL TRAMO SAGUA-MELONES DEL TRASVASE ESTE-OESTE

Jorge L. Blanco Blázquez ⁽¹⁾, María E. Tapia Basterrechea ⁽¹⁾, Yusmiel Sánchez Silva ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Holguín (RAUDAL).

⁽²⁾ Instituto Superior Minero Metalúrgico "Antonio Núñez Jiménez" de Moa (Estudiante).

RESUMEN

El presente trabajo titulado Estudio Ingeniero-Geológico de la Región Mayarí-Sagua para el Tramo Sagua-Melones del Trasvase Este-Oeste, tiene el objetivo de definir las características ingeniero-geológicas e hidrogeológicas regionales, para el diseño en la Etapa de Factibilidad, de las obras hidráulicas del Tramo Sagua-Melones y reconstruir la evolución geólogo-tectónica e histórica, para su aporte en el análisis tensional del macizo rocoso Sierra Cristal; para de esta forma lograr en esta etapa, la mejor ubicación de las obras hidráulicas vinculadas a este gran sistema, como son las presas y túneles principalmente.

Como aportes del trabajo se tienen: la confección del modelo digital del terreno, la red de órdenes de ríos y con éstos a su vez, se confeccionaron diferentes mapas morfométricos: pendiente, disección vertical, pendiente de disección, disección horizontal, disección total, relación de aspecto, isobasitas de 2°, 3°, 4° y las diferencias de isobasitas 2° - 3° y 3° - 4°, con lo que se pudo confeccionar el Mapa Geomorfológico de la zona. Toda esta información, con el aporte además, del Mapa Geológico a escala 1:100 000, editado por el Instituto de Geología y Paleontología y actualizado por el Léxico Estratigráfico en esta investigación, permitió confeccionar el Mapa Tectónico y los perfiles geológicos, que facilitan comprender la estructura geológica del tramo investigado.

ABSTRACT

The present work titled Engineer-geologic Study of the Region Mayari-Sagua for the Tract Sagua-Melones of the "Trasvase Este-Oeste", has the objective of defining the regional engineer-geologic and hydrogeologic characteristics, for the design in the Stage of Feasibility, of the hydraulic works of the Tract Sagua-Melones and to reconstruct the geologist-tectonic and historical evolution, for their contribution in the stress analysis of the rocky massive "Sierra Cristal"; for this way to achieve in this stage, the best location in the hydraulic works linked to this great system, like they are mainly the dams and tunnels.

As contributions of the work they are had: the making of the digital terrain model, the net of orders of rivers and with these, different morfometric maps were made in turn: slope map, vertical dissection map, dissection slope map, horizontal dissection map, total dissection map, aspect relationship map, isobase map of 2°, 3°, 4° and their isobase differences 2° - 3° and 3° - 4°, with what you could make the Geomorphologic Map of the zone. This whole information, with the contribution also, of the Geologic Map to scale 1:100 000, published by the Institute of Geology and Paleontology and upgraded by the Stratigraphic Lexicon in this investigation, it allowed to make the Tectonic Map and the geologic profiles that facilitate to understand the geologic structure of the investigated tract.

INTRODUCCIÓN

El Trasvase Este-Oeste surge por la necesidad de abastecer de agua al extremo occidental de la provincia Holguín y llevar el preciado líquido en etapas posteriores a las provincias Las Tunas y Camagüey, que estuvieron sometidas a una intensa sequía en los pasados 10 años. El Proyecto tiene su antecedente en las primeras ideas conceptuales realizadas en la década del 60; pero no es hasta finales de la década del 80 y principios del 90 que la máxima dirección del país decide realizar los trabajos de investigación, proyección y ejecución de las obras vinculadas al Trasvase. Debido a

problemas económicos, surgidos a raíz de la desintegración del campo socialista y la URSS, Cuba se ve afectada económicamente y por esta razón de fuerza mayor, son paralizadas las obras.

Para mitigar la intensa sequía se tomaron medidas que garantizaran el abasto de agua a la población y el cuidado de los principales recursos ganaderos y agrícolas. Análisis realizados por la dirección del país con las instituciones involucradas definieron como estrategia para solucionar el problema del abasto de agua, reanudar los trabajos del Trasvase Este-Oeste dada la recuperación económica experimentada en los últimos años. El Proyecto está dividido en distintos tramos lo que posibilita escalar las soluciones y brindar resultados parciales que atenúen el déficit de agua en la región.

Se realiza el estudio ingeniero-geológico e hidrogeológico de prefactibilidad, como herramienta importante para decidir y proyectar en esta etapa los túneles y otras obras hidráulicas vinculadas al sistema (presas, canales, puentes canales y sifones) en el Tramo Sagua-Melones; y así obtener soluciones económicamente factibles y científicamente avaladas. Se considera un conjunto de factores que permiten optimizar las soluciones dadas: a) El piso de los túneles de abasto debe estar situado entre las cotas 65-70 m (altura de toma de la presa Melones) y b) El sistema debe funcionar como vasos comunicantes y así toda la instalación funcionará de forma reversible logrando una solución eficiente.

La investigación parte del concepto del volumen mínimo de los trabajos y así obtener soluciones rápidas y con la menor inversión. Partiendo del conocimiento previo del área de estudio y la tecnología basada en el empleo de las técnicas de procesamiento numérico de la información se realizó la mayor parte del estudio de prefactibilidad. Se abordan aspectos de la geología e hidrología regional, estrategia desarrollada en la investigación, metodología empleada, volumen de los trabajos realizados e interpretación de los resultados obtenidos.

Planteamiento del problema: Necesidad de realizar un complejo hidráulico, formado por presas, canales, puente canales, túneles y estaciones de bombeo que abastezca de agua a la parte occidental de la provincia Holguín y a las provincias Las Tunas y Camagüey, afectadas por una intensa sequía en los pasados 10 años.

Objetivo del trabajo: Definir el cuadro ingeniero-geológico e hidrogeológico regional, para la proyección en esta etapa de las obras hidráulicas del Tramo Sagua-Melones y reconstruir el cuadro geólogo-tectónico histórico, para su aporte en el Análisis Geotensional del Macizo Rocosó Sierra Cristal y de las tensiones residuales, para la mejor ubicación de los túneles que las enlazan.

Objeto del trabajo: Tramo Sagua-Melones.

Hipótesis: Las características geólogo-tectónicas e historia geológica del tramo a investigar, definen la mejor ubicación de las obras, así como el trazado más factible de túneles o canales, los que según su estabilidad y excavabilidad, condicionan los métodos de construcción, de avance y de protección o apuntalamiento a emplear.

Marco teórico conceptual: La mayor parte de las investigaciones geológicas en la zona están relacionadas con la búsqueda y evaluación de reservas minerales, fundamentalmente las lateritas ferroniquelíferas y estudios regionales. Los trabajos de Adamovich y Chejovich (1963) constituyeron un paso fundamental en el conocimiento geológico del territorio oriental, esencialmente para las zonas de desarrollo de cortezas de intemperismo ferroniquelíferas. Elaboraron un Mapa Geológico a escala 1:250 000 sobre la base de interpretaciones fotogeológicas y marchas de reconocimiento geológico, limitaron las zonas de cortezas de intemperismo para el territorio Mayarí-Baracoa, establecieron la secuencia estratigráfica regional y respecto a la estructura geológica, consideraron la

existencia de un anticlinal con un núcleo de rocas antiguas (zócalo metamórfico) y rocas más jóvenes en sus flancos, estando cortada toda la estructura por fallas normales que la dividen en bloques. Realizaron reconstrucciones paleogeográficas que permitieron caracterizar el relieve pre-Maestrichtiano de la región y clasificaron el relieve actual. Investigaciones posteriores demostraron que la estructura del territorio oriental cubano no tenía el estilo sencillo que ellos concibieron, esclarecieron algunos elementos referidos a la existencia de fuertes movimientos tectónicos tangenciales que provocaban la aparición de secuencias alóctonas y autóctonas intercaladas en el corte geológico, y el emplazamiento de cuerpos serpentiniticos en forma de mantos tectónicos alóctonos sobre las secuencias del Cretácico Superior lo que complica extraordinariamente la interpretación tectono-estratigráfica.

En los últimos años se ha originado un salto cualitativo en el grado de conocimiento geológico. En la década del 70 se inicia una nueva etapa en el conocimiento geológico regional y según Quintas (1989) "se fue abriendo paso la concepción movilita como base para la interpretación geológica", especialmente con posterioridad a los trabajos de Knipper y Cabrera, quienes sobre la base de las observaciones de campo y revisión de materiales existentes plantearon que los cuerpos de serpentinitas representan fragmentos de corteza oceánica que se deslizaron por planos de fallas profundas hasta la superficie donde se emplazaron sobre formaciones sedimentarias del Cretácico en forma de mantos tectónicos. Sus investigaciones no aportan información novedosa al esquema estratigráfico regional, pero abren una nueva dirección al indicar la presencia de mantos tectónicos constituidos por rocas ultrabásicas.

En 1972 se inician investigaciones de carácter regional del territorio oriental cubano por la Escuela de Geología de la Universidad de Oriente, luego por el ISMM Moa, dando un aporte substancial a la geología de la región, estableciendo en 1976 una tectónica de sobrepulso que afecta también a las secuencias sedimentarias dislocadas fuertemente, detectando en numerosas localidades la presencia de mantos alóctonos constituidos por rocas terrígenas y volcánicas del Cretácico Superior, yaciendo sobre secuencias terrígenas del Maestrichtiano-Paleoceno Superior. En 1971-1976 se realiza el levantamiento geológico de la antigua provincia de Oriente por la Brigada Cubano-Húngara (ACC), trabajo que generaliza la geología de Cuba Oriental. Su mapa e informe final constituyó un aporte científico a la geología de Cuba al ser la primera interpretación geológica regional de ese extenso territorio basada en datos de campo, con resultados interesantes expresados en los mapas geológicos, tectónicos y de yacimientos minerales, columnas y perfiles regionales y el desarrollo de variadas hipótesis sobre la evolución geológica de la región.

Con aportes a la tectónica regional se destaca el estudio tectónico de la porción oriental de las provincias Holguín y Guantánamo, que propone siete unidades tectono-estratigráficas para el territorio, describe sus características estructurales y establece los periodos de evolución tectónica de la región. Últimamente dan un gran aporte a la geología regional el Mapa Geológico de Cuba a escala 1:100 000 en formato digital emitido por el IGP (MINBAS) y el Léxico Estratigráfico que los acompaña, aunque para la zona oriental, aún no hay correspondencia entre ambos.

Como investigaciones ingeniero-geológicas en la zona de estudio se tienen los informes de la Presa Melones realizados por la ENIA # 6 de Holguín (Selivanov-Díaz, 1978); informes de los investigadores de la EIPH Holguín y de la EMPI-FAR Holguín para el Trasvase Este-Oeste (1990), entre ellos los realizados para los túneles Melones-Seboruquito y Seboruquito-Esperanza, además el informe ingeniero-geológico de la Presa Esperanza, y el sector investigado del Túnel Melones-Levisa. En la Investigación Ingeniero-Geológica Regional Básica del Túnel Levisa-Melones se midieron y describieron más de 700 elementos de yacencia de grietas y fallas con su representación gráfica y se hizo un ensayo inicial sobre el análisis geotensional del macizo rocoso según su historia geológica. Al reiniciar los trabajos del Trasvase Este-Oeste (2004), se realizan informes sobre las investigaciones

ingeniero-geológicas para la Etapa de Ingeniería Básica de las presas Seboruquito y Guayabo (Blanco Blázquez, 2005, 2006), y de otras obras hidráulicas investigadas por la UEBGP de la Empresa RAUDAL.

Justificación de la investigación: Debido a la escasez de agua que padeció en los pasados 10 años, la región oriental y a la posibilidad de que el fenómeno climático vuelva a repetirse, con las consecuencias negativas que produjeron a la economía y la población, se tomaron una serie de medidas para solucionar esta problemática en el futuro y que el impacto en la economía de la región sea mínimo. El agua es fuente de vida para los seres humanos y constituye un factor indispensable para la economía del país. La falta de agua en la región afecta el abasto del preciado líquido a la población, además a la agricultura, ganadería e industria. Una medida tomada por el gobierno cubano es realizar estudios ingeniero-geológicos de algunas regiones para construir un complejo hidráulico, formado por presas, canales, puentes canales, túneles y estaciones de bombeo que permitan abastecer de agua a la parte occidental de la provincia Holguín y a las provincias Las Tunas y Camagüey, donde el Tramo Sagua-Melones, constituye una de las partes del sistema.

MATERIALES Y MÉTODOS

Trabajos preliminares.

Para cumplimentar la tarea planteada se realizó la búsqueda bibliográfica de los materiales relacionados con la zona de estudio: mapas geológicos, calas perforadas en las terrazas de los principales ríos e informes anteriores de estudios al nivel de esquemas, con posibles variantes para el Tramo Sagua-Melones. Aunque existan estudios preliminares, los métodos de investigación se han desarrollado y el conocimiento sobre la tecnología de construcción, proyección e investigación han evolucionado, por lo que es imprescindible la revisión y re-análisis de las variantes anteriores y definir otras, de forma tal, que se optimicen las soluciones.

Trabajos de gabinete.

1. Recopilación y digitalización de la información.

Se consultó toda la información disponible en los archivos de la EIPH Holguín, en el Centro de Información Científico Técnica del ISMM Moa, así como los materiales y bases de datos digitales ofrecidos por el cliente. Con los mapas digitales ofrecidos por GER-GEOCUBA, se generó el Modelo Digital del Terreno (MDT), usando el método de interpolación Kriging con paso 5 x 5 m, radio de búsqueda de 1700 m y tomando el variograma de la curva de ajuste, información primordial para los estudios desarrollados de tipo geomorfológico, hidrológico, topográfico y en la interpretación ingeniero-geológica. Se obtuvo la red de drenaje superficial y a partir de estas dos informaciones primarias se obtuvieron distintas coberturas morfométricas y morfológicas. Se procedió a partir de uno de los Mapas digitales, donde aparecían las curvas de nivel ploteadas y los ríos por órdenes, exportar como .dat curva por curva cada 25 m de todo el modelo y colocándose su valor de cota (Z), finalmente se generó el MDT como se explicó con anterioridad (Anexo N° 5). Teniendo la red de drenaje por órdenes de los ríos y el modelo digital del terreno (MDT) se realizaron de forma automatizada los mapas de isobasitas de 2º, 3º y 4º orden con paso cada 250 m, radio de búsqueda de 2500 m y método de interpolación Kriging; a partir de estos se obtuvieron las diferencias de isobasitas de 2º con 3º y 3º con 4º orden (Anexos N° 2 y 3). Los mapas de Cota Media y Relación de Aspecto se hicieron teniendo el MDT en SURFER, y los mapas de Disección Horizontal, Disección Vertical, Pendiente de Disección, Disección Total y Geomorfológico, se tomaron del trabajo de GEOCUBA.

2. Interpretación de la información inicial y los materiales derivados del MDT.

Se realizó el análisis conjunto de todos los materiales para completar la información litológica y estructural; mejorar los contactos entre distintas formaciones con el auxilio de los mapas derivados del MDT y de la red de drenaje, con el objetivo de aumentar el conocimiento ingeniero-geológico de la zona de estudio y orientar los trabajos futuros de investigación para la Etapa de Ingeniería Básica. Se determinaron los fenómenos físico-geológicos de mayor influencia sobre los diferentes tipos de obras del Trasvase Este-Oeste en este tramo.

3. Trabajos Hidrogeológicos.

La información hidrogeológica existente sobre la zona de estudio aparece en expedientes de pozos en los archivos de la Empresa. Debido a ello y como la información representa diferentes épocas con regímenes de precipitaciones muy diferentes, se procedió a confeccionar mapas pronósticos de hidroisohipsas para época de lluvia y seca, utilizando la red de ríos por órdenes. A toda la red se le dio el valor de cotas (Z) evaluando estos órdenes en la opción SLICE del SURFER y una vez que tuvieron la Z, considerando la escala de trabajo 1:25 000, se le restó a esa Z 0.25 m y se generó en el mismo sistema con el método de interpolación del Vecino Natural la superficie polibásica de primer orden, considerando que representa el pronóstico de las hidroisohipsas para época de lluvia; y el pronóstico de hidroisohipsas para época de seca, es la generación con el mismo método de interpolación, de la superficie polifásica de segundo orden restándole 0.75 m. En la próxima etapa se corregirá el modelo con los datos de pozos para diferentes épocas, se determinará el gradiente hidráulico y la profundidad de yacencia de las aguas subterráneas.

RESULTADOS

1. Generalidades.

Con el conjunto de métodos automatizados, la participación del grupo de expertos y la utilización de la información disponible y la derivada de distintas fuentes, se profundizó el cuadro ingeniero-geológico y las condiciones topográficas e hidrológicas de la zona de estudio para el análisis ulterior de prefactibilidad. El objetivo principal de esta etapa consistió en lograr el mayor acercamiento al cuadro ingeniero-geológico y estructural de la zona investigada, con un acercamiento al cuadro geotensional del macizo rocoso.

2. Geomorfología.

2.1. Mapas de Red Hidrográfica y Disección Horizontal.

De los factores que ayudan a descifrar las características geológicas de la región, el drenaje es uno de los de mayor importancia. A partir de su análisis se lograron evidencias relacionadas con litología, estructura y morfoalineamientos asociados a líneas de debilidad tectónica. La red de drenaje está desarrollada en ríos de 1º a 8º orden como los de mayor importancia del área. En el bloque A hay una red pobre y en muchos casos inexistentes lo que denota valores altos de coeficientes de infiltración coincidiendo con formaciones de sedimentos aluviales. En el bloque B se comprobó la existencia del predominio de los ríos de 1º y 2º orden y menor manifestación de los órdenes superiores, lo que es indicio claro de rejuvenecimiento de la red provocado por movimientos de elevación de esta zona, lo que constituye un índice de interpretación neotectónica débilmente correlacionado con los vistos hasta el momento para este bloque. En el bloque C aunque no existen ríos del mayor orden (8º) los valores de relación de bifurcación evidencian una zona más estable que el bloque B. Los valores de densidad de drenaje (disección horizontal) son altos denotando cierta impermeabilidad. En el bloque

D la red se manifiesta escasa en algunas zonas, sobre todo relacionadas con las formaciones carbonatadas más carsificadas. En las formaciones más arcillosas, margosas como Mucaral se presenta un patrón de la red de drenaje dentrítico (Anexos N° 2, 4 y 6).

2.2. Mapas de Isobasitas y de Diferencias de Isobasitas.

Con su interpretación, además de las evidencias detectadas en el análisis de la red de drenaje y las relaciones de bifurcación, se detectó la presencia de un bloque con tendencia definida al levantamiento situado en la zona centro-O del área, que es cortado por el río Levisa. En el flanco E del bloque se observa una falla, con dirección prácticamente N-S que pasa muy cerca del cierre Cabonico-1. En el resto del área prevalece una estabilidad relativa, existiendo evidencias de pequeños bloques con movimientos relativos de hundimiento, coincidiendo fundamentalmente con las formaciones aluviales y zonas de acumulación.

2.3. Mapa de Disección Vertical.

Destaca las zonas de fracturas principales y de manera cuantitativa las zonas de mínimos y máximos levantamientos neotectónicos. Las curvas de isovalores con formas cerradas se relacionan frecuentemente con bloques levantados por fallas y los máximos valores alineados reflejan normalmente la dirección de los escarpes de falla. Los altos valores de disección vertical se asocian al bloque centro-O del área, al parecer relacionados con procesos de levantamientos neotectónicos, con alineaciones aproximadas N-S y cercanas al E-O. Los valores bajos se relacionan con zonas de acumulación principalmente definidas en las terrazas de los principales ríos. Al NE se observan valores bajos de este parámetro, que pudieran estar dados por la tendencia a un hundimiento relativo (con respecto a la zona vecina donde la velocidad de levantamiento es superior) (Anexo N° 4).

2.4. Mapa de Pendiente.

Constituye uno de los mapas más importantes del estudio geomorfológico, su empleo resultó exitoso en un conjunto de procesamientos asistidos por la computadora. Valores altos de pendientes resultaron evidencias de control tectónico, estas anomalías se analizaron con cautela pues en ocasiones la alineación no representa la estructura propiamente dicha sino el escarpe en retroceso. Valores bajos combinado con presencia de rocas permeables, por su constitución o por agrietamiento, permite la acumulación del agua y contribuye a la infiltración. De igual manera valores bajos combinados con grandes potencias de suelo con bajo ángulo de fricción interna propician deslizamientos y por tanto la presencia de posibles afloramientos y redepósitos. La interpretación de este mapa es muy similar a lo analizado para la disección vertical, prevalecen valores altos para la zona de la Asociación Ofiolítica y valores más bajos para el resto del área con excepción de los flancos con formaciones carbonatadas en formas de casquetes como la Fm Yateras (Anexo N° 4).

2.5. Mapa Geomorfológico.

En la interpretación de este mapa se diferenciaron cuatro grandes zonas.

Bloque A: Coincide con las zonas más bajas del área que presentan textura fina y principalmente con las formaciones Río Macío y Jagüeyes, que tienen grandes espesores de sedimentos de variada composición, la red de drenaje es escasa y representa sólo una pequeña área al NO de la zona de investigación y en las terrazas de los ríos Mayarí, Levisa y Sagua.

Bloque B: Coincide con la zona más elevada, predominan los procesos denudativos y denudativo-acumulativos; afloran rocas de la Asociación Ofiolítica. Se presenta como una gran zona al centro N

del área y se caracteriza por constituir una zona elevada erosionada por los cauces de los ríos Mayarí y Levisa. La densidad del drenaje es alta presentando altos valores de disección vertical, lo que denota movimientos de elevación de los bloques acompañados por intensos procesos erosivos sobre todo en el curso de los ríos antes mencionados. La configuración de la red es radial, manifestando la tendencia del bloque al levantamiento y las superficies peniplanizadas en las zonas más elevadas evidencia la combinación de los procesos neotectónicos y la intensidad de los procesos erosivos. Una parte de este bloque está separado del anterior y se manifiesta en el extremo SE del área investigada. Aunque en una posición hipsométrica menor éste manifiesta similares características a las planteadas. Las litologías más representativas son las de la Asociación Ofiolítica y de la Fm Santo Domingo, prevalecen las rocas vulcanógenas y vulcanógeno-sedimentarias.

Bloque C: Se caracteriza por una textura tendiendo a fina lo que evidencia la presencia de materiales quebradizos. Por lo general se manifiestan formaciones carbonatadas como Mucaral y Maquey, vulcanógenas y vulcanógeno-sedimentarias como Santo Domingo y Mícará. Desde el punto de vista hipsométrico se representa entre zonas bajas, con límite en las terrazas del río Sagua (Bloque A), y la región de premontaña, presentando rasgos geomorfológicos de zonas acumulativas y denudativo-acumulativa. Los rasgos de afectación estructural son evidenciados en este procesamiento denotando un intenso agrietamiento con direcciones preferenciales NE-SO y NO-SE.

Bloque D: Su característica principal es estar limitado por una estructura del relieve de forma elipsoidal rodeando al sector más oriental del bloque B. Están presentes formaciones carbonatadas como Yateras, yaciendo en forma de casquetes principalmente sobre la Fm Sagua que tiene una componente más arcillosa que la primera. En la Fm Yateras se denota una red de drenaje rala con evidencias de estar altamente carsificada sobre todo en los sectores más potentes. Al S predominan las litologías de margas, areniscas, limonitas y arcillas calcáreas (Anexo N° 6).

2.6. Análisis Geomorfológico.

Este aspecto dentro de la investigación es fundamental, dando evidencia sobre los movimientos ocurridos en los diferentes bloques. El procesamiento de un conjunto de mapas definió las principales tendencias de ascenso y descenso, y posibles estructuras activas. Con la interpretación de los mapas de diferencias de isobasitas, pendientes, relación de aspecto, con el apoyo del mapa tectónico y geológico, se determinó que la región de estudio tiene tendencia general al levantamiento, como se plantea en trabajos anteriores, y está dividida en bloques morfotectónicos que se levantan a diferentes velocidades unos respecto a los otros (Anexo N° 6).

2.7. Mapas y Perfiles Geológicos.

En el Mapa Geológico se representan las formaciones y complejos litológicos actualizados por el Léxico Estratigráfico (Anexo N° 7a). En el Mapa Tectónico se representan las asociaciones tectono-sedimentarias relacionadas, principales fallas y morfoalineaciones, el eje de las principales morfoestructuras y la posible dirección de los esfuerzos tectónicos (Anexo N° 8). Se trazaron 2 perfiles geológicos, uno en dirección aproximada del eje de la morfoestructura y otro aproximadamente perpendicular a ésta, siempre pasando por la máxima elevación de la zona, representada por Pico Cristal (Anexo N° 7b).

2.8. Mapas Pronóstico de Hidroisohipsas y Dirección del Flujo.

- Mapa Pronóstico de Hidroisohipsas para época de lluvia.

Estas isolíneas copian las formas del relieve, siempre por debajo de éste y convergiendo hacia las corrientes fluviales desde el 1º hasta el 8º orden. Las líneas de flujo en este mapa van desde zonas altas (parte aguas) hacia zonas bajas o corrientes fluviales (Anexo N° 9).

- Mapa Pronóstico de Hidroisohipsas para época de seca.

Al igual que el mapa anterior, copian las formas del relieve, estando por debajo de éste y de las estratoisohipsas en época de lluvia. Teóricamente la diferencia de ambos mapas debe dar el Mapa de Profundidad de Yacencia del Agua Subterránea, sin embargo deben perfeccionarse estos mapas al perfeccionar el MDT y tener datos de campo de pozos, pues esta diferencia da valores negativos donde debía aflorar el agua y no es así.

DISCUSIÓN

1. Generalidades.

El macizo Mayarí-Baracoa representa un importante elemento de la geografía cubana, con un endemismo de su flora y fauna digno de considerar, y parques naturales que constituyen patrimonio de la humanidad como son Pico Cristal y Humboldt. Los rasgos geológicos se marcan por el predominio de las rocas de la Asociación Ofiolítica y rocas volcánicas que datan del Jurásico al Cretácico, y rocas de los arcos del Paleógeno y cuencas superpuestas del Eoceno Medio Superior. Finalmente marcando un estadio de cierta estabilidad tectónica relativa, conocida como plataforma o cuasiplatafórmica, están las secuencias del Oligoceno Medio-Superior hasta Reciente, predominantemente carbonatadas y terrígeno-carbonatadas, ubicadas en el borde N de la región.

2. Localización y rasgos fisiogeográficos de la región de estudio.

2.1. Ubicación geográfica.

Geográficamente la región de estudio se ubica hacia el extremo oriental de la isla de Cuba, ocupando parte de la provincia Holguín y algunas partes del NE de la provincia Santiago y NO de Guantánamo. Dentro de estos límites, se le prestará una atención especial a los municipios Sagua de Tánamo, Frank País y Mayarí, por donde pasará el Trasvase Este-Oeste. Los límites principales se encuentran entre las coordenadas Lambert: $X_1=619\ 000$ y $Y_1=680\ 000$, $X_2=197\ 000$ y $Y_2=224\ 000$ en las hojas cartográficas 1:100 000 de Mayarí y Sagua de Tánamo (Anexo N° 1).

2.2. Orografía y red hidrográfica.

- Características Orográficas.

La región se identifica por su diversidad y complejidad, hay llanuras costeras con partes pantanosas, llanuras fluviales, con predominio de relieve montañoso constituido casi en su totalidad por el sistema orográfico Nipe-Cristal-Baracoa, cuya última parte está más al E fuera de ésta. En el borde N predominan zonas llanas y onduladas con elevaciones aisladas y colinas de cimas redondeadas. Cerca del litoral aparecen llanuras acumulativas y palustres. Las cotas van de 0 a 100 m, pendientes de 0º a 10º, disección vertical de 0 a 70 m, disección horizontal de 0 a 60 m/ha y disección total de 0 a 110 m/ha. Predominan zonas llanas en los valles de los principales ríos, que se solapan con la llanura litoral norte. Las llanuras aluviales más extensas están en las cuencas de los ríos Sagua y Mayarí, siguiendo una pequeña llanura aluvial en el río Levisa y menores en los ríos Cabonico y Grande. En ellas se presentan zonas de inundación actual y terrazas elevadas con meandros y cauces abandonados levantados, demostrando una dinámica neotectónica de levantamiento. Las

cotas en estas llanuras aluviales son de 50 a 150 m, pendientes de 0° a 15°, disección vertical de 0 a 90 m, disección horizontal de 20 a más de 380 m/ha y disección total de 0 a 150 m/ha. En la parte S el relieve es completamente montañoso, desde zona premontañosa (100-250 m) hasta elevaciones con más de 250 m hasta 1200 m (Pico Cristal). Las pendientes son de 0° a 70°, disección vertical de 0 a 200 m, disección horizontal de 0 a más de 120 m/ha y disección total de 0 a 460 m/ha. Esta zona se caracteriza por tener forma de colinas medias a altas con cimas redondeadas en las elevaciones premontañas, mesetas carbonatadas bajas, mesetas lateríticas altas (Pinares de Mayarí al E y elevaciones al S de Levisa donde sólo quedan restos de estas estructuras), así como cuchillas y picos (Pico Cristal y sus inmediaciones) (Anexos N° 1, 2, 4 y 5).

- Características hidrográficas.

Las características del relieve y el régimen de las precipitaciones favorece la densa red hidrográfica que corre generalmente de S a N. Como principales corrientes fluviales están los ríos Sagua, Miguel, Santa Catalina, Río Grande, Cabonico, Levisa, Arroyo Blanco y Mayarí. La red hidrográfica que predomina es dentrítica, el nivel de los ríos cambia en dependencia de las precipitaciones. Los niveles más bajos están en período de seca (noviembre-abril) y los más elevados en período lluvioso (mayo-septiembre). Las características generales del escurrimiento en la zona se basan en crecidas extremadamente rápidas con descensos lentos (Anexos N° 1 y 2).

2.3. Clima y vegetación.

-Clima.

El clima de la región es tropical húmedo, por la distribución de las precipitaciones hay dos períodos: seco (noviembre-abril) y húmedo (mayo-octubre). Según los datos del Atlas Nacional de Cuba, la temperatura media anual para la zona de estudio es de 20 a 25 °C en la parte central y en la N es de 26 °C y más. La precipitación anual oscila de 1600 a 1900 mm en la porción centro y S, en la N de 1200 a 1400 mm. La evaporación media anual es de 400 a 1700 mm. El escurrimiento superficial en la parte central y S es de 15 a 30 l/s/km y al N de 5 a 20 l/s/km.

- Vegetación.

La vegetación presente en el área es variada. En la parte N, zona costera, predomina mangle rojo, en ocasiones mangle prieto, patabán y yana. En las costas bajas cambia a saladares y prados de saladares. En la parte central hay predominio de bosques aciculifolios con vegetación arbórea, arbustiva renovada en los talados con pinos de moa (pinos cubensis) y bosques planifolios predominando con mayor frecuencia en los desfiladeros. En la parte S hay bosques planifolios con vegetación arbórea y arbustiva renovada en los talados y ocasionalmente con cambios rápidos en los sectores con predominio de especies perennifolios en las montañas y montículos pedregosos.

2.4 Población y Redes de comunicaciones.

- Población.

Los poblados más importantes en la región son: Mayarí, Levisa, Cayo Mambí (Frank País) y Sagua de Tánamo; aparecen algunos caseríos diseminados como Cajimaya, Arroyo Blanco, El Purio, Cabonico, Téneme, Río Grande, El Jobo, El Sitio, Los Calderos, El Picado, San Pedro, Castro, Naranjo Agrio, Granadillo y Los Plátanos (Anexo N° 1).

-Comunicaciones.

El sistema de comunicaciones está desarrollado fundamentalmente hacia el N de la región, existiendo vías de comunicación terrestre y marítima. En la terrestre hay vías de orden principal (Carreteras Mayarí-Sagua, Sagua-Frank País y Sagua-Las Calabazas) y de orden secundario (Terraplenes, trillos y senderos). Las comunicaciones marítimas se realizan por los puertos de Nicaro y Felton, el primero fundamentalmente para la exportación de minerales, recepción de equipos y materiales para la fábrica de níquel ubicada en el área. También existen instalaciones telefónicas y estaciones postales.

2.5. Desarrollo industrial y agrícola.

Las industrias más importantes en la zona son la planta de níquel René Ramos Latour de Nicaro, el nuevo transportador de mineral y la termoeléctrica Lidio Ramón Pérez de Felton, además de las minas a cielo abierto que se explotan en la Meseta Pinares de Mayarí. También el aserrío de Mayarí que suministra madera a toda la provincia, los talleres del Central Guatemala, donde se reparan las piezas de los centrales azucareros de la región y las locomotoras; la cooperativa pesquera de Guatemala y el combinado cárnico. En cuanto a la agricultura, se cultiva la caña de azúcar, renglón que comienza a sustituirse por pastos, hortalizas y otros productos del agro. En las zonas montañosas hay sembrados de café, frutos menores y árboles maderables. Dentro del ganado se destaca el vacuno y el equino.

3. Características geológicas regionales.

Geológicamente el área está dentro de los límites del Bloque Oriental Cubano, que es el más oriental de los tres grandes bloques que constituyen la estructura geológica cubana, con límites muy bien definidos por los sistemas de fallas regionales (Figura 1): Sistema de fallas Cauto-Nipe al O-NO; Falla transformante de Barttlet al S; Falla de sobrecorrimiento Sabana al N. Estas fallas se cortan formando un triángulo que conforma el Bloque Oriental Cubano, que está muy cerca del límite entre las Placas Norteamericana y Caribe; posición ésta que lo hace muy vulnerable a movimientos sísmicos.

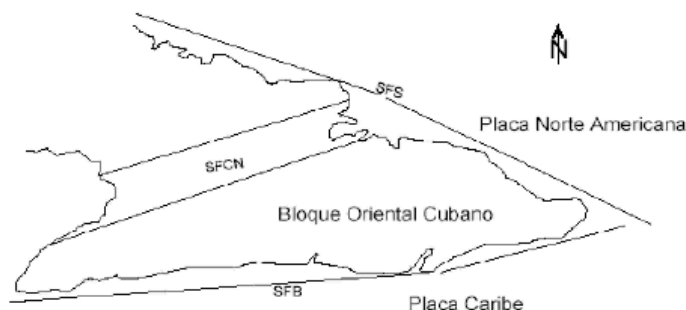


Figura 1. Bloque Oriental Cubano. Sistemas de fallas regionales: SFS Sistema de Falla Sabana; SFB Sistema de Falla Barttlet; SFCN Sistema de Fallas Cauto-Nipe.

Según los terrenos tectono-estratigráficos propuestos (Blanco-Proenza, 1994), la región de estudio está en el terreno Mayarí-Sierra Cristal (IV) cercano al terreno Cauto-Nipe (VII), separado por la falla Cauto-Sur (Figura 2), en él están presentes las rocas de la Asociación Ofiolítica como basamento y sobre ellas discordantemente las secuencias carbonatadas terrígenas terciarias y cuaternarias.

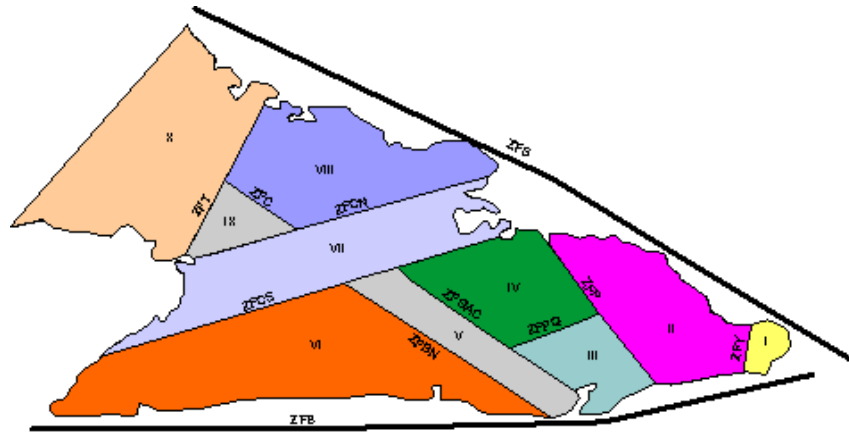


Figura 2. Esquema de los Terrenos Tectonoestratigráficos en Cuba Oriental.

Nombres de los Terrenos: I- Asunción; II- Puriales-Moa; III- Guaso; IV- Mayarí-Sierra Cristal; V- San Luis; VI- Sierra Maestra; VII- Cauto-Nipe; VIII- Maniabón; IX- Buena Ventura; X- Tunas-Camagüey.

Nombres de las fallas: ZFY- Zona de falla Yumuri; ZFP- Zona de falla Puriales; ZFPQ- Zona de falla Palenque; ZFS- Zona de falla Sabana; ZFB- Zona de falla Bartlett; ZFBN- Zona de falla Baconao; ZFGAC- Zona de falla Guaso-Alto Cedro; ZFCS- Zona de falla Cauto-Sur; ZFCN- Zona de falla Cauto-Norte; ZFC- Zona de falla Cacocum; ZFT- Zona de falla Tunas (Blanco-Proenza, 1994).

La geología de la región tiene gran complejidad debido a la variedad litológica y a los distintos eventos tectónicos ocurridos. Iturralde-Vinent reconoce en la constitución geológica del archipiélago cubano dos elementos estructurales principales: el substrato plegado y el neotóctono. El substrato plegado está constituido por terrenos oceánicos y continentales deformados y metamorfizados de edad pre-Eoceno Medio, que ocupan en la actualidad una posición diferente a la original, representando las unidades geológicas que lo integran y las grandes entidades paleogeográficas que marcaron la evolución del Caribe noroccidental. El neotóctono está constituido por materiales terrígenos carbonatados poco deformados del Eoceno Superior Tardío al Cuaternario que cubren discordantemente las rocas del substrato plegado. Esta última concepción es la más generalizadora de todas las empleadas hasta el momento. En la región de estudio están bien representadas las unidades oceánicas del substrato plegado y de la cobertura, constituidas por: rocas de la Asociación Ofiolítica, rocas pertenecientes al arco insular volcánico del Cretácico, secuencias de rocas de las cuencas de piggy back del Campaniano Tardío-Daniano, secuencias de rocas del arco de isla volcánico del Paleógeno (Neoarco), secuencias de rocas de las cuencas de piggy back del Eoceno Medio-Oligoceno y rocas del neotóctono.

4. Geología de la zona de estudio.

4.1. Análisis Estratigráfico.

La Corea, metamorfitas (Icr, J?-K₁). Aparece sólo en Altos de La Corea, Sierra Cristal, provincia Holguín. Litología diagnóstico: Bloques de metamorfitas de alta presión cementados por serpentinita muy cizallada, constituidos por anfíbolitas granatíferas con intercalaciones de metasilitas granatíferas. En menor grado hay esquistos glaucofánicos, esquistos actinolíticos o cloritoactinolíticos, esquistos talcosos y antigorititas. Contiene vetas pegmatíticas. Se presenta como inclusiones tectónicas dentro de las serpentinitas. Potencia: Se desconoce. Edad: Jurásico? a Cretácico Inferior.

Fm Santo Domingo (sd, b₅-k₂). Aparece al S, O de Frank País; al S de Sagua de Tánamo y al S de Sierra Cristal, provincia Holguín. Litología diagnóstico: Formada por tobas y lavobrechas andesíticas,

dacíticas, tufitas, argilitas, limolitas vulcanomícticas, lavas basálticas, riolíticas, conglomerados y calizas. Aparecen pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas. Se desconoce su subyacente. Está cubierta discordantemente por las formaciones Gran Tierra, La Picota, Mícara, Sabaneta, y Yateras. Se correlaciona con la Fm Sierra del Purial de Cuba Oriental. Ambiente de Sedimentación: Aguas marinas profundas a medias, con desarrollo de vulcanismo submarino. Potencia: 2100 m. Edad: Cretácico Inferior (Aptiano) a Cretácico Superior (Turoniano).

Fm Mícara (mcr, k₆-e₁). Aparece en la provincia Holguín al S, E y NE de Sagua de Tánamo; al S de Frank País; al S, SE y SO de Sierra Cristal. Litología diagnóstica: Por su composición se divide en tres partes: inferior, media y superior. Inferior: Limolitas masivas, mal estratificadas; brechas; areniscas; arcillas y calizas. Media: Secuencia olistostrómica compuesta por margas, areniscas, limolitas, gravelitas y conglomerados. Los olistolitos son de brecha y ultrabasitas serpentinizadas. La estratificación es buena. Superior: Predominan limolitas y subordinadamente brechas y areniscas tobáceas, en su parte más alta con intercalaciones de tobas ácidas bentonitizadas y calizas. Presentan buena estratificación. Las areniscas, limolitas, brechas, gravelitas y conglomerados son polimícticos. Las calizas son biodetríticas, arenosas y brechosas. Algunas veces en la parte alta de la formación las areniscas y limolitas tienen un contenido alto de tobas vitroclásticas y cristaloclásticas y de tufitas psammíticas. Tiene estratificación gradacional y en ocasiones cruzada. Yace discordantemente sobre las formaciones La Picota y Santo Domingo. Está cubierta concordantemente por la Fm Gran Tierra y discordantemente por las formaciones Charco Redondo, Mucaral, Puerto Boniato, Sabaneta y Yateras. Ambiente de Sedimentación: Marino en condiciones sublitorales con fuerte inestabilidad tectónica. Potencia: 800-1000 m. Edad: Cretácico Superior (Maestrichtiano Superior) a Paleoceno Inferior (Daniano Inferior).

Fm La Picota (lpc, k₅-k₆). Aparece en la provincia Holguín, al O, SO de Sierra Cristal; al S, SE y SO de Sagua de Tánamo. Litología diagnóstica: Conglomerados polimícticos con intercalaciones de areniscas polimícticas y conglobrechas mal seleccionadas intercalados con argilitas. Yace discordantemente sobre el Mb Perucho (Fm Santo Domingo). Está cubierta discordantemente por las formaciones Charco Redondo, Mícara, Mucaral, Puerto Boniato, Sabaneta y Yateras. Es correlacionable temporalmente con la Fm Tinajita de Cuba Oriental. Ambiente de Sedimentación: Zona del talud a profundidades medias. Clastos en su mayoría de origen continental y más subordinadamente marino y fluvio-marinos (facies deltaica). Potencia: 250-500 m. Edad: Cretácico Superior (Campaniano) a Cretácico Superior (Maestrichtiano).

Fm Gran Tierra (gt, e₁). Aparece en forma de pequeñas franjas, al SO de Sierra Cristal; al NE y SO de Sagua de Tánamo, provincia Holguín. Litología diagnóstica: Calizas brechosas, conglomerados vulcanomícticos, brechas, margas, tobas, calizas organodetríticas, areniscas vulcanomícticas de cemento calcáreo, limolitas y tufitas. Yace concordantemente sobre la Fm Mícara y discordantemente sobre la Fm Santo Domingo. Está cubierta concordantemente por la Fm Sabaneta. Ambiente de Sedimentación: Marino de profundidades medias con fuerte inestabilidad tectónica, dándole carácter turbidítico. Potencia: 200 m. Edad: Paleoceno Inferior (Daniano).

Fm Sabaneta (sn, e₁-E₂). Aparece en zonas de Frank País, al E y NO de Sagua de Tánamo, al O de Sierra Cristal y al O del río Levisa, provincia Holguín. Litología diagnóstica: Tobas vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, limolitas, margas, gravelitas, conglomerados vulcanomícticos y ocasionalmente pequeños cuerpos de basaltos, andesitas, andesito-basaltos y andesito-dacitas. Muy característico por alteración de tobas la presencia de minerales del grupo de la montmorillonita (bentonita) y de las zeolitas (zeolitas). Yace concordantemente sobre la Fm Gran Tierra y discordantemente sobre las formaciones La Picota y Mícara. Está cubierta concordantemente por la Fm Puerto Boniato y discordantemente por las formaciones Charco Redondo, Mucaral, Río Maya y

los grupos Guantánamo (Fm Yateras, el Mb Vega Grande de la Fm Maquey) y Nipe (Fm Júcaro). Es correlacionable con la Fm Vigía y el Gr El Cobre (parte indiferenciada) de Cuba Oriental. Ambiente de Sedimentación: Marino con régimen dinámico de las aguas muy inestable, con aporte piroclástico considerable producto a la cercanía de centros magmáticos explosivos. Potencia: 250-1200 m. Edad: Paleoceno Inferior (Daniano parte alta) a Eoceno Medio.

Fm Puerto Boniato (pb, E₂). Aparece en forma de franja discontinua al S de Sierra Cristal. Litología diagnóstico: Alternancia de calizas organodetríticas aporcelanadas algáceas y margas, con intercalaciones de sílice negro-parduzco. Yace concordantemente sobre la Fm Sabaneta y discordantemente sobre la Fm La Picota. Está cubierta concordantemente por la Fm Mucaral. Ambiente de Sedimentación: Marino medianamente profundo. Potencia: Menor de 50 m. Edad: Eoceno Medio.

Fm Mucaral (mcl, e₇-E₃). Aparece en las regiones de Sagua de Tánamo, Mayarí y Sierra de Nipe, provincia Holguín. Litología diagnóstico: Margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, conglomerados polimícticos, limolitas y tobas. Yace concordantemente sobre las formaciones Charco Redondo y Puerto Boniato, y discordantemente sobre las formaciones La Picota, Mícara, Santo Domingo y Sabaneta. Está cubierta discordantemente por los grupos Guantánamo (Fm Yateras y Mb Vega Grande de la Fm Maquey) y Nipe (Fm Bitirí). Ambiente de Sedimentación: Marino profundo. Potencia: Hasta 300 m. Edad: Eoceno Medio (parte alta) a Eoceno Superior.

Fm Yateras (yt, e₈-n₁). Aparece en parches aislados en el curso superior de los ríos Mayarí y Sagua de Tánamo, provincia Holguín. Litología diagnóstico: Alternancia de calizas detríticas, biodetríticas y biógenas de grano fino a grueso, estratificación fina a gruesa o masivas, duras, de porosidad variable, a veces aporcelanadas, frecuentemente contienen grandes *Lepidocyclinas*. Coloración por lo general blanca, crema o rosácea, menos frecuentemente carmelitosa. Yace concordantemente sobre el Mb Vega Grande (Fm Maquey) y discordantemente sobre las formaciones Charco Redondo, La Picota, Mícara, Mucaral, Sabaneta, y el Mb Cilindro (Fm Maquey). Transiciona lateralmente con el Mb Vega Grande (Fm Maquey). Es correlacionable con las formaciones Báguanos, Bitirí, Camazán, Maquey y Sevilla Arriba de Cuba Oriental. Ambiente de Sedimentación: Abarca distintas variedades del complejo arrecifal. Potencia: 160-500 m. Edad: Oligoceno Inferior a Mioceno Inferior (parte baja).

Fm Bitirí (bt, e₈-n₁). Aflora en una faja estrecha a lo largo del flanco occidental de la Sierra de Nipe y en ambos lados del río Levisa, provincia Holguín. Litología diagnóstico: Calizas algáceas de matriz fina, duras, compactas, carsificadas, ocasionalmente con fragmentos de corales y grandes *Lepidocyclinas*. Colores amarillo-grisáceo a carmelitoso. Yace discordantemente sobre las formaciones Charco Redondo y Mucaral. Está cubierta discordantemente por la Fm Río Jagüeyes y la cobertura aluvial cuaternaria. Es correlacionable con las formaciones Báguanos, Camazán y Maquey y en parte con las formaciones Cabacú, Sevilla Arriba y Yateras, todas de Cuba Oriental. Ambiente de Sedimentación: Depósitos biohémicos, con abundantes algas, y periarrecifal, con asociaciones bentónicas. Influencia terrígena muy subordinada, en algunas muestras escaso material volcánico redepositado y cuarzo detrítico, en dependencia de las áreas de suministro. Potencia: 40 m o más. Edad: Oligoceno Superior a Mioceno Inferior.

Fm Maquey (mq, e₉ – n₁). Aflora en parches al SE de la zona de estudio, al S del río Sagua de Tánamo. Litología diagnóstico: Alternancia de areniscas, limolitas y arcillas calcáreas de color gris y margas de color blanco a crema con intercalaciones de espesor variable de calizas biodetríticas, arenáceas y gravelíticas de colores blanco amarillo y crema, ocasionalmente amarillo grisáceo. La estratificación es fina a media, menos frecuentemente gruesa o masiva. Algunos horizontes, particularmente de limolitas y calizas biodetríticas, son fosilíferos, abundan grandes *Lepidocyclinas*. Otros horizontes tienen yeso, lignito y restos vegetales lignitizados. Yace concordantemente sobre la

Fm Cabacú y discordantemente sobre las formaciones Camarones, Charco Redondo, Mucará, Sabaneta, San Ignacio, San Luis, Santo Domingo y las ultramafitas. Está cubierta concordantemente por las formaciones Baracoa, San Antonio y Yateras, y discordantemente por las formaciones Jamaica, Punta Imías y Río Maya. Transiciona lateralmente con la Fm Yateras. Es correlacionable con las formaciones Báguanos y Bitirí y en parte con Cabacú, Sevilla Arriba y Yateras, todas de Cuba Oriental. Ambiente de Sedimentación: La base de la formación en ambiente sublitoral de moderada energía, con desarrollo coralino limitado que no llegó a formar barreras arrecifales. Caracterizado por la asociación *Lepidocyclus*-*Corallinacea*. Marginalmente parece haber existido ambiente lagunar con carácter muy local. La parte alta de la formación refleja oscilaciones marinas desde sublitoral a lagunar con influencia fluvial y áreas de pantano. En los episodios de levantamiento se produjo un mayor aporte de materiales terrígenos. Existieron fases de desarrollo coralino representados por la Fm Yateras con la que tiene transición lateral y vertical. Potencia: Mayor de 700 m. Edad: Oligoceno Superior a Mioceno Inferior.

Fm Río Jagüeyes (rj, n₁-n₆). Aflora a ambos lados del río Mayarí y en zonas de Frank País, provincia Holguín. Litología diagnóstico: Limolitas, areniscas, gravelitas polimícticas de matriz arenácea a arcillosa con cemento carbonático escaso o ausente y margas arcillosas y arenáceas, fosilíferas, alternando con calizas biotriticas, calizas biohermicas, calcarenitas y arcillas. Las arcillas y limolitas pueden ser yesíferas. Predominan los colores crema, grisáceo y carmelita. Yace discordantemente sobre la Fm Bitirí. Está cubierta discordantemente o con parcial concordancia por la Fm Júcaro y discordantemente por la Fm Jaimanitas. Es correlacionable con las formaciones San Antonio y Vázquez de Cuba Oriental. Ambiente de Sedimentación: Complejo facial desde cuenca restringida hasta zona infranérica, incluyendo su borde. Potencia: 150 m. Edad: Mioceno Inferior (parte alta) a Mioceno Superior (parte baja).

Fm Júcaro (jcr, n₆-n₇). Aparece en la costa N de Sagua de Tánamo, provincia Holguín. Litología diagnóstico: Calizas, por lo general arcillosas, que se desagregan en pseudoconglomerados, calcarenitas, margas, limolitas a veces con gravas polimícticas, arcillas yesíferas, localmente hay dolomitas. Contiene horizontes fosilíferos. Puede existir conglomerado basal. Colores amarillo y crema que, por alteración, pasan a rojo y violáceo. Yace discordantemente o con local parcial concordancia sobre la Fm Río Jagüeyes. Está cubierta discordantemente por la Fm Jaimanitas. Es correlacionable con las formaciones Baracoa, La Cruz, Manzanillo y Punta Imías de Cuba Oriental. Ambiente de Sedimentación: Sublitoral. Potencia: Espesor del hipoestratotipo 2 de 42 m. Edad: Mioceno Superior a Plioceno Inferior.

Fm Jaimanitas (js, Q₁). Aparece en la zona costera por la desembocadura del río Levisa. Litología diagnóstico: Calizas biotriticas masivas, generalmente carsificadas, muy fosilíferas contiene principalmente conchas bien preservadas, corales de especies actuales y ocasionalmente biohermos. Los bolsones cársicos a veces están rellenos por una fina mezcla carbonato-arcillosa ferruginosa de color rojo ladrillo. Pasan a biocalcarenitas de granulometría y estratificaciones variables o masivas. En mayor o menor cantidad contiene fragmentos de sedimentos terrígenos, incluyendo calizas preexistentes. Es frecuente encontrar variaciones lito y biofaciales. En general la cementación es variable y en superficie presenta un casquete recristalizado de evaporitas y caliche combinados, de 1-2 m de espesor, por debajo del cual, en ocasiones, la roca aparece desintegrada, convertida en un material terroso. Coloración predominante blancuzca, rosácea o amarillenta. Yace discordantemente sobre la Fm Mícara y el Gr Nipe (formaciones Júcaro y Río Jagüeyes). Puede ser correlacionada con las formaciones Camacho, Jamaica y Cauto de Cuba Oriental. Ambiente de Sedimentación: Predominan las facies de playa, post-arrecifal y arrecifal. Potencia: Probablemente excede 10 m. Edad: Pleistoceno Superior.

Depósitos palustres costeros (pa, Q₁₋₂). Aparecen en las franjas costeras bajas, están formados por depósitos de pantanos de medio marino transicional, donde abundan las arcillas orgánicas, turbas con mezclas en ocasiones de arenas y gravas en zonas cercanas a las desembocaduras de los ríos. Se localiza en zonas costeras de Frank País.

Depósitos aluviales (al, Q₁₋₂). Aparecen en las llanuras de inundación y terrazas de los ríos Mayarí, Levisa y Sagua. Están formados por limos, arcillas, arenas, gravas y cantos redondeados de diferentes litologías, fundamentalmente de la Asociación Ofiolítica, calizas y otras. Es frecuente la estratificación cruzada, observándose en el corte diferentes ritmos granulométricos por avenidas fluviales.

Corteza de meteorización (el-de, Q₁₋₂). Su mayor desarrollo lo alcanzan las cortezas lateríticas sobre las rocas ultramáficas serpentinizadas y gabros. Representadas en la base por las ultramafitas lixiviadas, sobre ellas se presenta un horizonte de ocre estructurales, después un horizonte de ocre inestructurales sin perdigones y finalmente el horizonte de los ocre inestructurales con perdigones. Pueden aparecer en ocasiones redepositadas o faltar algunos de sus horizontes característicos.

4.2. Magmatismo.

El magmatismo en el área está representado por las rocas de dos eventos magmáticos separados en espacio y tiempo, el primero corresponde al magmatismo básico y ultrabásico de tipo intrusivo ocurrido en la Cuenca de Retro Arco del Arco Volcánico Cretácico, típico de corteza oceánica cuyas litologías fueron descritas en la Asociación Ofiolítica (Figura 3). Dicha asociación cubre la mayor parte del área investigada, representada por las rocas típicas de la corteza oceánica con representantes de la parte superior del manto. La edad aceptada para esta secuencia es Tithoniano-Turoniano-Cretácico Inferior. Los contactos con las rocas vecinas son tectónicos, estas estructuras son complicadas debido al clásico emplazamiento que presentan, afectadas por dislocaciones disyuntivas y plicativas. En la zona de estudio aparecen los siguientes complejos de la Asociación Ofiolítica:

a) Complejo cumulativo bajo: Aflora en la mayor parte del área, constituye un bloque monolítico ultramáfico, serpentizado de raíces profundas. Es típicamente magmático con texturas bandeadas. En su parte baja pueden formarse pseudodiques o inyecciones de microgabros debido a la alta compresión al ocurrir el colapso de las capas cumulativas de gran espesor, en este caso de material nuevo de granos finos que pueden inyectarse hacia direcciones laterales sin contactos tectónicos.

b) Complejo de las ultramafitas tectónicas: Aflora al E del área, con la interpretación conjunta de los materiales aeroespaciales, morfométricos y el Mapa Geológico escala 1:100 000, se precisaron los límites entre este complejo y el cumulativo bajo. Aparece en forma de parches aislados sobre las formaciones cretácicas La Picota, Santo Domingo y Mícara dando la impresión de constituir relictos de erosión. En este complejo predominan las harzburgitas y lherzolitas sobre las dunitas, no hay bandeamientos ni productos de diferenciación, se caracteriza por brechamientos, esquistosidad y budinaje siendo más serpentizada con la presencia en ocasiones de talco; encontrándose raramente la roca fresca; aparecen las anfíbolitas entre los planos tectónicos en forma de cuñas.

c) Complejo cumulativo transicional: Aflora bordeando el complejo cumulativo bajo sin límites claramente definidos. Entre las litologías típicas se encuentran: harzburgitas, wherlitas y peridotitas plagioclásicas serpentizadas; dunitas y dunitas serpentizadas, piroxenitas, serpentinitas, alternancia de gabroides y ultrabasitas bandeadas; gabros, gabros olivínicos y troctolitas generalmente bandeadas y cuerpos de cromitas. Están mezcladas rocas básicas, ultrabásicas, alternándose en algunos lugares las ultrabásicas con los gabros en fajas de diferenciación de 5-50 m de espesor. Son frecuentes los procesos de alteración como la serpentización.

El segundo evento magmático corresponde al Arco Volcánico del Terciario y sus representantes en la zona son las rocas vulcanógeno-sedimentarias (tobas y tufitas) pertenecientes a la Fm Sabaneta.

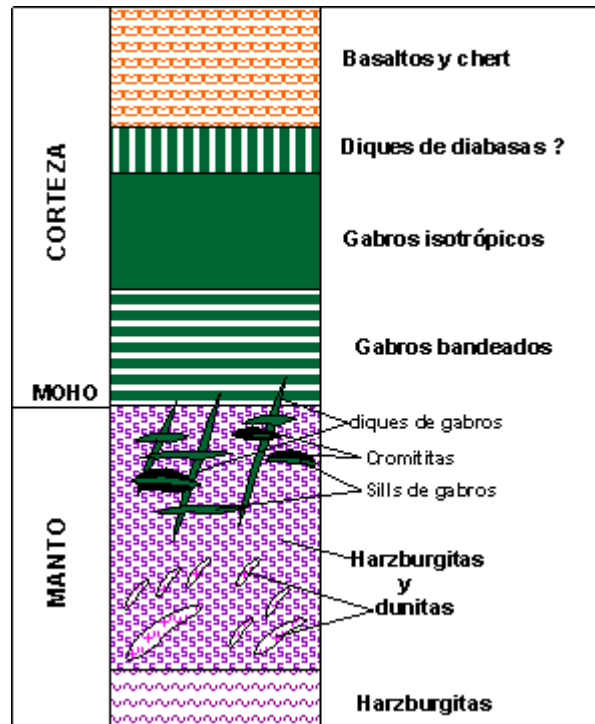


Figura 3. Macizo Mayarí-Baracoa. Propuesta de columna sintética ideal del Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa. (Thayer, 1942; Guild, 1947; Ríos y Cobiella, 1984; Iturralde-Vinent, 1989, 1994, 1996; Fonseca y otros, 1985, 1992; Torres, 1987; Proenza, 1997).

4.3. Tectónica.

La zona de estudio ocupa la parte centro oriental del anticlinal Nipe-Cristal-Baracoa, desde el borde E de la meseta de Pinares, hasta la cuenca del río Castro, afluente del río Sagua. El eje de esta macroestructura de forma ondulada pasa por toda la parte central de la zona de estudio de O a E. Este eje se encuentra a su vez plegado y en ocasiones fallado, pudiendo desde el punto de vista tectónico diferenciarse las siguientes zonas.

Zona I. Nipe. Tectónicamente es una zona levantada, topográficamente alcanza alturas de cerca de 1000 m snm (981m) en el pico La Mensura y se caracteriza por un relieve en forma de meseta o peniplanicie. Las litologías fundamentales que afloran en esta zona son diferentes tipos de peridotitas fundamentalmente harzburgitas, lherzolitas y más subordinadamente dunitas, todas con diferente grado de serpentización, pudiendo llegar a serpentinitas bandeadas y esquistosas cerca de los planos de las escamas tectónicas. Aparecen cuerpos de gabro-diabasas en contacto tectónico con las peridotitas.

Graben del río Mayarí. Es la banda estrecha entre fallas normales que separa la zona I Nipe de la zona II. Se caracteriza por ser una zona hundida tectónica y topográficamente, donde se acumularon potentes espesores de sedimentos aluviales, depositados por el río Mayarí. Es una estructura cuyo origen pudo comenzar en el Oligoceno Inferior con el origen de la Falla Bartlett y continuar su desarrollo hasta la actualidad.

Zona II. Elevaciones Mayarí-Levisa. Se caracteriza por un relieve en forma de crestas, algunas con superficies planas con relictos de una antigua peniplanicie ya erosionada. Se caracteriza por presentar escamas tectónicas con planos ondulados y cuerpos de gabro-diabasa aislados, con contactos puramente tectónicos con las peridotitas serpentinizadas y serpentinitas, litologías predominantes en el eje. El río Levisa límite oriental de esta zona se desarrolla en forma de un pequeño graben hacia el N, y hacia el eje de la macroestructura se encuentra una zona de fallas gravitacionales, prolongación de esta estructura. Las escamas tectónicas tienen patrones de agrietamiento diferentes, pueden hallarse escamas superiores con menos familias de grietas y densidad de agrietamiento menores que las escamas infrayacentes, por lo que es un factor a tener en cuenta en las próximas etapas de investigación.

Graben del río Levisa. Hacia el N es un graben pequeño entre fallas normales con espesores algo potentes de sedimentos aluviales y de medio transicional fluvio-marino, depositados por el río Levisa, que hacia el S aparece en forma de una banda estrecha de fallas gravitacionales verticales. Su formación puede coincidir con la formación del graben del río Mayarí.

Zona III. Pico Cristal. Ubicada en la elevación que le da nombre, existe una inversión geológica con respecto al relieve, que tectónicamente es una zona de hundimiento del eje antiforme de la macroestructura y topográficamente es la zona más alta con una altura de 1231 m snm en Pico Cristal. Se caracteriza por un predominio de las peridotitas serpentinizadas entre los tipos ya mencionados con diferentes grados de serpentización y serpentinitas esquistosas fundamentalmente a ambos lados de los planos de las escamas tectónicas y otros tipos de fallas. Pueden presentarse al igual que en la zona II las escamas con diferentes patrones de agrietamiento, y la inclusión de rocas metamórficas entre los planos de fallas, que pueden alcanzar diferentes espesores, encontrándose el mayor de estos cuerpos en la localidad de los Altos de La Corea, a unos 4 km al S-SO de Pico Cristal (Anexos N° 1, 7a y 7b).

Zona IV. Sagua de Tánamo. Se produce un levantamiento interno del eje de la macroestructura, limitado al parecer por fallas normales, formando al parecer un horst tectónico con relieve invertido con respecto a la geología, pues a pesar de que geológicamente está levantado, la erosión de los ríos de la cuenca de Sagua de Tánamo ha alcanzado las raíces inferiores de los mantos tectónicos, por debajo de los que están las formaciones terrígenas y vulcanógeno-sedimentarias del Cretácico e inicios del Terciario, menos resistente a la erosión. Como relictos de las escamas tectónicas con rocas ofiolíticas, quedan sólo algunas elevaciones aisladas. Está delimitada al E por la falla Miraflores y al S por el bloque elevado de la Sierra de Maquey, al N continúa en la costa del Océano Atlántico. El basamento ultrabásico aparece en la superficie en varias localidades en forma de relictos de erosión y en otros lugares yace a profundidades mayores de 1000 m, cuestión no comprobada hasta el momento. En la parte meridional de la cuenca el basamento está constituido por rocas del arco volcánico del Cretácico en forma de manto tectónico. Los sedimentos que rellenan la cuenca están representados por las formaciones La Picota, Gran Tierra, Mícará, Yateras, Júcaro, Sabaneta y depósitos cuaternarios, predominando los potentes espesores aluviales del sistema de ríos y afluentes de la Cuenca Sagua de Tánamo, surcada por fallas que hacen que algunos bloques se hundan y otros asciendan. Se destaca una anomalía en esta zona señalando el límite lateral de las ultramafitas hacia Sierra Cristal. Cerca de la Sierra de Maquey hay grábenes a más de 1000 m de profundidad. Esta cuenca está afectada por fallas compresivas laramídicas y postlaramídicas de rumbo NO-SE, al S del poblado Cebolla una falla de igual dirección que la anterior, delimita la extensión territorial de las formaciones Mícará y Gran Tierra, aparecen formas suavemente plegadas con eje de dirección NE-SO, E-O, NO-SE y N-S, que no son correlacionables con el sistema de fallas protocubanas conocidas. En el Eoceno Medio inferior comenzó una subsidencia generalizada en toda la región, con la formación de cuencas superpuestas al arco Terciario, en el ocaso de este,

acumulándose las secuencias de las formaciones Puerto Boniato, Mucaral, Yateras y Maquey. Finalmente en el Cuaternario se produjo un levantamiento generalizado para toda la región, formándose una estructura graben en el río Sagua de Tánamo dentro de toda la cuenca Sagua con la acumulación de potentes sedimentos aluviales principalmente en su arteria principal (Anexo N° 7b).

Graben del río Sagua de Tánamo. Dentro de la estructura anterior, se formó este graben entre fallas normales contemporáneo con los grábenes de los ríos Mayarí y Levisa, con la formación de depósitos cuaternarios de potencia considerable.

Subzona Castro. Perteneciente a la zona antes mencionada, se ubica en los extremos E y S de la zona estudiada. Se caracteriza por una fracturación muy intensa, estando constituida por secuencias de serpentinitas de la Asociación Ofiolítica. La tendencia general del bloque es al levantamiento, aunque relativo al resto de la cuenca Sagua está más hundido con la excepción del graben antes mencionado.

4.4. Análisis estructural.

Las características de los complejos rocosos presentes en la zona de estudio están íntimamente relacionadas con los procesos tectónicos que ocurrieron desde el Campaniano y que cambiaron en el tiempo en la medida que se sucedían diferentes regímenes tectónicos antagónicos. Esta peculiaridad de la evolución tectónica se expresa con la presencia de estructuras relacionadas con el desarrollo tectónico en un momento determinado y a la superposición de estructuras originadas en tiempos posteriores durante la ocurrencia de procesos más contemporáneos. Quintas plantea que en los macizos rocosos más antiguos (Cretácico Superior), están presentes al menos tres fases de deformación tectónica, en los intermedios (Paleoceno-Oligoceno) dos fases y en los más jóvenes una fase. A esta afirmación, se le puede añadir otra fase inicial, que se puede llamar Fase de subducción del arco Cretácico. A continuación se explican las fases tectónicas y los procesos que la definen.

Fase de subducción del arco Cretácico (Jurásico? o Cretácico Inferior al Cretácico Superior Santoniano): Relacionada con una antigua zona de convergencia entre placas tectónicas antiguas del Paleo-Caribe con el origen y desarrollo del arco de islas Cretácico, se caracteriza este arco por tener un desarrollo casi completo hasta su colapso a fines del Santoniano, provocado por la colisión de un bloque siálico que transportaba la placa del Paleo-Caribe hacia la antigua fosa oceánica. Los restos de ese bloque siálico pueden estar en el Escambray y en el macizo metamórfico de la Isla de la Juventud, y los restos del arco Cretácico están diseminados hoy en todo el Caribe y en Cuba se distribuyen por todo el eje de la isla relacionado tectónicamente con las secuencias de la Asociación Ofiolítica. Hacia Las Tunas estas secuencias están intruidas por cuerpos batolíticos de granitoides, que no se presentan en Cuba Oriental, los que pudieron no desarrollarse por constituir estas secuencias sólo una parte del arco, el cual se desmembró durante el proceso que continúa de obducción. En el extremo más oriental de la isla pudieran encontrarse los restos del antiguo prisma de acreción tectónica en las secuencias de las formaciones metaterrígenas y metacarbonatadas con inclusiones de anfibolitas y algunas escamas serpentiniticas. En la zona de estudio se relaciona con la Fm Santo Domingo. La tectónica de esta fase ha sido prácticamente borrada por los eventos posteriores tectono-magmáticos.

Fase de obducción (Cretácico Superior Campaniano-Maestrichtiano al Paleoceno inicial): Dio lugar a la formación de mantos gravitacionales y complejos olitostromicos molásicos y flyschoides con plegamientos sinsedimentarios y tectónicos, y un intenso agrietamiento de compresión afectando a las rocas de la Fm Mícara en su parte alta y a la Fm La Picota. En trabajos recientes llaman a todo este complejo de obducción como melange multicomponente con predominio de rocas ofiolíticas, que

se caracterizan por un alto agrietamiento y esquistosidad en las zonas de contacto de bloques de ultramafitas con gabros y de otros componentes del llamado melange (Cordovés-Quintas, 2006).

Fase de subducción del arco Terciario: Está relacionada con el origen y desarrollo de este arco de islas. Las zonas de mayor deformación durante este intervalo de tiempo (Paleoceno-Eoceno Medio inicial) se localizaron hacia el S relacionadas con las zonas frontales del arco, no presentes en Cuba oriental y en el arco axial presente en la Sierra Maestra en la zona de back arc, donde se depositó la Fm Sabaneta, predominando los esfuerzos de distensión.

Fase de transformación y extensión del arco Terciario: Está asociada a los procesos de transformación que anularon el de subducción del arco de isla Terciario y el desarrollo de la corteza oceánica a partir de la zona de rift en la Fosa de Bartlett-Caimán durante el Eoceno Medio-Oligoceno, se manifiesta en la formación de pliegues continuos de amplios radios y agrietamiento con orientación preferentemente al NE, relacionados con los esfuerzos compresivos y otros sistemas de cizalla, asociados todos al desarrollo de la fosa.

Fase de transformación y extensión de la neoplateforma: Se relaciona con las estructuras generales a partir del Mioceno o desde fines del Oligoceno que generaron un anticlinal asimétrico con nariz orientada hacia el Paso de los Vientos y pliegues discontinuos de carácter local con fracturamiento por extensión, y la reactivación de fallas generalmente normales o subverticales, algunas de ellas relacionadas con la generación de sismos. Aparece un sistema casi E-O que pudiera estar relacionado con el desarrollo reciente de la Fosa Bartlett-Caimán. En esta fase adquiere la forma actual la antiforma Nipe-Cristal-Baracoa con su eje central hundido en algunos sectores (Anexos N° 8 y 7b).

4.5. Análisis tensional del macizo rocoso.

Las ofiolitas están representadas predominantemente por ultramafitas cumulativas serpentizadas en grado variable y gabros cumulativos. En menor medida forman parte de las ofiolitas de esta zona, diabasas y silicitas relacionadas posiblemente con diques paralelos y la asociación volcánica-sedimentaria, así como tectonitas en donde predominan las dunitas con variado grado de serpentización y presencia de cuerpos de cromita. Según Quintas, las ofiolitas forman parte de un macromelange formado producto del proceso de obducción, sus relaciones tectónicas son muy complejas caracterizándose por una distribución caótica en sentido horizontal y vertical, donde no se cumplen los principios de superposición y continuidad lateral, por lo que las diferentes asociaciones ofiolíticas no se distribuyen del modo normal en que se presenta en los modelos clásicos.

Las ofiolitas, que presumiblemente antes del Campaniano Superior forman parte de una antigua corteza oceánica, fueron sometidas a intensos esfuerzos de compresión formando nappes superpuestos de diferentes tamaños, en cuyos límites se localizan fajas de intensa esquistosidad y/o budinaje. Ello incluye el desarrollo de procesos que dieron lugar a la formación de turbiditas y slumping, los que originaron secuencias olistostrómicas y flyschoides incorporadas parcialmente al melange por erosión tectónica. El proceso de emplazamiento de las ofiolitas debió producirse en un intervalo breve al cierre del Cretácico e inicios del Paleógeno ya que los productos de su destrucción sólo han aparecido en los complejos terrígenos flyschoides-olistostrómicos del Maestrichtiano-Paleoceno basal, formando parte de las formaciones La Picota y Mícará, que yacen cubiertas por la Fm Gran Tierra (Paleoceno inicial alto) o por la Fm Sabaneta (Paleoceno Superior-Eoceno Medio basal).

Como las diferentes asociaciones de las ofiolitas ocuparon posiciones desde el manto superior hasta la superficie, el proceso de descompresión durante la destrucción de la corteza oceánica primitiva

especialmente de las tectonitas ofiolíticas y de los cúmulos ultramáficos y máficos, debió ocurrir en breve plazo, pasando estos complejos a profundidades en la corteza de 10-15 Km (límite medio de la astenosfera en los océanos) para las tectonitas y 3-4 Km de la superficie para los complejos de diques y hasta 2 Km para la asociación sedimentaria-volcánica. El aliviamiento de las tensiones en la vertical, fue contrarrestado por los procesos de compresión que originaban el melange, causados por la acción de fuerzas horizontales.

Las ofiolitas del fondo oceánico durante el Maestrichtiano-Paleoceno se localizaban en cuencas marinas de antepaís, desarrolladas en el frente de obducción, caracterizadas por un relieve muy complejo (alta rugosidad) con presencia de crestas y canales muy profundos hacia donde se deslizaron grandes volúmenes de detritos, que dieron lugar a la formación de slumping originando olistostromas por corrientes turbias que depositaron potentes espesores de turbiditas silicioclásticas. En ocasiones las corrientes turbias fueron portadoras exclusivamente de serpentínoclastos, simultáneamente desde las zonas escabrosas se deslizaron grandes olistolitos e incluso mantos gravitacionales de tamaño variable. Estos procesos se realizaron con la acumulación de las formaciones Mícara (parte superior) y La Picota.

Considerando esta hipótesis, las formaciones Mícara (parte alta) y La Picota tienen un carácter muy local y pudieron constituir no una carga litostática para toda la Asociación Ofiolítica ya deformada, sino sólo para las ofiolitas que se localizaron en los canales profundos por donde se movieron las corrientes turbias o por donde ocurrieron fenómenos de slumping (Paleocuenca de Sagua de Tánamo y otras pequeñas cuencas de antepaís de vida efímera).

La Fm Gran Tierra (Paleoceno inicial), en gran medida terrígena, pero desprovista de clastos derivados de terrenos ofiolíticos, evidencia un cambio rápido de las condiciones paleogeográficas relacionada con el cese del proceso de obducción y la profundización creciente de la cuenca marina producto del desarrollo de un proceso de convergencia que dio lugar a la formación del arco de isla del Paleógeno. El carácter turbidítico de Gran Tierra y sus límites transicionales a la Fm Sabaneta, caracterizada por la presencia de frecuentes turbiditas cineríticas, con presencia ocasional de abundante fauna planctónica, más la uniformidad de las facies de vulcanitas, evidencian la desaparición del relieve muy rugoso del Maestrichtiano final del Paleoceno inicial, probablemente por efectos erosivos-acumulativos que dieron lugar a un relieve muy suavizado sobre el que se forman numerosos abanicos submarinos de grandes proporciones en un medio batiabisal, dando lugar a acumulaciones de importantes cargas litostáticas sobre la Asociación Ofiolítica.

La Fm Sabaneta se propaga de forma discontinua por los flancos S y N de Sierra Cristal y la cuenca de Sagua de Tánamo. En su porción N desde Téneme hasta Sagua predominan las facies de aguas profundas y muy profundas con radiolaritas, cineritas, tufitas e intercalaciones de calizas con Globigerinas típicas de fondos batiales profundos y abisales. En el flanco S predominan las cineritas, son más escasas las facies carbonatadas y casi ausentes las radiolaritas, lo que evidencia la existencia de zonas pelágicas muy profundas hacia el N, sin la existencia de barreras que impidiesen el paso de los flujos turbidíticos y la expansión de grandes abanicos submarinos, lo que traía por consecuencia la acumulación de cargas litostáticas crecientes sobre la Asociación Ofiolítica durante la evolución del arco de islas volcánico. Esta carga, en general, debió destruirse de manera diferenciada ya que el espesor de la Fm Sabaneta alcanza una potencia media de 600 m en los afloramientos meridionales y de 300 m como promedio en los septentrionales.

El corte del Eoceno Medio al Oligoceno sobre la Fm Sabaneta es bastante continuo, aunque están presentes disconformidades y discordancias locales, por lo que se puede considerar que los espesores de las formaciones de este intervalo con 250 m como promedio, se sumaron al de la Fm Sabaneta, dando lugar a un incremento de la carga litostática. Este intervalo se corresponde con un

periodo de deformación, caracterizado por un incremento de esfuerzos transpresivos relacionados con la extensión de la Fosa de Bartlett, formando pliegues continuos de amplio radio, a la vez que se producía la somerización de las cuencas marinas con el predominio a fines del Oligoceno de mares neríticos típicos de plataformas silíceoclásticas.

A partir del Mioceno comienza un proceso acelerado de emersión en todo el territorio con la formación de cadenas de islas, que se erosionan intensamente eliminando la cobertura sobre las ofiolitas. Este proceso trae por consecuencia un creciente aliviamiento de tensiones de la Asociación Ofiolítica que ocupa una porción del núcleo de la antiforma oriental, donde la corteza está en proceso de abombamiento asimétrico hacia el N. Partiendo de esta hipótesis, los procesos de deformación que han ocurrido a partir del Mioceno, serían los principales responsables de la descarga creciente de las ofiolitas y de otras secuencias acompañantes presentes en el melange.

La Fm Mícara en la cuenca de Sagua de Tánamo, presenta una clara diferenciación de sistemas faciales en sentido vertical, presentándose hacia la base un complejo terrígeno molásico, mientras que hacia la parte alta se encuentran secuencias flyschoides y olistostrómicas. Los cambios laterales son frecuentes en ambas asociaciones, por lo que para elaborar una carta litológica, se debe partir del cartografiado de los sistemas de facies muy afines y contemporáneas, partiendo de secciones estratigráficas compuestas de carácter regional y normalizado.

Según Quintas el evento más importante de acumulación de tensiones corresponde al Paleógeno (15-20 millones de años) y la carga máxima litostática a partir de este periodo, corresponde a los espesores de la Fm Sabaneta con una distribución bastante uniforme, inclinada hacia el NE del área de estudio, más un espesor promedio de 250 m de las formaciones más jóvenes, estos valores son importantes para la estimación del índice tensional del macizo (SRF) utilizado en el pronóstico de la estabilidad geomecánica.

En el Anexo N° 8, se muestra el Mapa Tectónico con los elementos estructurales fundamentales y se representan las direcciones preferenciales de los esfuerzos tectónicos.

CONCLUSIONES

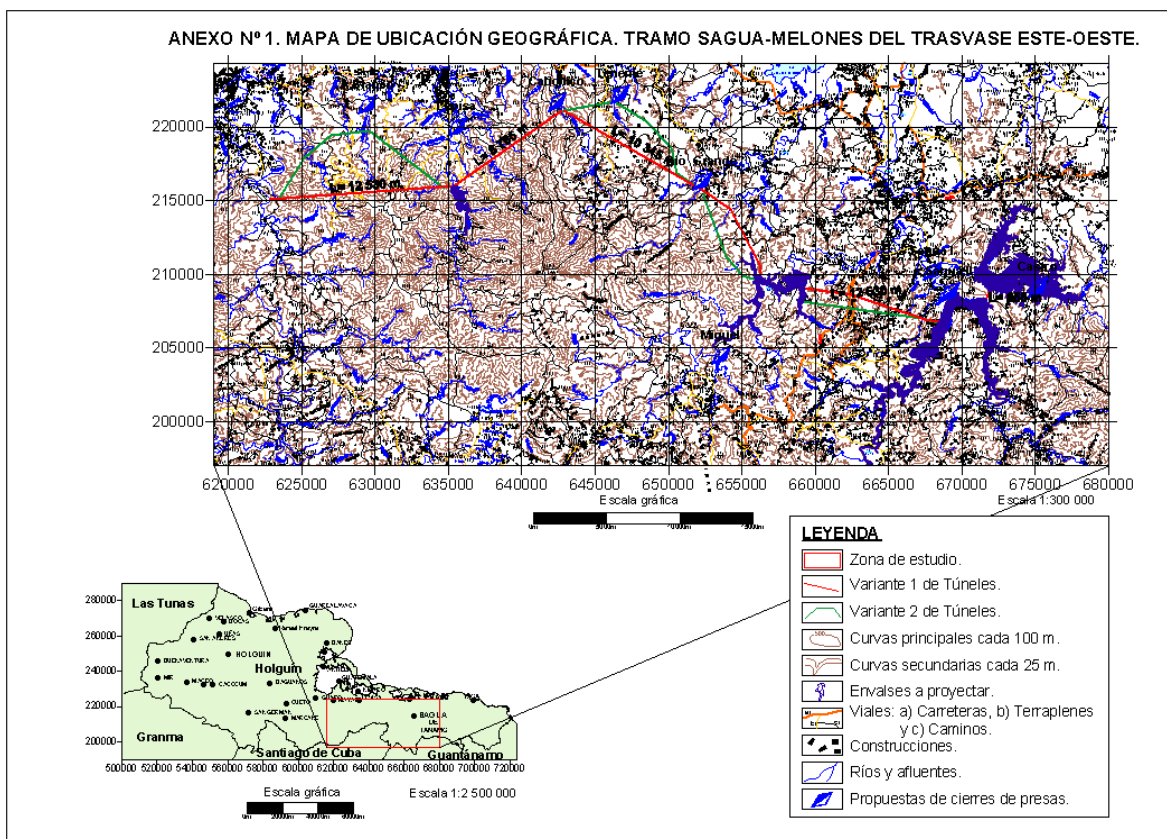
Con la realización de esta investigación se obtuvo un conjunto de magnitudes y criterios importantes, para los estudios de variantes del sistema y orientar los trabajos futuros de detalle.

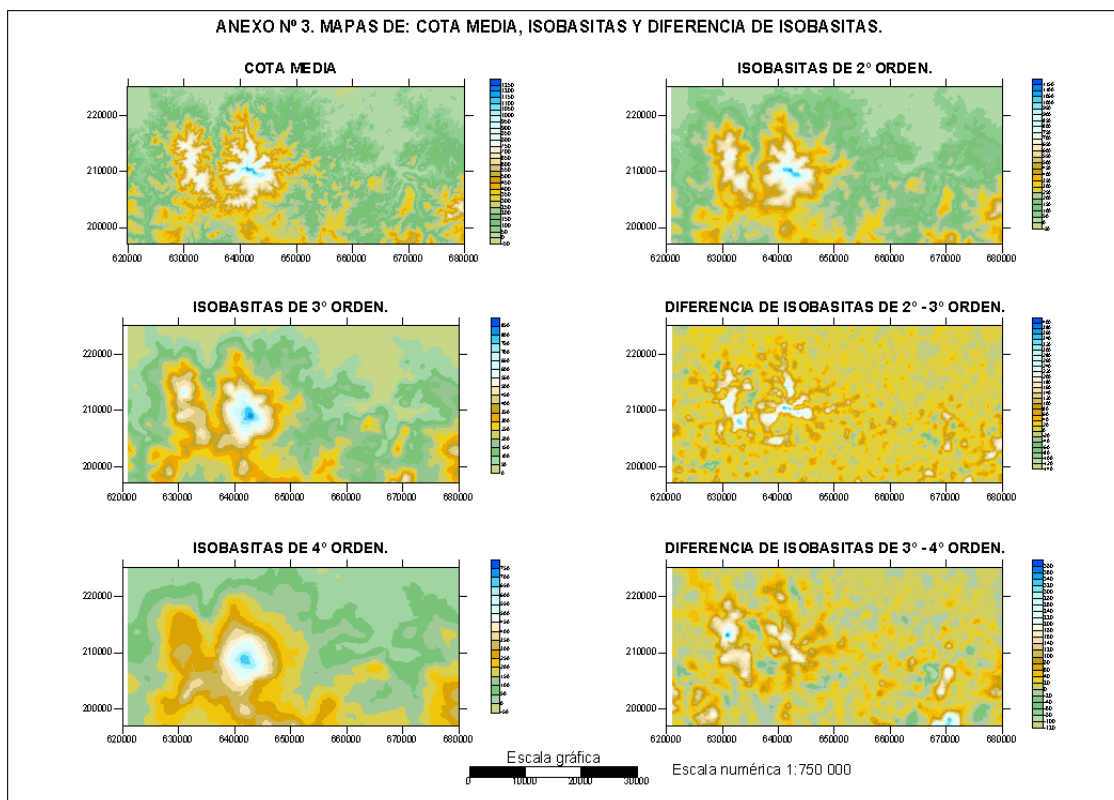
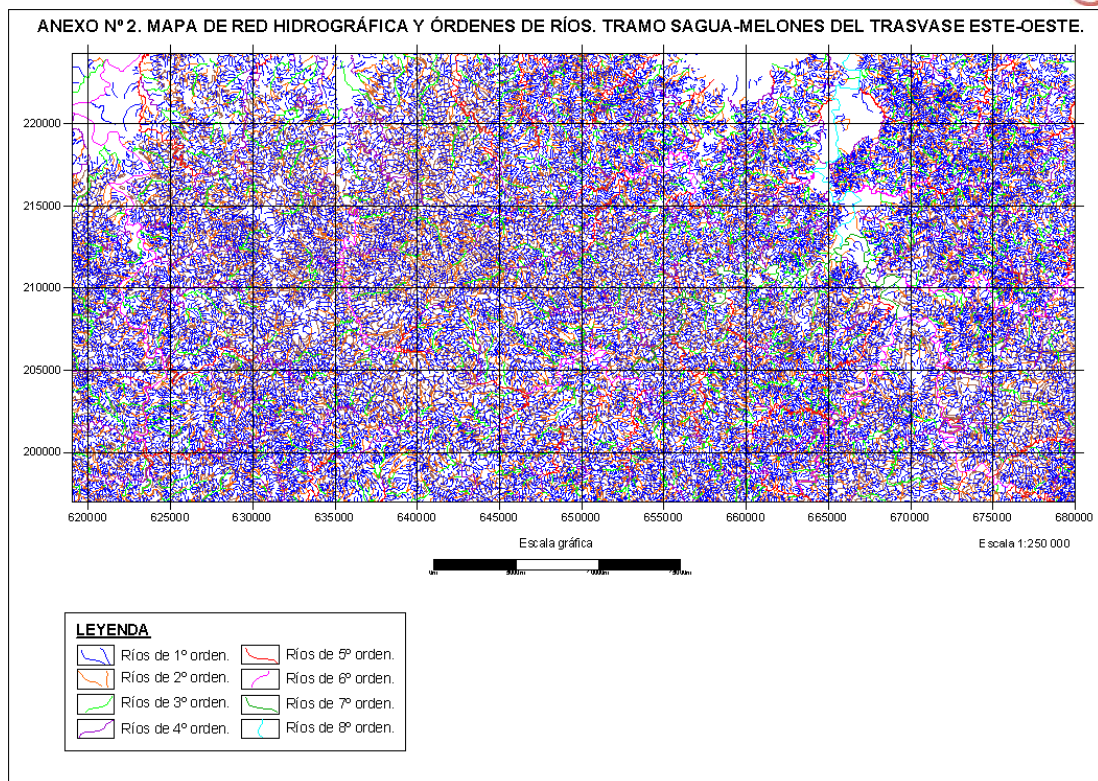
1. En la zona de estudio se pueden diferenciar cuatro zonas tectónicas: I Nipe con el graben del río Mayarí, II Elevaciones Mayarí-Levisa con el graben del río Levisa, III Pico Cristal, y IV Sagua de Tánamo con el graben del río Sagua y la subzona Castro.
2. En la región y zona de estudio están presentes cinco fases tectónicas: Subducción del arco Cretácico; Obducción del arco Cretácico; Subducción del arco Terciario; Transformación y extensión del arco Terciario; y Transformación y extensión de la neoplateforma.
3. El eje de la macroestructura antiforme Nipe-Cristal-Baracoa es ondulado.
4. Del análisis del Mapa Geológico, Perfiles, Mapas Morfométricos y Geomorfológico, se concluye que las mayores elevaciones topográficas, no coinciden con las zonas levantadas tectónicamente y viceversa.
5. La relación que existe entre aguas superficiales y subterráneas, permite a nivel de esquema, pronosticar las hidroisohipsas para época de lluvia y seca, dirigiéndose las líneas de flujo desde las zonas altas a los cursos y corrientes superficiales.

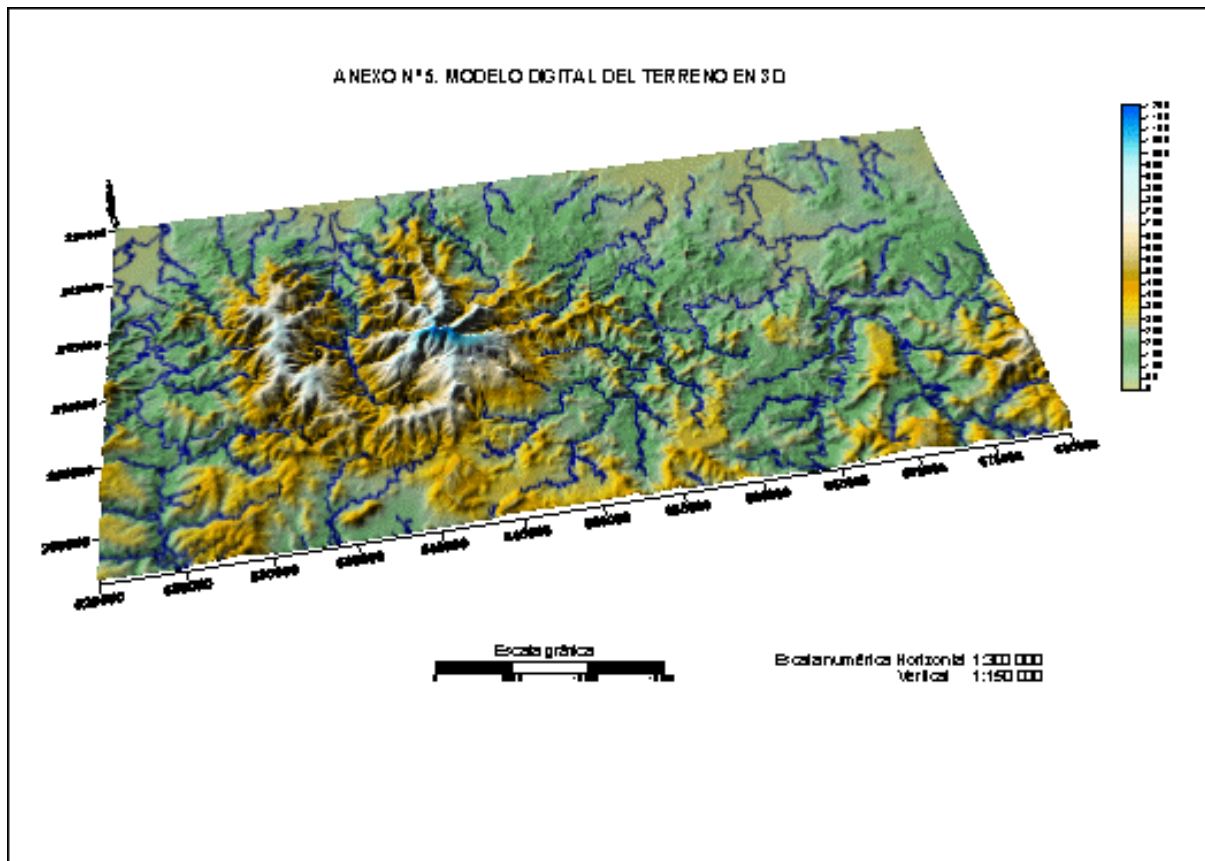
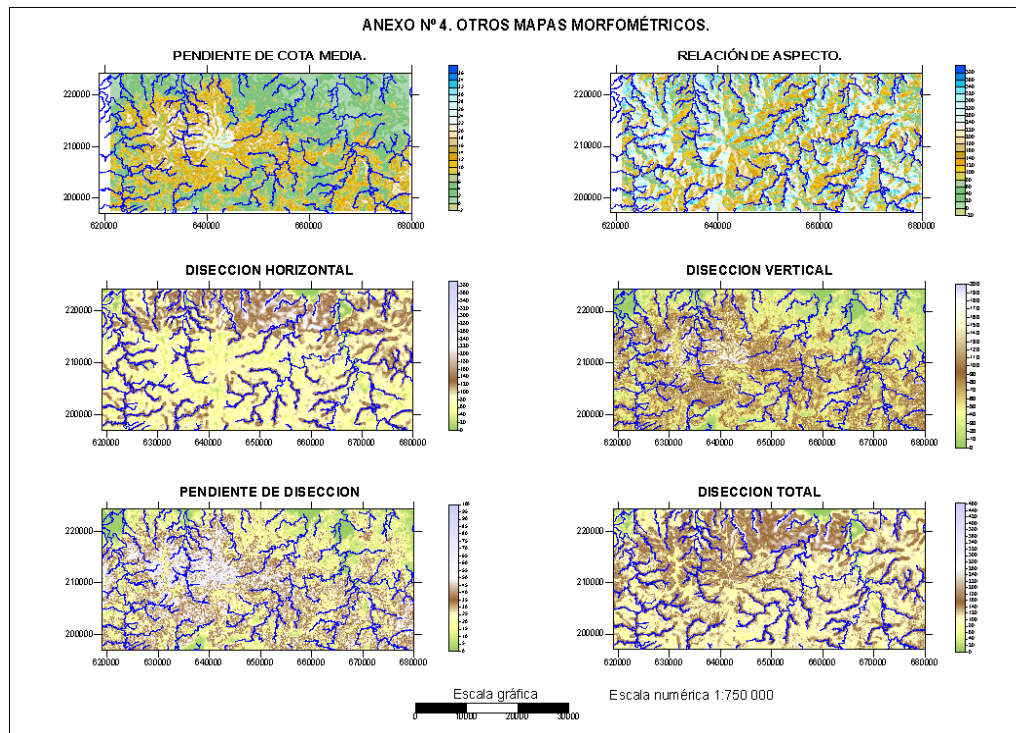
BIBLIOGRAFÍA

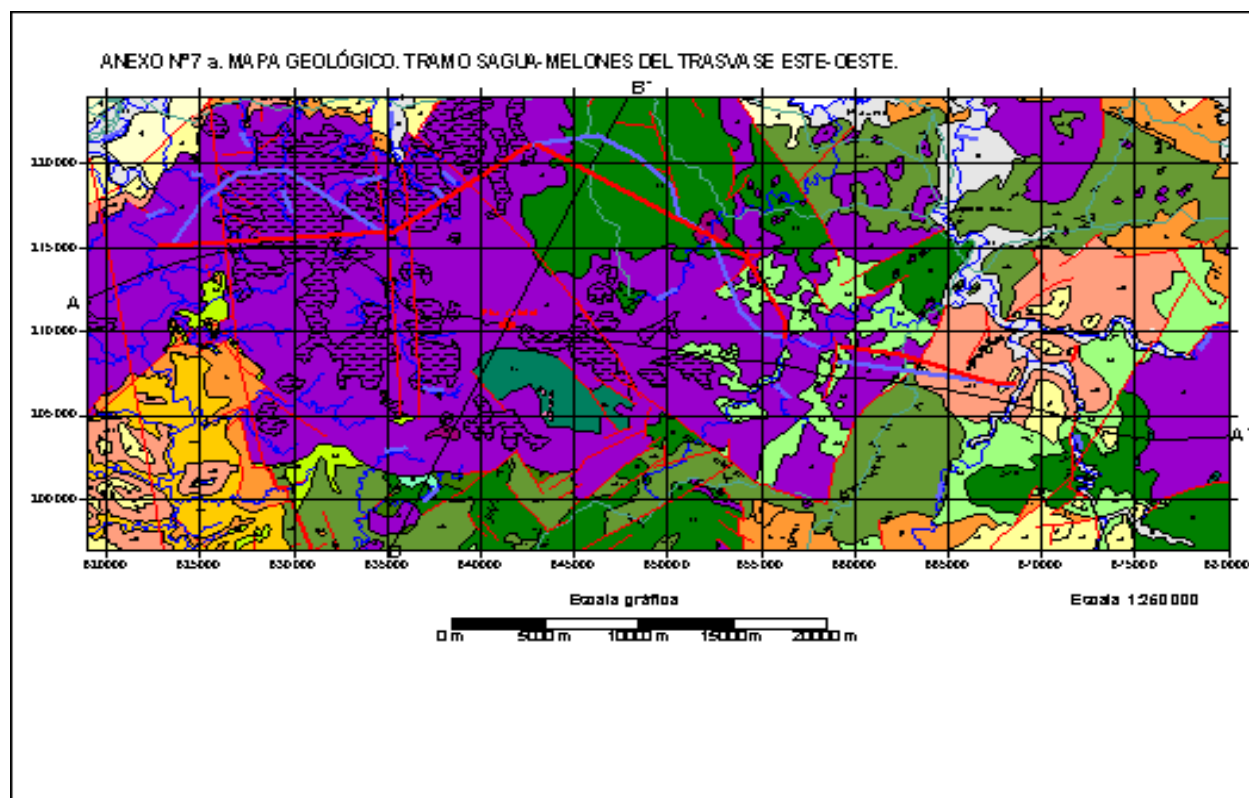
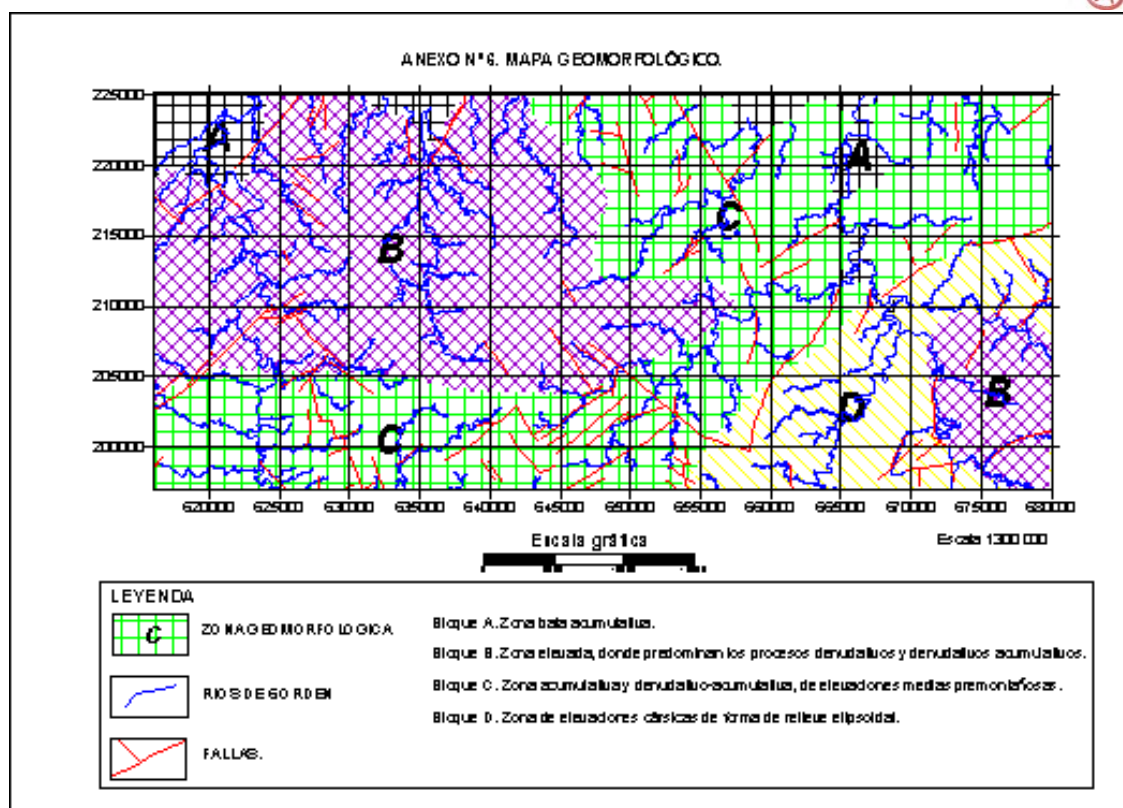
- ACC, 1989. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. C. Habana.
- Adamovich, A., F. Chejovich, 1963. Estructuras montañosas de Sierra de Nipe y Cristal, provincia de Oriente. Informe Geológico. Fondo Geológico Nacional. Ciudad de la Habana.
- Blanco Blázquez, J. L., 1999: Profundización en el estudio geológico y tectónico de Moa. Tesis de Maestría, ISMM Moa.
- Blanco Blázquez, J. L., 2005. Informe Final Investigación ingeniero-geológica Traspase Este-Oeste. Presa Seboruquito. EIPHH. Holguín.
- Blanco Blázquez, J. L., 2006. Informe Final Investigación ingeniero-geológica Traspase Este-Oeste. Presa Guayabo. EIPHH. Holguín.
- Blanco, J. y J. Proenza, 1994. Terrenos geológicos de Cuba Oriental. Revista Minería y Geología, XI (3): 11-17.
- Cordovés P., J. M., F. Quintas, 2005. Estudio Regional Básico Tramo Sagua-Melones. GER-CITEC, Holguín: 79p.
- Cordovés P., J. M., F. Quintas, 2006. Estudio Regional Básico Tramo Sagua-Jaguaní. GER-CITEC, Holguín: 79p.
- ICGP, 2006. Léxico Estratigráfico de Cuba. Soporte magnético. C. Habana.
- Selivanov, Y., P. Díaz, 1978. Informe sobre las condiciones ingeniero-geológicas del Hidroconjunto "Melones" en el río Mayarí. ENIA # 6, Holguín.
- Quintas Caballero, F. J., 1989. Análisis Estratigráfico y Paleogeográfico del Cretácico Superior y del Paleógeno de la Provincia de Guantánamo y áreas cercanas. Tesis de Doctorado, ISMM Moa: 145p.

Principales anexos gráficos.



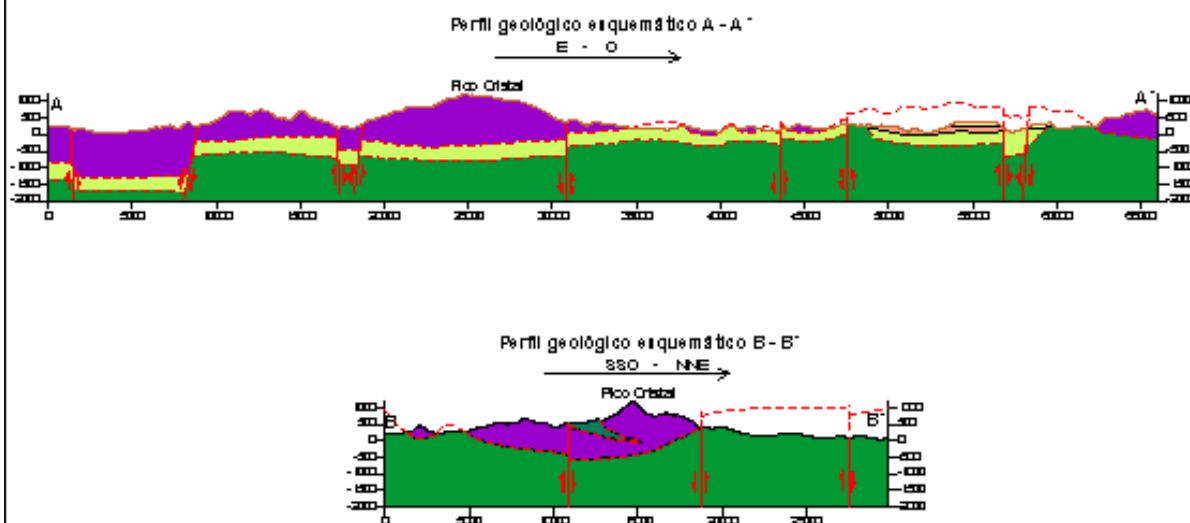






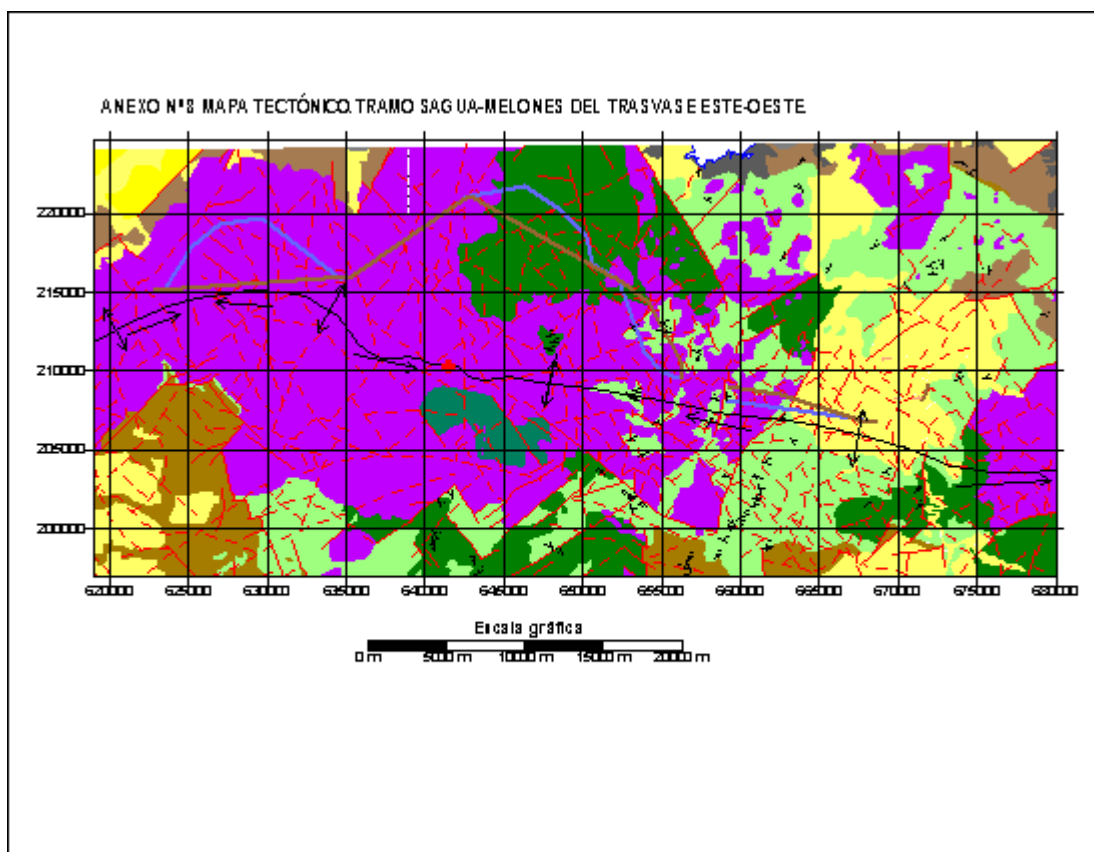
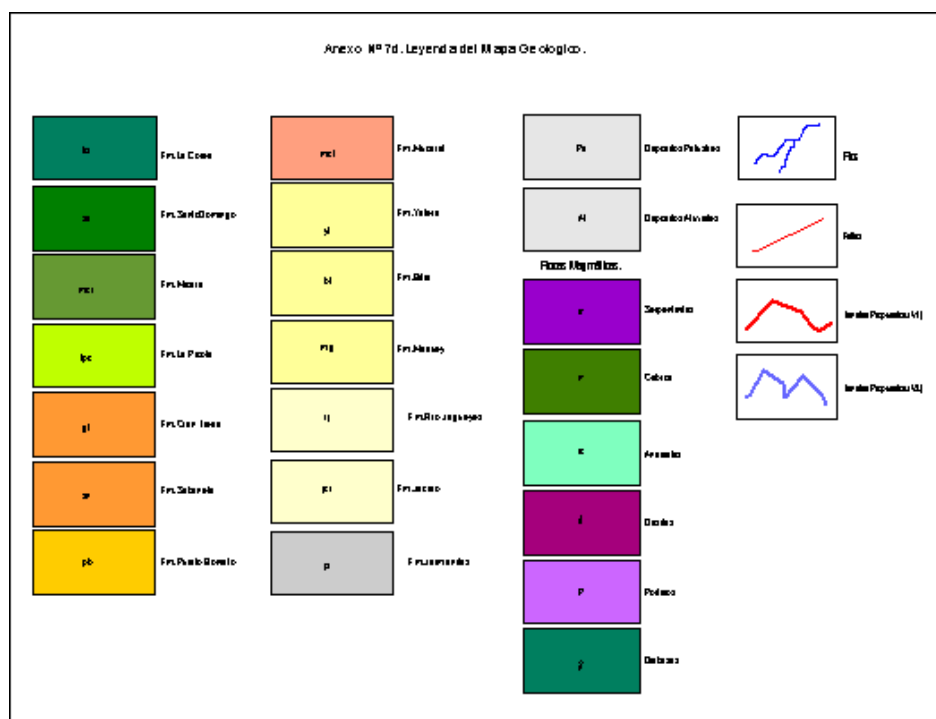


ANEXO N° 7b. PERFILES GEOLÓGICOS. TRAMO SAGUA-MELONES DEL TRÁNSVASE ESTE-OESTE.

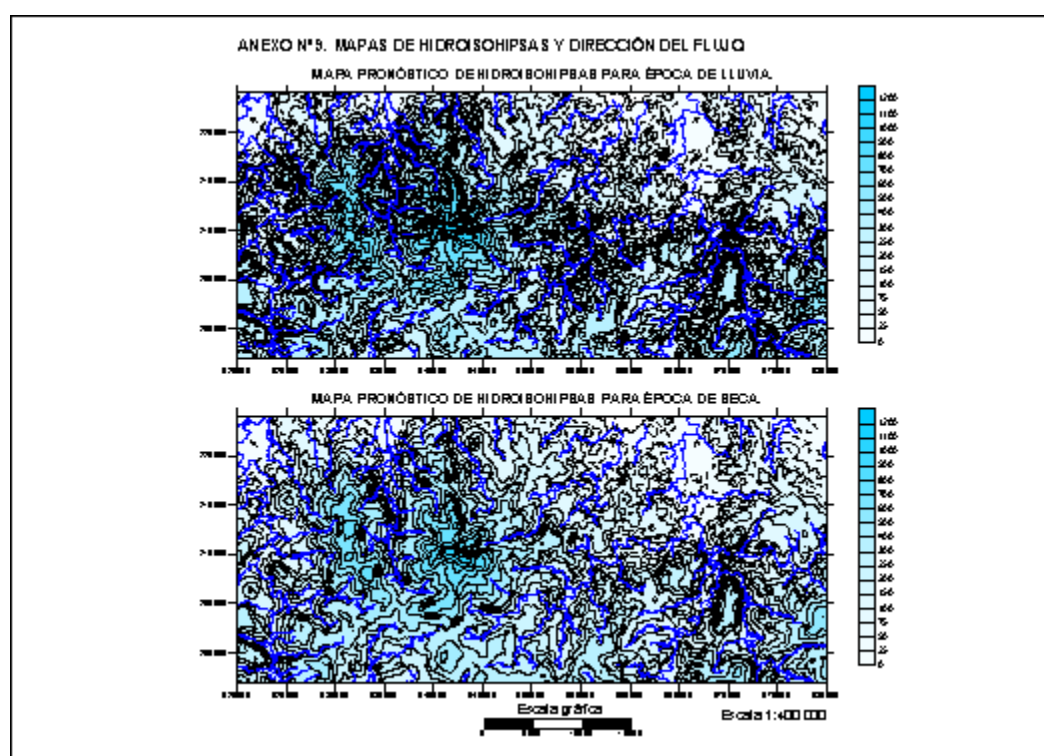
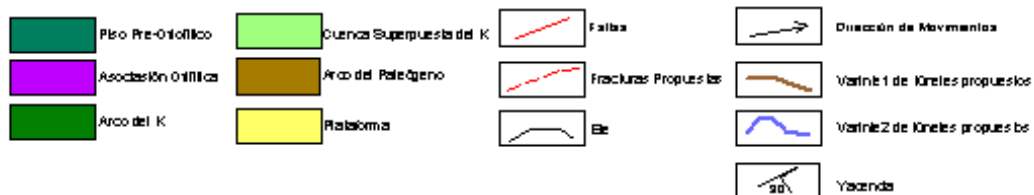


ANEXO 7c. COLUMNA LITOSTRATIGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.

ERA PER.	SERIE	RIO	COLUMBIA	Esp. (m)	Descripción Litológica
CENozoica (CZ)	CUATERNARIO (Q)	HOLOCENO (Q _h)		20m	Está formado por depósitos de pantanos de medio marino transicional, llanuras de inundación y terrazas de los ríos.
		PLEISTOCENO (Q _s)		10m	Formados por limos, arcillas, arenas, graus y canchales de diferentes litologías.
	NEÓGENO (N)	PLIOCENO (N ₃)			Fm. Usamarillas: Calizas biocásticas masivas, generalmente carboníneas.
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
	MIOCENO (N)	PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
	OLIGOCENO (O)	PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
	EOCENO (E)	PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
	PALEOCENO (P)	PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
MESOZOICA (MZ)	CRETÁCEO (C)	PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
	JURÁSICO (J)	PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
	TRIÁSICO (T)	PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
	PERMIANO (P)	PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			
		PLIOCENO (N ₃)			



Anexo N° 6 b. Leyenda del Mapa Tectónico.



“FACTOR DE CORRECCIÓN DE LOS LÍMITES DE PLASTICIDAD DE LAS ARCILLAS DE HOLGUÍN Y GRANMA”

Juan Ramón Tamayo Ricardo

ENIA – UIC Holguín. Carretera Central # 53, Reparto Harlem, Holguín.

RESUMEN

El científico de suelos sueco Albert Atterberg en el año 1911 definió como plasticidad la capacidad que tenía un suelo de ser deformado. A su vez observó que los suelos arcillosos en condiciones húmedas son plásticos y se vuelven muy duros en condiciones secas, que los limos no son necesariamente plásticos y se vuelven menos duros con el secado, y que las arenas son friables en condiciones sueltas y secas. También observó que existían arcillas altamente plásticas y otras de baja plasticidad.

Los límites líquidos y plástico de muchos suelos que se secan antes de ser ensayados, pueden ser considerablemente diferentes de los valores obtenidos en muestras sin secar. Si los ya mencionados límites de los suelos se utilizan para establecer la correlación o calcular el comportamiento ingenieril de los suelos en su estado de humedad natural, no debe permitirse que las muestras se sequen antes del ensayo, a menos que se desee específicamente obtener datos sobre muestras secas.

En este trabajo se propone un factor de correlación para las arcillas de las provincias Holguín y Granma.

ABSTRACT

The Swedish grounds scientist Albert Atterberg, in the year 1911, he defined like plasticity capability that he was having a ground to be deformed. In turn he heeded that the clayey grounds in humid conditions are plastic and they become very hard in dry conditions, than the slimes they are not necessarily plastics and they become less hard with the drying, and that the sands are friable at conditions resolved and sandbanks. Also he heeded that highly plastic clays and another one of hushed plasticity were existing.

The liquid limits and plastic of many grounds that get dry before being tested, they can be unlike the moral values obtained in signs without drying considerably. If the aforementioned limits of the grounds utilize to establish correlation or to calculate behavior ingenieril of the grounds in his status of natural humidity themselves, should not allow oneself to that you show them dry their before the essay, unless it be desired specifically obtaining data on dry signs.

In this work we propose a factor of correlation for the clays of the provinces Holguín and Granma.

INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo se creyó que los minerales de las arcillas eran de naturaleza amorfa, pero todas las investigaciones de detalle realizadas hasta ahora han demostrado, que son cristalinos y altamente estructurados.

Existen suelos que al ser remoldeados, cambiando su contenido de agua, si es necesario, adoptan una consistencia característica que se ha denominado plástica. Estos suelos han sido llamados arcillas originalmente por los hombres dedicados a la cerámica; la palabra pasó a la mecánica de suelos, en épocas más recientes, con idénticos significados. La plasticidad es en este sentido, una propiedad tan evidente que ha servido de antaño para clasificar suelos en forma puramente descriptiva. Pronto se reconoció que existía una relación específica entre la plasticidad y las propiedades físico - químicas determinantes del comportamiento mecánico de las arcillas. Las investigaciones han probado que la plasticidad de un suelo es debida a su contenido de partículas más finas de forma laminar ya que esta ejerce una influencia importante en la compresibilidad del

suelo, mientras que el pequeño tamaño propio de esas partículas hace que la permeabilidad del conjunto sea muy baja.

Otras ramas de la ingeniería han desarrollado otra interpretación del concepto de plasticidad, como es el caso del esfuerzo-deformación de los materiales.

Al tratar de definir en términos simples la plasticidad de un suelo, no resulta suficiente decir que un suelo plástico puede deformarse y remodelarse sin agrietamiento, pues una arena fina y húmeda tiene esas características cuando la deformación se produce lentamente y, sin embargo, no es plástica en un sentido más amplio de la palabra; hay entre el comportamiento de la arcilla y el de la arena en cuestión una importante diferencia: el volumen de la arcilla permanece constante durante la deformación, mientras que el de la arena varía; además, la arena se desmorona en deformación rápida.

En relación con la plasticidad de los suelos, durante un proceso de deformación, el volumen de una arcilla permanece constante. Por el contrario el volumen de una arena cambia continuamente durante el mismo. Si se intenta deformar una masa de arena húmeda rápidamente, esta se desagrega (la arena es friable). En virtud de esto, puede definirse la plasticidad como la propiedad de un material que permite resistir deformaciones rápidas, sin cambiar de volumen y sin agrietarse ni desagregarse.

Otro de los factores influyentes en los resultados de los ensayos de los límites líquidos, es el secado previo a que fue sometida la muestra.

Se compararon los resultados obtenidos sobre distintos tipos de suelos en estado natural, secados al aire y secados al horno. Se observó que todos los suelos no reaccionaban de la misma manera frente al secado. Luego se determinó que el mayor efecto producido por el secado se daba en los suelos con contenidos considerables de materia orgánica, donde la diferencia entre un suelo secado al horno podía dar un valor de límite líquido inferior al 30% del valor obtenido sobre un suelo en estado natural.

MATERIALES Y MÉTODOS

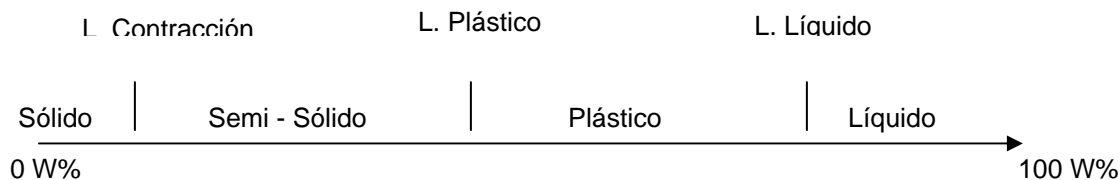
Los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido.

La arcilla, por ejemplo al agregarle agua, pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido.

El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad), es decir, la propiedad que presenta los suelos hasta cierto límite sin romperse.

El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por Atterberg a principios de siglo a través de dos ensayos que definen los límites del estado plástico.

Los límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo.



Límites de Atteberg

Plasticidad es la propiedad que tienen algunos suelos de deformarse sin agrietarse, ni producir rebote elástico.

La frontera convencional entre los estados semisólido y plástico se llama límite plástico, que se determina alternativamente presionando y enrollando una pequeña porción de suelo plástico hasta un diámetro al cual el pequeño cilindro se desmorona, y no puede continuar siendo presionado ni enrollado. El contenido de agua a que se encuentra se anota como límite plástico.

La frontera entre el estado sólido y semisólido se llama límite de contracción y a la frontera entre el límite plástico y líquido se llama límite líquido y es el contenido de agua que se requiere adicionar a una pequeña cantidad de suelo que se colocará en una copa estándar, y ranurará con un dispositivo de dimensiones también estándar, sometido a 25 golpes por caída de 10 mm de la copa a razón de 2 golpes/s, en un aparato estándar para límite líquido; la ranura efectuada deberá cerrarse en el fondo de la copa a lo largo de 13 mm.

En los granos gruesos de los suelos, las fuerzas de gravitación predominan fuertemente sobre cualquiera otra fuerza; por ello, todas las partículas gruesas tienen un comportamiento similar.

Podemos definir distintos estados de consistencia de los suelos plásticos como ser el estado líquido, el estado plástico, el estado semisólido y el estado sólido. Estos estados también pueden asimilarse a distintas etapas de fenómenos geológicos de sedimentación y evaporación, partiendo de un lodo o barro depositado en un lago, produciéndose un proceso de evaporación del agua con la correspondiente disminución del contenido de humedad y volumen, pasando desde un estado plástico a un estado semisólido, y llegando finalmente a un estado sólido donde no se aprecia disminución de volumen pero sí de humedad.

En los suelos de granos muy finos, sin embargo fuerzas de otros tipos ejercen acción importantísima; ello es debido a que en estos granos, la relación de área a volumen alcanza valores de consideración y fuerzas electromagnéticas desarrolladas en la superficie de los compuestos minerales cobran significación. En general, se estima que esta actividad en la superficie de la partícula individual es fundamental para tamaños menores que dos micras (0,002 mm).

Cada límite se define por la humedad que produce una consistencia determinada; la diferencia entre los límites representa la variación en el contenido de agua o humedad dentro de la cual el suelo se mantiene en un cierto estado.

El límite líquido (LL) se define por la humedad que tiene el suelo amasado cuando con 25 golpes ligeros contra una placa de goma dura de una vasija especial, se cierra el surco de sección trapecial que se había abierto en la masa húmeda de suelo colocada en dicha vasija. El límite plástico (LP) se define por la humedad del suelo amasado cuando empieza a separarse y desmoronarse al enrollarse a mano para formar bastoncillos de 3 mm de diámetro.

Estados de consistencia. Límites de plasticidad

Para medir la plasticidad de las arcillas se han desarrollado varios criterios de los cuales se menciona el desarrollado por Atterberg, el cual dijo en primer lugar que la plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua. Una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula, y esa misma, con gran contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido o, inclusive, las de una suspensión líquida. Entre ambos extremos, existe un intervalo del contenido de agua en que la arcilla se comporta plásticamente. En segundo lugar, Atterberg hizo ver que la plasticidad de un suelo exige, para ser expresada en forma conveniente, la utilización de dos parámetros en lugar de uno.

Según su contenido de agua en forma decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definido por Atterberg.

- 1.- Estado líquido, con las propiedades y apariencias de una suspensión.
- 2.- Estado Semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
- 3.- Estado Plástico, en que el suelo se comporta plásticamente.
- 4.- Estado semi sólido, en el que el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado.

El límite líquido indica el contenido de agua para el cual el suelo tiene una cierta consistencia, con una resistencia al corte de 25 g/cm^2 . Por el contrario, la resistencia de diferentes suelos arcillosos en

el límite plástico no es constante, sino que puede variar ampliamente. En las arcillas muy plásticas, la tenacidad en el límite plástico es alta, debiéndose aplicar considerable presión para formar los rollitos; por el contrario, las arcillas de baja plasticidad son poco tenaces en el límite líquido.

Los límites líquidos y plástico de muchos suelos que se secan antes de ser ensayados, pueden ser considerablemente diferentes de los valores obtenidos en muestras sin secar. Si los ya mencionados límites de los suelos se utilizan para establecer la correlación o calcular el comportamiento ingenieril de los suelos en su estado de humedad natural, no debe permitirse que las muestras se sequen antes del ensayo, a menos que se desee específicamente obtener datos sobre muestras secas.

Las correlaciones en las que se basan los cálculos del método de un punto pudieran no ser válidas para ciertos suelos, tales como los orgánicos o los provenientes de un ambiente marino. Se recomienda en gran medida que el límite líquido de estos suelos se determine mediante el método multipunto.

La composición y concentración de sales solubles en el suelo afectan los valores de los límites líquido y plástico, así como los valores del contenido de agua de los. Por lo que se les debe prestar una especial consideración a los suelos provenientes de un ambiente marino u otras fuentes donde pudieran estar presentes altas concentraciones de sales solubles. Se debe tener muy en cuenta a que grado las sales presentes en estos suelos se diluyen o se concentran.

Este método de ensayo se utiliza para caracterizar las fracciones de grano fino de los suelos y para especificar la fracción de grano fino de los materiales de construcción. También por extensión se utilizan el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos, ya sea separado o unido con otras propiedades del suelo para correlacionarlas con el comportamiento ingenieril, es tal como: la compresibilidad, permeabilidad, compactación, el hinchamiento - contracción y la resistencia al cortante.

Los límites líquido y plástico de un suelo se pueden utilizar con el contenido de agua natural de este para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y se pueden utilizar también con el porcentaje más fino que el tamaño 2 - μm para determinar su número de actividad.

Estos métodos en ocasiones se utilizan para evaluar las características de meteorización de los materiales de esquisto - arcilloso. Cuando se someten a ciclos repetidos de humedecimiento y secado, los límites líquidos de estos materiales tienden a aumentar. La cantidad en que aumentan se considera como una medida de la susceptibilidad del esquisto a la meteorización.

El límite líquido de un suelo que contiene cantidades sustanciales de materia orgánica disminuye drásticamente cuando el suelo se seca en la estufa antes del ensayo. La comparación del límite líquido de una muestra antes y después del secado en la estufa se puede utilizar, por lo tanto, como una medida cualitativa del contenido de materia orgánica del suelo.

Las muestras se puede tomar de cualquier lugar que satisfaga las necesidades del ensayo. Las muestras que se prepararen utilizando el procedimiento de preparación húmeda se tienen que mantener con su contenido de agua natural antes de la preparación.

Cuando las operaciones de muestreo hayan preservado la estratificación natural de una muestra, los diferentes estratos se tienen que mantener separados y los ensayos ejecutados en un estrato particular de interés, con la menor contaminación posible proveniente de otro estrato. Cuando se vaya a utilizar una mezcla de materiales para la construcción, se combinan los diferentes componentes en proporciones tales, que la muestra resultante represente un caso de construcción real.

Cuando los datos de este método de ensayo se utilicen para una correlación con otros datos de ensayo de campo o laboratorio, se utiliza el mismo material que el empleado para estos ensayos donde sea posible.

En algunos casos, los cationes de sal presentes en el agua corriente se intercambiarán con los cationes naturales en el suelo y alterarán significativamente los resultados del ensayo si se utiliza agua corriente en las operaciones de lavado y remojo. A menos que se conozca que tales cationes no están presentes en el agua corriente, se debe utilizar agua destilada o desmineralizada. Como regla general, no se debe utilizar agua que contenga más de 100 mg/L de sólidos disueltos para las operaciones de lavado.

Cuando la muestra contiene un alto porcentaje de material retenido en el tamiz de 425 μm (No.40), se realizan las siguientes operaciones de lavado en incrementos, lavando no más de 0.5 kg (1 lb) de

material de una vez. Se coloca el tamiz de 425 μm (No.40) en el fondo de un recipiente limpio. Se vierte la mezcla de agua y suelo en el tamiz. Si hay partículas de grava o arena gruesa, se lavan todas las que se pueda con pequeñas cantidades de agua contenida en un frasco lavador y se descartan. Alternativamente, se vierte la mezcla de suelo y agua sobre un tamiz de 2-mm (No.10) colocado encima de un tamiz de 425 μm (No.40), se enjuaga todo el material fino y se retira el tamiz de 2 - mm (No.10). Después de lavar y eliminar todo el material grueso posible, se añade agua suficiente al recipiente hasta llevar su nivel aproximadamente a 13 mm (1/2 pulg.) por encima de la superficie del tamiz de 425 μm (No.40). Se agita la pasta removiéndola con los dedos mientras se sube y se baja el tamiz en el recipiente y se agita la suspensión, de manera que el material fino se desprenda de las partículas más gruesas. Los grumos de suelo fino que no se han delezñado se desagregan al frotarlos suavemente con la punta de los dedos sobre el tamiz. Se completa la operación de lavado elevando el tamiz por encima de la superficie de agua y enjuagando el material retenido con una pequeña cantidad de agua limpia. Se descarta el material retenido en el tamiz de 425 μm (No.40).

Se reduce el contenido de agua del material que pasa el tamiz de 425 μm (No.40) hasta que se acerque al límite líquido. La reducción del contenido de agua puede estar acompañada por uno o una combinación de los siguientes métodos: (a) la exposición a las corrientes de aire a temperatura ambiente, (b) la exposición a corrientes de aire caliente proveniente de una secadora de pelo eléctrica, (c) decantando agua limpia desde la superficie de la suspensión, (d) filtrándolo por un embudo Büchner o utilizando bujías filtrantes, o (e) secándolo en un colador o plato de yeso mate (de París) revestido con un papel filtrante de una gran resistencia a la humedad y alta retentividad⁸. Si se utiliza el plato de yeso de París, se debe cuidar que el plato no llegue a estar nunca lo suficientemente saturado que deje de absorber agua de su superficie. Los platos deben permanecer bien secos cuando no se están usando. Durante la evaporación y el enfriamiento, se remueve la muestra con suficiente frecuencia para evitar el sobresecado de los bordes y salientes de suelo sobre la superficie de la mezcla. Para muestras de suelo que contengan sales solubles, se utiliza un método de reducción de agua, tal como el (a) o el (b) que no eliminarán las sales solubles de la muestra de ensayo.

Se mezcla totalmente el material que pasa por el tamiz de 425 μm (No.40) en una placa de vidrio utilizando una espátula. Si fuera necesario se ajusta el contenido de agua de la mezcla, añadiendo pequeños incrementos de agua destilada o desmineralizada o permitiendo que la mezcla se seque a temperatura ambiente, mientras se mezcla en la placa de vidrio. El suelo deberá tener un contenido de agua que dé como resultado el cierre de la ranura entre 25 y 35 golpes. Se reintegra el suelo mezclado al plato de almacenaje, se cubre para evitar la pérdida de humedad y se le permite reposar por lo menos 16 horas. Después del período de reposo e inmediatamente antes de comenzar el ensayo se vuelve a mezclar el suelo totalmente.

Preparación seca:

Se selecciona la cantidad de suelo suficiente para proporcionar de 150 a 200 g de material que pase el tamiz de 425 μm (No.40) después de procesado. Se seca la muestra a temperatura ambiente o en una estufa a una temperatura que no exceda los 60°C, hasta que los terrones de suelo se pulvericen rápidamente. La desagregación se acelera si no se permite que la muestra se seque completamente. Sin embargo, el suelo tendrá una apariencia seca cuando esté pulverizado.

Se pulveriza la muestra en un mortero con una mano de goma en la punta o de cualquier otra forma que no provoque la ruptura de los granos individuales. Cuando las partículas gruesas encontradas durante la pulverización sean concreciones, conchas u otras partículas frágiles, no se trituran para hacer que pasen por el tamiz de 425 μm (No.40), pero sí se eliminan con la mano u otro medio adecuado como el lavado.

Se separa la muestra sobre un tamiz de 425 μm (No.40), sacudiendo el tamiz con la mano para asegurar la total separación de la fracción más fina. Se devuelve el material retenido sobre el tamiz de 425 μm (No.40) al pulverizador y se repite las operaciones de pulverización y tamizado tantas veces como sea necesario para asegurar que todo el material fino se haya desagregado y que el material retenido en el tamiz de 425 μm (No.40) conste solamente de granos individuales de arena y grava.

Se coloca el material remanente en el tamiz de 425 μm (No.40) después de la operación de pulverización final se coloca en un plato y se sumerge en una pequeña cantidad de agua. Se remueve la mezcla de agua y suelo y se vierte sobre un tamiz de 425 μm (No.40), atrapando el agua y los finos suspendidos en un recipiente lavador. Se vierte esta suspensión en un plato que contenga un suelo seco previamente tamizado a través de un tamiz de 425 μm (No.40). Se descarta el material retenido sobre el tamiz de 425 μm (No.40).

Suelos como el caolín, polvos de mica y otros polvos artificiales constituidos parcial o totalmente de partículas laminares relativamente gruesas en comparación con las partículas coloidales de las arcillas plásticas, poseen menor plasticidad que las arcillas ordinarias; por lo tanto, un índice plástico bajo, no indica necesariamente un contenido de materia orgánica.

El secado produce cambios irreversibles en las características de la fracción coloidal orgánica de un suelo; a falta de otros medios, se podrían diferenciar los suelos orgánicos de los inorgánicos de bajo índice plástico, repitiendo las determinaciones de los límites con el material secado al horno; este secado causa invariablemente una apreciable disminución de los límites del suelo orgánico. Los límites de los suelos inorgánicos también se afectan por el secado al horno, pero en mucho menor escala; además, en este caso los límites pueden aumentar o disminuir, dependiendo del suelo.

Los límites de algunas arcillas se afectan también por la intensidad del mezclado; el límite plástico varía normalmente en la misma dirección del líquido, pero sus variaciones suelen ser solo del orden de un tercio de las del límite líquido.

La influencia del secado en los materiales arcillosos es importante, la deshidratación no afecta el valor de los límites, cuando el contenido de agua con que se inician las pruebas está comprendido entre su valor natural y 150%, en cambio los límites disminuyen muy rápidamente cuando las muestras se secan con mayor intensidad, previamente a las determinaciones. Cuando el secado se hace al horno, llegando a contenidos de agua muy pequeños, los límites disminuyen muy apreciablemente al ser determinados añadiendo agua a las muestras a partir de esas bajas humedades.

Los valores de los límites también se ven influenciados por el tiempo que se deje transcurrir entre la preparación de la pasta de suelo y la ejecución de la prueba.

En estudios de estabilización de suelos se ha investigado el efecto que sobre los límites ejercen diversas sustancias adicionales, encontrándose que las que más los afectan son las de base sódica, que hacen aumentar los límites considerablemente, en la mayoría de los casos; sin embargo, la sal común (NaCl) produce frecuentemente disminución del límite líquido. Algunas sustancias pueden afectar en sentido contrario a suelos muy similares en apariencia.

El hecho de que la plasticidad de las arcillas sea una propiedad tan sensible que pueda disminuir o aumentar con pequeños cambios en el procedimiento, es desafortunado desde el punto de vista de las pruebas de rutina, pero muy ventajoso para diferenciar arcillas de apariencia similar.

Fueron utilizadas muestras de suelos de las provincias Holguín – Granma

Se ejecutaron los Límites de Atterberg, sobre las muestras de suelos de las provincias antes mencionadas.

Para la determinación del límite líquido se tuvo en cuenta la siguiente secuencia:

- Equipo Casagrande.
- El método multipunto, según Norma Internacional ASTM D 4318-98. "Método de Ensayo Estándar para Determinar el Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos".
- Como acanalador se utilizó el acanalador plano.
- Se utilizó el suelo en estado natural tamizado por el tamiz N°40, también se utilizó la misma muestra secada al horno a 105°C a fin de realizar las respectivas comparaciones.

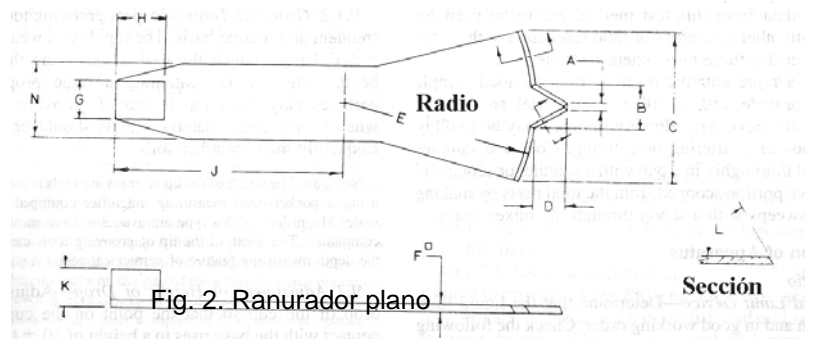
Equipo empleado:

- Aparato de Casagrande



Fig.1 Equipo de Casagrande

- Ranurador plano (fig. 2)
- Espátula
- Cápsula de porcelana.
- Pesafiltros
- Balanza con precisión de $\pm 0.01\text{g}$.
- Estufa para secado a $105-110\text{ }^{\circ}\text{C}$



Las muestras fueron tomadas en el campo en muestreadores especiales, con el fin de preservar las condiciones de yacencia y de esta forma realizar los ensayos correspondientes, en la ejecución de los ensayos se procedió según la Norma Técnica ASTM antes mencionada.

De esta forma se ejecutaron los ensayos de las dos variantes que se van a analizar en forma natural y luego secando la misma y haciéndola pasar por el tamiz No. 40.

Se colocó una porción de suelo preparado en la copa del aparato de límite líquido, en el punto donde la copa descansa sobre la base, se aprieta hacia abajo y se dispersa dentro de la copa hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm en su punto más profundo, y se golpea suavemente hasta formar una superficie casi horizontal. Se tiene cuidado de eliminar las burbujas de aire de la pasta de suelo, pero se trata de dar la menor cantidad posible de paletadas.

Se forma una ranura en la pasta de suelo, el ranurador se sostiene contra la superficie de la copa y se traza un arco, manteniendo el ranurador perpendicular a la superficie de la copa durante su movimiento. Se eleva y se deja caer la copa haciendo girar la manivela a un ritmo de 1.9 a 2.1 caídas por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta de suelo hagan contacto en el fondo de la ranura a lo largo de una distancia de 13 mm (1/2 pulgada).

Se registró el número de caídas, requeridas para cerrar la ranura. Se retiró una porción de suelo de aproximadamente el ancho de la espátula, y se colocó en un pesafiltro para la determinación de la humedad.

Añadiéndole agua destilada al material restante en la capsula se van obteniendo el resto de los puntos. Se determina el contenido de agua, de los especímenes de suelo para cada punto, Para la determinación del límite plástico se utilizó:

- El método del rolado.

Equipo necesario:

- Espátula
- Placa de vidrio esmerilado
- Pesafiltros
- Balanza con precisión de $\pm 0.01\text{g}$.
- Horno para secado a $105-110\text{ }^{\circ}\text{C}$

Procedimiento:

Se empleó una parte del suelo del utilizado para obtener el límite líquido al cual se le continuó bajando la humedad.

Se tomó pequeñas porciones de suelo, los cuales se rolaron sobre el vidrio esmerilado para formar cilindros. Se continuaron rolando dichos cilindros disminuyendo su diámetro hasta llegar a que, a un diámetro igual a $1/8$ de pulgada, el cilindro se comenzase a resquebrajar. Se colocaron los cilindros en ese estado dentro de un pesafiltro y se obtuvo su humedad, correspondiente al límite plástico del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la evaluación de los resultados se tomaron muestras procedentes de distintos lugares de los territorios de las provincias Holguín y Granma, donde se realiza un análisis comparativo entre los límites obtenidos por el método natural y el de secado.

La ejecución de los mismos se realizaron a partir de la Norma Internacional ASTM D4318-2002. "Método de Ensayo Estándar para Determinar el Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos".

Los resultados se muestran en la Tabla 1. Resumen de las características de las muestras de las provincias Holguín Granma. (Los resultados se corresponden a niveles promedios)

De los 11 lugares donde se tomaron muestras, corresponden a diferentes formaciones geológicas, según el mapa geológico de Cuba a escala 1:250 000.

- Fm Charco Redondo (chr) compuesta fundamentalmente por calizas.
- Fm Bayamo (bm) compuesta por arenas grises y arenas grisáceas, de granos con lentes de areniscas y conglomerados finos e intercalaciones de arcillas arenosas verde grisáceas y arenas arcillosas grisáceas.
- Fm Camazán (cz) Margas, calizas arcillosas, arcillas, calizas.
- Depósitos aluviales: Limo gris y gris parduzco, limos arenosos y arcillas arenosas.
- Fm Jagueyes (jg): Margas, calizas arcillosas, calizas biógenas.
- Fm Júcaro (jr): Calizas, calcarenitas, margas.

En la figura 3, se muestran los lugares donde se obtuvieron las muestras.

Fig.3. Ubicación tipo del lugar donde se tomaron las muestras.

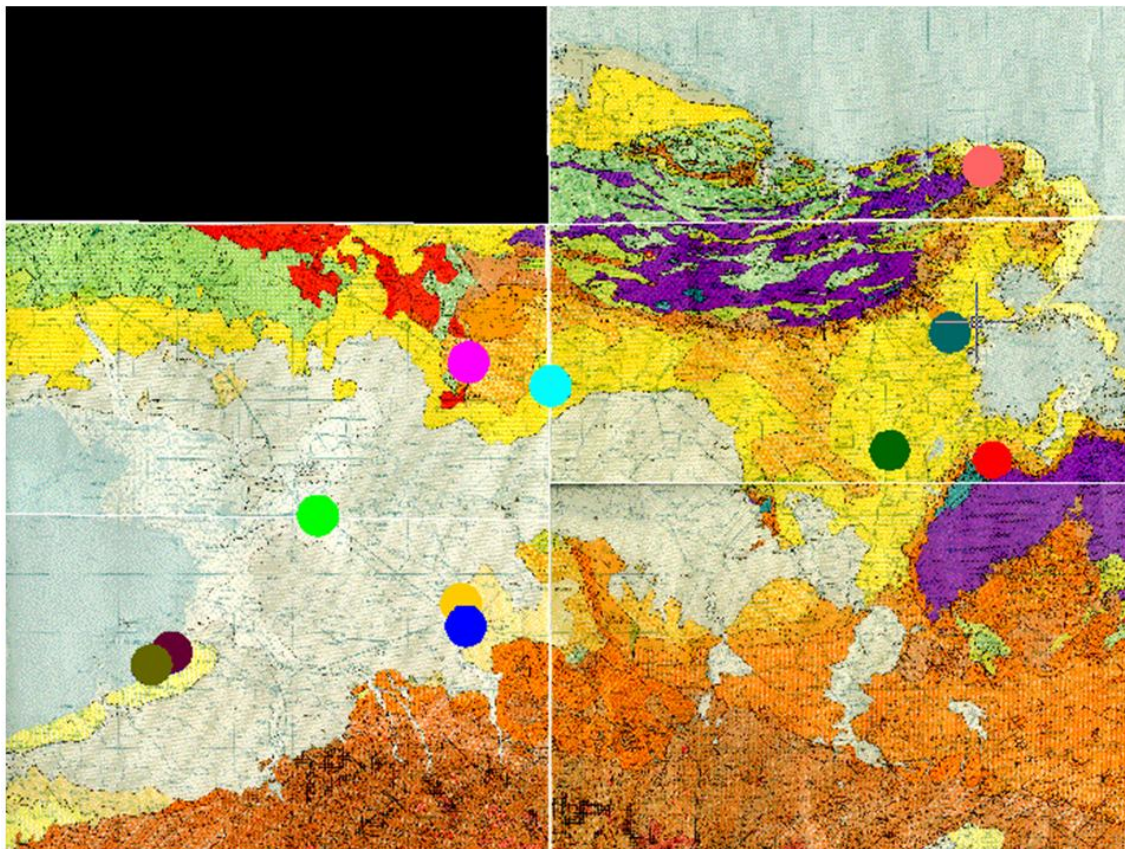


Tabla I. Resumen de las características de las muestras de las provincia Holguín Granma.

Datos de las muestras						
NO	Lugar	Coordenadas	W	LL Húmedos	LL Secos	Fm. Geológica
1	Puente Presa Guaro	X: 611 201 Y: 219 574	28.0 %	LL: 66 % LP: 22 % IP: 44 %	LL: 56 % LP: 20 % IP: 36 %	Fm. Charco Redondo (chr)
2	Ampliación Politécnico Vitalio Acuña	X: 520100 Y: 190920	20.2 %	LL: 55 % LP: 21 % IP: 34 %	LL: 49 % LP: 20 % IP: 29 %	Fm. Bayamo (bm)
3	Policlínico Ernesto Guevara	X: 520580 Y: 236520	24.3 %	LL: 79 % LP: 24 % IP: 55 %	LL: 68 % LP: 23 % IP: 45 %	Fm. Camazán (cz)
4	10 Silos para granos Cayama	X: 494525 Y: 210040	36.7 %	LL: 83 % LP: 29 % IP: 54 %	LL: 75 % LP: 28 % IP: 47 %	Depósitos Aluviales
5	Silos Cai Antonio Maceo	X: 534770 Y: 232410	21.5 %	LL: 60 % LP: 18 % IP: 42 %	LL: 54 % LP: 17 % IP: 37 %	Fm. Jagueyes (jg)
6	Hospital Celia Sánchez Manzanillo	X: 469225 Y: 186400	30 %	LL: 56 % LP: 29 % IP: 27 %	LL: 47 % LP: 27 % IP: 20 %	Fm. Júcaro (jr)
7	Centro Metrológico Manzanillo	X: 465750 Y: 184250	40 %	LL: 82 % LP: 26 % IP: 56 %	LL: 79 % LP: 25 % IP: 54 %	Fm. Júcaro (jr)
8	Policlínico Cañadon	X: 609500 Y: 270350	31 %	LL: 51 % LP: 28 % IP: 23 %	LL: 43 % LP: 26 % IP: 17 %	Fm. Camazán (cz)
9	Escuela Primaria Manuel Ascunce	X: 519250 Y: 194750	25 %	LL: 37 % LP: 24 % IP: 13 %	LL: 32 % LP: 22 % IP: 10 %	Fm. Bayamo (bm)
10	Joven Club de computación Cueto	X: 593450 Y: 221300	36 %	LL: 83 % LP: 22 % IP: 61 %	LL: 77 % LP: 19 % IP: 58 %	Fm. Jagueyes (jg)
11	Policlínico Deleyte	X: 603820 Y: 241640	25 %	LL: 69 % LP: 25 % IP: 44 %	LL: 60 % LP: 23 % IP: 37 %	Fm. Jagueyes (jg)

Tabla II. Factor de Correlación en las diferentes formaciones geológicas.

Formación	Factor de Corrección
Fm Charco Redondo (chr).	LL: 10 % LP: 2 %
Fm Bayamo (bm).	LL: 5 % LP: 1 %
Fm Camazan (cz).	LL: 9 % LP: 1 %
Fm Jagueyes (jg).	LL: 6 % LP: 1 %
Fm Jucaro (jr).	LL: 6 % LP: 1 %
Depositos aluviales	LL: 8% LP: 2 %

CONCLUSIONES

Se tomaron un total de 120 muestras en diferentes localidades de las provincias Holguín Granma, en diferentes formaciones geológicas de Cuba Oriental.

La plasticidad varía en formaciones de un mismo tipo, fundamentalmente en cuanto a la profundidad que se toman las muestras, y el porcentaje de arcillas en ellas.

El factor de correlación propuesto en cuanto a los tipos de formaciones es el expresado en la tabla II.

BIBLIOGRAFIA.

1. CA. Las arcillas activas en Argentina. Diagnostico y remediación. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Buenos Aires.
2. Contribución a la Geología de Cuba Oriental. Instituto de Geología y Paleontología. Academia de Ciencias de Cuba. Editorial Científico Técnica. 1983.
3. Artículo Consistencia y Plasticidad. PP 33 -35.
4. Juárez Badillo, E y A. Mecánica de Suelos. T I. pp 77 – 102. Edición Revolucionaria. La Habana. Octubre, 1969.
5. Mapa Geológico de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología.
6. Marticorena de García Regal, D. Necesidad de determinar el límite líquido con mayor exactitud. Memoria de VI Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de fundaciones. Lima, Perú. Diciembre 4, 1979. pp 14-17.
7. Norma ASTM D4318-2002. Método de Ensayo Estándar para Determinar el Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos.
8. Sowers, G. Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Pp 51 – 52. Edición Revolucionaria. La Habana, enero, 1976.
9. WAGNER, M.; MEDINA, G. 1998. Técnicas de evaluación de compactación de suelos. Maracay, Ven., Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 36 p. (Serie B - Nº 33).

APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA GEOLÓGICA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS TERRAZAS TÉCNICAS DE LA FÁBRICA DE RONES OSCUROS DE SAN JOSÉ DE LAS LAJAS

Alcibíades Benito Macias LLauger

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 ponencia trata sobre la aplicación de la Ingeniería Geológica para la construcción de las terrazas técnicas imprescindibles para sustentar los elementos estructurales de la Fábrica de rones oscuros de San José de las Lajas.

Era necesario resolver tres problemas esenciales para acometer los trabajos:

Determinar si la arcilla de la zona era favorable para el fundamento de las terrazas.

Elevar el nivel natural de los terrenos hasta la cota máxima especificada por el proyectista en cada una de las terrazas para eliminar los peligros de las inundaciones.

Garantizar durante el levante de tierra la calidad de la compactación con el propósito de formar un suelo firme capaz de admitir las tensiones actuantes.

Las Investigaciones Ingeniero Geológicas de la arcilla de la zona, los ensayos de laboratorio de los materiales de préstamo, las comprobaciones topográficas y de la compactación in situ con equipos de alta precisión, aportaron los resultados decisivos para llegar a las conclusiones siguientes:

La arcilla del fundamento presenta características Ingeniero Geológicas favorables para sustentar las terrazas.

La cercanía del préstamo y el empleo de equipos de alta precisión en las comprobaciones de la calidad contribuirán a la eficiencia de la obra.

Los materiales de préstamo eran idóneos para emplearlos como levante de las terrazas; bases de los cimientos tecnológicos, muros de contención, vigas zapatas y las losas de los pisos.

ABSTRACT

The present work includes some results of the application of the Geological Engineering during the construction of the backfill terraces in the area of the new Dark Rum Distillery located in San José de las Lajas. The backfill terraces are used for supporting structural elements.

Three main problems had to be solved the construction the construction works:

Determine the suitability of using the existing clay layer as a basis for backfill terraces.

Increase the final terrain level to a secure height in order to avoid flooding.

Ensure an efficient compaction quality control during the construction works.

The soil site investigations carried out, the laboratory test of the borrow pit materials and the topographic and compaction quality controls contribute to arrive to the following conclusions:

The existing clay layer is suitable for supporting the backfill terraces.

The proximity of the suitable borrow pit and the high accuracy of the quality control carried out contribute to the effectiveness of the construction works.

The borrow pit materials have suitable properties to be used in the backfill terraces.

INTRODUCCIÓN

Por encargo de Quality Couriers International la ENIA acometió los servicios de investigación y control técnico de la calidad para la construcción de la Fábrica de rones oscuros de San José de las Lajas.

La misma está ubicada en Carretera Central y Camino de Rabelo, San José de las Lajas, la Habana.

INVESTIGACIONES INGENIERO GEOLÓGICAS DE LA ARCILLA DEL FUNDAMENTO

Los suelos del lugar fueron investigados convenientemente con los métodos y equipos convencionales. Durante los trabajos de campo fueron perforados con una máquina de fabricación rusa (URB), la cual empleó un sistema de rotación con agua a presión por tratarse de arcillas muy duras de la Formación Geológica Guevara.

TIPOS DE ENSAYOS	VALORES	UM
Límite Líquido (LL)	70	%
Límite Plástico (LP)	30	%
Índice plástico (IP)	40	%
Índice de Consistencia (Ic)	1.0	Adm.
Humedad Natural (W)	33	%
Densidad Húmeda (γ_f)	1820	Kg/m ³
Densidad Seca (γ_d)	1368	Kg/m ³
Peso Específico (Gs)	2.77	Adm.
Relación de Vacíos (Rv)	0.8	Adm.
Saturación (S)	86	%
Cohesión (C)	1.0	Kg/cm ²
Angulo de Fricción Interna (ϕ)	15	Grados
Módulo de Deformación (E)	220	Kg/cm ²

INVESTIGACIONES INGENIERO GEOLÓGICAS DE LOS MATERIALES DE PRESTAMO

La zona presentaba un relieve irregular con probabilidades de inundación, por esta razón se escogió como solución definitiva las construcciones de terrazas técnicas con el fin de elevar la cota del terreno y crear condiciones propicias para asentar los elementos estructurales. Para lograr este objetivo fueron investigados los materiales margosos de la cantera Rancho Alto. Se realizaron ensayos de granulometría, hidrómetro y pruebas de compactación por el método del Próctor Modificado.

TIPOS DE ENSAYOS	VALORES	UM
Peso Específico (Gs)	2.70	Adm.
Límite Líquido (LL)	35.4	%
Límite Plástico (Lp)	23.8	%
Índice Plástico (Ip)	11.6	%
Humedad Óptima (Wopt)	17.5	%
Densidad Máx. (γ_d)	1755	Kg/m ³

COMPROBACIONES TOPOGRÁFICAS.RESULTADOS

La altimetría y planimetría de las terrazas fue comprobada en cada una de las capas por la Comisión de Topografía de la Unidad de Investigación de la Construcción de Ciudad de la Habana. Empleando el Nivel y la Estación Total. Alcanzándose resultados satisfactorios, pues los valores, en defecto o exceso, oscilan en rangos admisibles (1 mm y 2 mm).

COMPROBACIONES DE LA COMPACTACIÓN.RESULTADOS

Las terrazas representan obras estructurales de tierra con funciones específicas. En este caso tendrán la función de servir como levante; base de los cimientos tecnológicos, de los muros de contención, de las vigas zapatas y de las losas de los pisos. Por tanto fue realizado un control técnico riguroso de la calidad de la compactación capa por capa por los especialistas de la Unidad de Investigaciones de la Construcción de Matanzas. Empleando en las comprobaciones el equipo radioactivo Troxler, el cual brinda de manera rápida los parámetros de humedad, densidad y los valores de compactación (Kc) de los suelos hasta la profundidad fijada. Los resultados fueron satisfactorios, pues determinaron la calidad técnica óptima de la compactación. Los valores de las pruebas de la compactación se mantuvieron por encima del 95 % en todas las capas controladas.

CONCLUSIONES

Las Investigaciones Ingeniero Geológicas de la arcilla de la zona, los ensayos de laboratorio de los materiales de préstamo, las comprobaciones topográficas y de la compactación in situ con equipos de alta precisión, aportaron los resultados decisivos para llegar a las conclusiones siguientes:

La arcilla del fundamento presenta características Ingeniero Geológicas favorables para sustentar las terrazas.

La cercanía del préstamo y el empleo de equipos de alta precisión en las comprobaciones de la calidad contribuyeron a la eficiencia de la obra.

Los materiales de préstamo eran idóneos para emplearlos como levante de las terrazas; bases de los cimientos tecnológicos, muros de contención, vigas zapatas y las losas de los pisos.

RECOMENDACIONES

Emplear la arcilla del lugar como fundamento de las terrazas.

Emplear el material del préstamo como levante de las terrazas y bases de los cuerpos estructurales de la obra.

Emplear la Estación Total y el Troxler durante las comprobaciones.

Realizar el control técnico sistemático de la compactación.

CARACTERIZACION INGENIERO GEOLÓGICA DE UN SECTOR DEL YACIMIENTO DE CIENOS CARBONATADOS SUR DE CAYO MOA GRANDE, PLATAFORMA NORORIENTAL, HOLGUÍN

Jesús M. Véliz Basabe⁽¹⁾; G. Godines Barrera⁽¹⁾; V. Estrada Sanabria⁽¹⁾

(1) GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina, Regla, CP 112000, Ciudad de La Habana, Cuba, Email: gem@emarinis.geocuba.cu; materia@emarinis.geocuba.cu Teléfonos: 978255, 977575, 970015-18, Extensiones: 107, 114, 118

RESUMEN

En el citado sector de Concesión Minera de la Moa Nickel S.A, ahora en el marco de un proyecto de exploración de explotación (Godines, 2005) fue objetivo establecer las particularidades físico - mecánicas básicas, para posibilitar la introducción de nuevas tecnologías de extracción minera (dragado), y aumentar el aprovechamiento de las reservas y recursos del mineral útil. Aplicado el método hidrográfico, de perforación percusión con cuchara cubana, documentación geológica e ingeniero geológica y los ensayos de laboratorio para evaluar los potenciales elementos, contenidos en el paquete de los tipos de sedimentos mapeados en la profundidad del suelo marino. Se identificaron y caracterizaron tres elementos ingeniero geológicos por su contenido de arena, sin embargo, destacamos que: La distribución espacial de los elementos ingeniero geológicos en el yacimiento revelo una geometría desordenada, asociada a los procesos geodinámicos de la plataforma marina nororiental que determinan la dispersión de las arenas carbonatadas, como componente básico en la caracterización de los elementos definido y al impacto de una actividad extractiva continuada. Con la caracterización se permitirá diseñar un proyecto de explotación minera (dragado) racional y sustentable para el entorno de su marco geológico ambiental.

ABSTRACT

In the mentioned sector of Mining Concession of the Moa Nickel S.A, now in the mark of a project of exploration of exploitation (Godines, 2005) it was objective to establish the particularities physique - mechanical basic, to facilitate the introduction of new technologies of mining extraction (dredged), and to increase the use of the reservations and resources of the useful mineral. Applied the method hidrográfico, of perforation percussion with Cuban tablespoon, geologic documentation and geologic engineer and the laboratory rehearsals to evaluate the potential elements, contents in the package of the types of silts mapeados in the depth of the marine floor. They were identified and they characterized three geologic elements engineer for their content of sand, however, we highlight that: The space distribution of the geologic elements engineer in the location reveals a disordered geometry, associated to the processes geodinámicos of the northeastern marine platform that determine the dispersion of the carbonated sands, as basic component in the characterization of the defined elements and to the impact of a continuous extractive activity. With the characterization it will be allowed to design a project of mining exploitation (dredged) rational and sustainable for the environment of their environmental geologic mark.

INTRODUCCIÓN

Este estudio ingeniero geológico, desarrollado en un sector de la concesión minera perteneciente a la Moa Niquel S.A, ubicada en la bahía de cayo Moa Grande, (Ver Figura No.1), plataforma nororiental de Cuba, se ejecutó con el objetivo de conocer las características físico mecánicas del yacimiento de cienos carbonatados, para la ejecución del proyecto de explotación. Debido a que en su vida útil, de más de 40 años, no se han realizado estudios para la caracterización físico-mecánica del mineral cieno carbonatado, hasta el momento se ha estado explotando irracionalmente y se hace necesario realizar un proyecto de explotación (dragado) que cumpla con todos los requisitos para posibilitar la

introducción gradual de nuevas tecnologías de extracción y aumentar el aprovechamiento de la reserva y recurso del mineral útil con el menor impacto al medio ambiente marino.

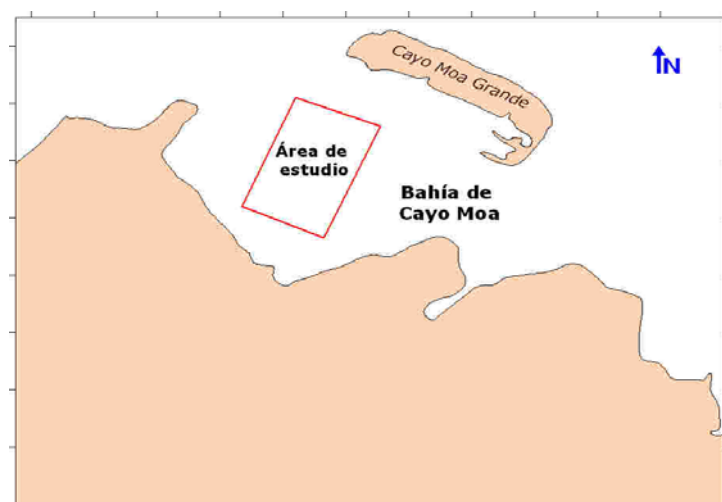


Figura No.1 Ubicación del sector de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aplicado el método hidrográfico, documentación geológica e ingeniero geológica, además, los ensayos y análisis de laboratorios, la tabla de clasificación de suelo por el SUCS y otros, durante los trabajos de perforación a percusión con cuchara cubana, realizadas por los autores en las calas: 407; 413; 418; 423; 425; 449; 454; 456; 458; 481, 485; 486; 520; 524; 538; 542; 546; 558 y 562, (ver figura No.2 y No.3), según el proyecto (Godines y otros 2004; 2005), donde fueron tomadas 44 muestras para los ensayos de laboratorio y realizados los cálculos estadísticos de los parámetros principales, (Ver tabla No.1 y No.2). Además, constituyen técnicas usuales en las empresas de servicios especializados en asuntos costeros en la República de Cuba.

Tabla No.1. Característica físico – mecánicas.

E.I.G		Humedad (%)	Límite		Índice		Peso específico.(kn/n)	Cohesión (C Mpa)	Ángulo de fricción interna (Grado °)	Clasificación SUCS
			Líquido (LL%).	Plástico (LP %)	Plasticidad (IP %)	Consistencia (IC).				
1		67,4	199	33	116	-113	28	-	-	CH
2	A	55.9	59	31	28	0,11	28,04	0,004	2	OL+ML; OH + MH y CH
	B	56,7	48	33	15	-0,59	28,07	0,006	8	OH + MH
	C	51,7	41	33	8	-134	28,20	0,006	12	OL + ML
3		75,3	NP	NP	NP	-	28,02	-	-	OH + MH

Tabla No.2. Cálculo de los principales parámetros estadísticos.

E.I.G	Litologías	X_o (%)	X (%)	σ (%)	V (%)	E (%)	Intervalo de variación
1	Cieno terrígeno.	-	-	-	-	-	-
2	Cieno carbonatado limosos con arena	55,0	55,9	7,61	0,738	1,56	52,74 < W < 59,06
		55,0	59,0	10,00	17,00	2,18	55,0 < LL < 64,0
		35,0	31,2	3,02	29,20	0,66	29,9 < LP < 32,5
		63,0	62,6	15,35	24,52	3,35	55,9 < Limo < 69,3
		23,0	24,7	9,40	38,0	0,41	23,9 < Cieno < 25,6
		13,0	13,6	6,85	0,50	1,98	11,6 < Arena < 15,6
	Cieno carbonatado limo arenosos	55,0	56,2	14,1	24,87	4,07	48,6 < w < 64,8
		45,0	47,9	15,9	33,22	6,00	36,6 < LL < 60,0
		35,0	33,0	3,6	10,91	1,14	30,7 < LP < 35,3
		48,0	49,0	5,0	0,102	1,613	45,8 < Limo < 52,2
		23,0	24,0	1,0	0,042	0,10	23,8 < Cieno < 23,2
		28,0	28,8	1,36	0,047	0,607	27,6 < Arena < 30,0
	Cieno carbonatado areno limoso	-	-	-	-	-	-
3	Arena carbonatada limosa	23,0	24,7	5,0	0,202	2,04	20,6 < Limo < 28,8
		52,0	53,67	0,749	1,527	0,002	52,39 < Arena < 54,95

Media aritmética convencional – X_o

Media aritmética – X ,

Desviación medio cuadrática - σ

Coeficiente de variabilidad – V

Error medio aritmético – E

RESULTADOS

Para este yacimiento de los cienos carbonatados localizado en la Bahía de Cayo Moa, desde la nacionalización de la industria niquelífera al triunfo de la Revolución Cubana, no había sido objeto de esta particular investigación. Sin embargo, ahora por la certidumbre en los métodos de campo, y los esenciales de laboratorio experimentado, se permite el conocer los intervalos de valores para los parámetros ingenieros geológicos (ver Tabla No.1 y No.2), lo cual posibilitó la desmembración de los depósitos acumulados en el sector investigado en cinco tipos litológicos, agrupados en los siguientes tres elementos:

Elemento ingeniero geológico No.1.

Cieno terrígeno: Es un suelo de origen orgánico e inorgánico, que es el más superficial, se halla en estado fluido– muy blando. Clasifica en el grupo CH.

Elemento ingeniero geológico No. 2. (A), (B) y (C).

A. Cieno carbonatado limoso con arena o cuerpo mineral de color gris verdoso – gris claro, muy húmedo – saturado, de consistencia fluida a muy blanda, con plasticidad media, dilatancia lenta – nula, resistencia seca baja – media, de baja a media tenacidad. Clasifica en el grupo OL+ ML; OH +MH y CH.

B. Cieno carbonatado limo– arenoso de color gris y gris claro con un contenido del 28,8% de arena fina y media, de muy humedad a saturada, de plasticidad media a alta, dilatancia nula– lenta, resistencia seca baja, de tenacidad baja a media, de consistencia fluida a blanda. Clasifica en los grupos OH + MH.

C. Cieno carbonatado areno- limoso de grano fino a medio de color gris verdoso a gris, de suelta a media densa, de plasticidad baja a no plástica, resistencia seca baja a media, de tenacidad baja a media, Clasifica para el dragado en el grupo II, y en el grupo I para la descarga.

Elemento ingeniero geológico No.3

Arena carbonatada limosa con algo de cieno carbonatado, de grano fino a medio, media densa.

CONCLUSIONES

En el sector se identificaron y caracterizaron tres elementos ingeniero-geológicos diferenciados por su contenido de arena, sin embargo, se deberá destacar que:

1. La distribución espacial de los elementos ingeniero geológicos dentro del modelo geológico del yacimiento muestra una geometría desordenada, asociada a los procesos geodinámicos de la plataforma marina nororiental que determinan la dispersión de las arenas carbonatadas (fina– media– alta) como componente básico en la caracterización de los elemento y al impacto de una actividad extractiva continuada.
2. Con la caracterización y clasificación de los elementos ingeniero geológicos, se permite el diseñar de un proyecto de explotación minera (dragado) racional con la distribución del componente mineral útil y sustentable para el entorno de su marco geológico ambiental.
3. El elemento ingeniero geológico No.1, se puede encontrar en la parte superior para el sector evaluado del yacimiento, sin embargo, el elemento No. 2, posee la más amplia distribución en el segmento superior del sector, excepto en la parte sur, y el elemento No.3 se mapeo solo en la porción central del sector. Aunque tienen en común que clasifican en el grupo OL + ML, OH + MH y CH, por lo que facilitará el proyecto de explotación (dragado).
4. Los autores advierten que los datos ingeniero geológicos calculados, son la particularidad alcanzada por los testigos de perforación de 18 pozos para un sector que abarca el 25,85%.
5. Los elementos ingeniero geológicos clasifican para el dragado en el grupo II y para la descarga en el grupo I.

BIBLIOGRAFÍA

Anastasiu N, (...) Minerale si roci sedimentare. Determinator. Editura Tehnica. Bucurest.

- Animitsa, P. 1985. Recomendaciones para el estudio de los cienos (suelos débiles). Empresa de Investigaciones Aplicadas. MICONS
- Godines, G., y otros., 2005. PTEO. Exploración y proyecto de explotación del sector Oeste II del yacimiento de cienos carbonatados al sur de Cayo Moa Grande, C de la Habana Geocuba Estudios Marinos, 2005.
- Boncha, I. Geologie Ingenieerasca. Vol.I
- Ralph, B et al. 1965. Foundation Engineering. London – New York, 160 pag.
- Nápoles, E. y otros. 1990 Prospección del yacimiento de cienos carbonatados al Sur del Cayo Moa Grande., C. de La Habana Oficina Nacional de Recursos Minerales.

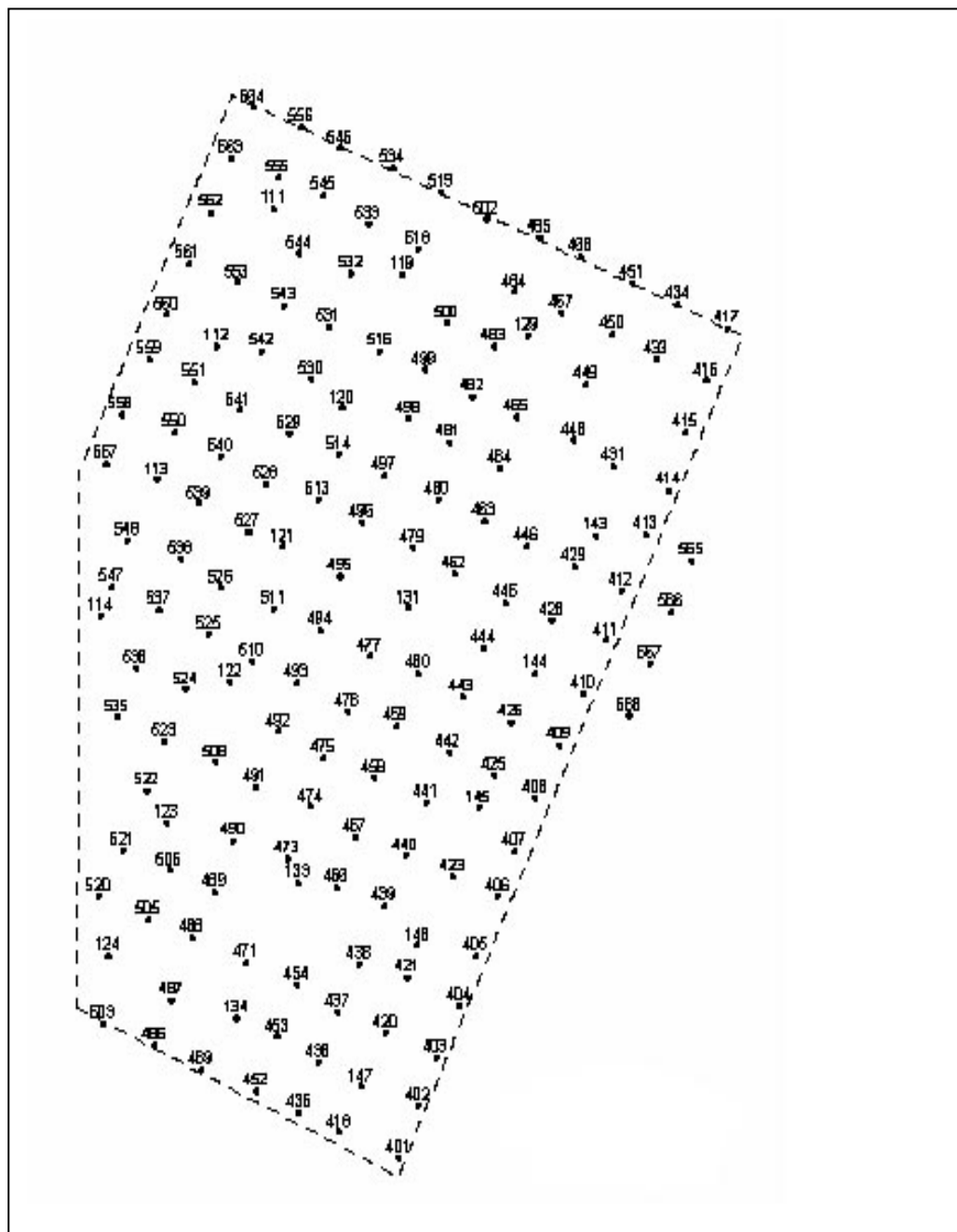


Figura No.2 Ubicación de calas realizadas.



GEOCUBA Ministerio de Geología y Geofísica		COORDENADAS:					OBRA: ESTUDIO DE EXPLORACION DE EXPLOTACION DEL YACIMIENTO DE CIENOS CARBONATADOS. SITUACION: MOA. HOLGUIN.														
No de Pozo: 425		X:		Perforador: Tec. R. Castillo			Geólogos: M. Sc. V. Estrada - Ing. J. Veliz B.				Fecha inicio:		Fecha final:								
Perforadora: MARK-7		Y:		Confeccionado por: Ing. J. Veliz B.			Dibujado por: Ing. J. Artiles P.				08	02	06	08	02	06					
		Z: 3,05 m		J de Proyecto: Ing. G. Godínez B.			Revisado por: M. Sc. V. Estrada S - Ing. G. Godínez B.														
Profundidad	Columna litológica	Profundidad Estrato	Potencia	No. Sonda	Recup.	No. Muestra	Descripción litológica	Ensayos tecnológicos			Características ingeniero-geológicas										
								Mesh	%	Ton/m ³											
(m)		(m)	(m)		%			+100	-325	CaCO ₃	PV	EIG	Mtra.	W	LL	LP	Gr	Ar	Um	Arc	Clasif.
1			3,05	1			Agua														
2																					
3		3,05																			
4		3,55	0,50	2	75	M-1	Cieno terrígeno de color carneísta, fluido a muy blando, excepto en el área de interfase con el cieno carbonatado arenoso.			69,8	1										
5						M-2		21,6	58,8	94,6	1,44	M-1	65,6	45	33	2	32	46	20	ML	
6						M-3		18,7	59,5	94,4	1,51										
7				3	85	M-4	18,5	57,4	94,8	1,37	M-2		76,4	HP	HP	3	29	47	21	ML	
8			8,40	4	100	M-5	17,8	59,2	95,6	1,52											
9						M-6	14,7	63,4	94,6	1,93		2									
10						M-7	13,6	62,8	92,7	1,60											
11				5	100	M-8	21,8	54,4	92,1	1,61											
12		9,95		6	100	M-9	16,9	59,1	91,9	1,75											
13		10,35	0,40																		
14																					
15							Turba de color carneísta, donde se observan intercalaciones irregulares de restos biogénicos pequeños.														
16																					

EIG No.1 Cieno terrígeno

EIG No.2 Cieno carbonatado

EIG No.3 Arena

Nota: Las profundidades están referidas al nivel medio del mar.

Figura No.3 Cala ingeniero-geológica No.425.



ESTUDIO GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

Domingo E. Delgado Martínez⁽¹⁾ y Juan Casamayor Palacios⁽²⁾

⁽¹⁾ *Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Carretera a Camajuaní Km 5½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. Correo electrónico: domingo@uclv.edu.cu*

⁽²⁾ *Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas de Villa Clara (ENIA-VC), Carretera Central Km 206 Santa Clara, Villa Clara, Cuba. Correo electrónico: casamayor@eniavc.vcl.cu*

RESUMEN

El objetivo de las investigaciones geotécnicas es la confección del informe ingeniero geológico, documento de gran importancia para la ejecución del proyecto vial. Sin embargo, en Cuba no existe una norma que rija los trabajos que se han de realizar en las investigaciones ingeniero geológicas en carreteras, por lo que se hace necesario unificar criterios con respecto a este tema. El objetivo de este trabajo es elaborar y proponer una metodología integral para la realización de los estudios geotécnicos para la construcción de carreteras, la cual debe guardar una adecuada correspondencia con las nuevas normativas existentes para el diseño de terraplenes y pavimentos, además de adecuarse a las condiciones tecnológicas y geotécnicas del país.

En esta investigación se hace un exhaustivo estudio relacionado con los principios que se deben cumplir para la realización de las investigaciones geotécnicas, así como una valoración de los métodos y regulaciones vigentes para la realización de estos trabajos. Se analizan los ensayos y propiedades que permiten predecir propiedades mecánicas de los suelos y se aplican criterios estadísticos a una base de datos creada para proponer un método propio de predicción de estas propiedades. Se hace un análisis de las especificaciones que deben cumplir los suelos para formar parte de las capas de la estructura del pavimento. Además, se propone una metodología integral para el estudio geotécnico de los suelos para la construcción de carreteras, la cual puede ser generalizada a la práctica de las investigaciones geotécnicas y utilizada por ingenieros civiles, geólogos y otros especialistas encargados de este tipo de investigación.

ABSTRACT

The main objective of geotechnical studies is to elaborate geological engineering reports, which are very important documents for road projects. However, in Cuba there is no standard defining geological engineering investigations for the construction of roads. So, it is necessary to count on unified criteria on this topic. The main objective of this paper is to elaborate and propose a comprehensive methodology for the implementation of geotechnical studies for road construction. This methodology should be in accordance with the existing standards for pavement and embankment design, and with the technical and geotechnical conditions in Cuba.

A detailed study of the principles to be followed for the implementation of geotechnical studies was carried out, as well as an evaluation of the existing methods and regulations for this kind of work. Tests and properties were analyzed in order to predict mechanical soil properties, and statistical criteria were considered for the creation of a database in order to propose a specific method for the prediction of this type of properties. An analysis of soil specifications for those soils that are to be used for the different pavement layers is made. Also, a comprehensive methodology for the implementation of geotechnical studies for road construction is proposed. This methodology can be implemented in geotechnical studies and used by civil engineers, geologists and other specialists involved in this kind of investigation.

INTRODUCCIÓN

La importancia de las investigaciones para la confección del anteproyecto y, principalmente, para la confección de los proyectos viales definitivos es aceptada mundialmente, pues contribuye



preferentemente al mejor diseño vial. Se desprende de una manera obvia la necesidad de contar, tanto en la etapa de proyecto, como durante la ejecución de la obra, con datos firmes, seguros y abundantes respecto al suelo con el que se está trabajando, además de recomendaciones, especificaciones, así como los métodos apropiados para obtener estas propiedades ingenieriles de los suelos y materiales rocosos que podrán encontrarse durante la construcción.

En Cuba para la realización de las investigaciones geotécnicas en carreteras no existe una normativa vigente. Uno de los intentos más acabados al respecto fue la propuesta de norma realizada por Torres Villa (1977), en los últimos años, se han realizado por parte de las empresas dedicadas a las investigaciones geotécnicas: ENIA, INRH, entre otros, diferentes procedimientos que rigen estas investigaciones desde el punto de vista de la calidad. No obstante a esto, sigue existiendo la necesidad de unificar criterios al respecto que tomen en consideración los conocimientos existentes sobre el tema en el ámbito nacional e internacional.

Actualmente en Cuba existe la necesidad por parte de las empresas dedicadas a las investigaciones geotécnicas de una metodología para la realización de los estudios geotécnicos en carreteras la que debe de guardar una adecuada correspondencia con las nuevas normativas existentes para el diseño de terraplenes y de pavimentos; además adecuarse a las condiciones geotécnicas del país.

Por tanto, con este trabajo se pretende proponer una metodología integral para la realización de los estudios geotécnicos para la construcción de carreteras, la que debe de guardar una adecuada correspondencia con las nuevas normativas existentes para el diseño de terraplenes y de pavimentos; además adecuarse a las condiciones geotécnicas del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del trabajo se dio cumplimiento a las siguientes tareas:

1. Análisis del estado actual del conocimiento sobre el tema objetivo de investigación, para determinar cuales son las tendencias investigativas contemporáneas y definir la línea de trabajo a seguir.
2. Caracterización desde el punto de vista geotécnico los suelos más empleados en la construcción de carreteras y sobre esta base proponer un método para la determinación de las propiedades mecánicas más importantes.
3. Valoración y determinación de los requisitos de calidad que deben cumplir los suelos a colocar en el levante, mejoramiento y subbase de las carreteras.
4. Valoración de los métodos y regulaciones vigentes para la realización de investigaciones geotécnicas en cuanto a: espaciamiento de las perforaciones, tipo y cantidad de muestras, número de ensayos.
5. Propuesta de una metodología integral, a partir de los resultados de las investigaciones geotécnicas realizadas, para el estudio geotécnico de carreteras, que incluye modificaciones y adecuaciones a los métodos y procedimientos más empleados actualmente.

Para elaborar los métodos de predicción y poder caracterizar los suelos de la región fue necesario crear y procesar una base de datos con las principales propiedades de los suelos. Esta base de datos incluye los resultados de las investigaciones ingeniero geológicas realizadas en diferentes estratos para la construcción de obras viales, que se ejecutaron por la E.N.I.A. de Villa Clara en las provincias de Villa Clara y Sancti Spíritus. La base de datos general fue creada en Excel y se incluyeron las capas ingeniero-geológicas detectadas en estas investigaciones.



Tanto los cálculos como el procesamiento estadístico de los datos fueron realizados con el programa SPSS versión 11. Tomando en consideración la experiencia en trabajos en suelos (Delgado, 2003), se decidió preliminarmente agrupar los datos estadísticos por clases en función de la clasificación para suelos que establece el AASHTO. Una vez agrupados se procedió a caracterizar cada variable con técnicas de estadística descriptiva y se comprobaron los criterios de normalidad y teoría de rechazo.

Para establecer los métodos de predicción a partir de ecuaciones de regresión se siguió el siguiente procedimiento. Utilizando técnicas correlacionales se buscaron los vínculos de interrelación de mayor grado de significación entre las variables. Luego, a partir de las variables seleccionadas, se realizaron análisis gráficos del comportamiento entre estas variables (análisis de tendencia o de dispersión). Después, se procedió a realizar un estudio de regresión simple y múltiple entre las variables de mayor grado de significación con el objetivo de establecer los métodos de predicción de las propiedades mecánicas.

El análisis de la confiabilidad de los modelos de regresión se basó en un estudio de normalidad de los errores de pronóstico y de su comportamiento. Además, se realizó un análisis de significación de los coeficientes del modelo y un estudio de los valores del coeficiente de correlación y el error típico, demostrando así la veracidad de los modelos elegidos.

El análisis de regresión se realizó de tres formas diferentes. Una variante fue realizar el procesamiento de los suelos por clases según el AASHTO y empleando técnicas de regresión tradicionales, y en las otras dos variantes los suelos fueron tratados en conjunto para analizar la posibilidad de simplificar los modelos de trabajo, en un caso se aplicaron técnicas de regresión tradicional y en el otro, la técnica de mínimos cuadrados ponderados, donde el factor de ponderación fue el inverso de la potencia de la desviación estándar, lo cual posibilita tomar en consideración la fiabilidad de los resultados por clases. El comportamiento de los resultados de los modelos de regresión por clase fue más confiable que para los casos globales, pero como la diferencia de exactitud entre estos enfoques no fue marcadamente diferente, se decidió escoger el enfoque de trabajo más simple, es decir, el enfoque global empleando técnicas de regresión tradicionales. Esta decisión técnica se fundamenta en el objetivo de clasificación del trabajo pues solo se pretende, a partir de las ecuaciones de regresión, evaluar cualitativamente las características mecánicas de los suelos. Esta forma de trabajo ha sido siempre la utilizada en trabajos de este tipo que se han realizado esencialmente en el extranjero (Jiménez Salas et al., 1981; Das, 2000; Delgado, 2003).

De forma similar para valorar los métodos y regulaciones vigentes para la realización de investigaciones geotécnicas en cuanto a: espaciamiento de las perforaciones, tipo y cantidad de muestras, número de ensayos fue necesario crear y procesar otra base de datos con estos aspectos a partir de los resultados de las investigaciones ingeniero geológicas realizadas en la región.

Para la valoración y determinación de los requisitos de calidad que deben cumplir los suelos a colocar en el levante, mejoramiento y subbase de las carreteras se partió del análisis de las normas y regulaciones vigentes.

Finalmente, se logra proponer una metodología integral, a partir de los resultados de las investigaciones geotécnicas realizadas, para el estudio geotécnico de carreteras, que incluye los aspectos antes analizados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



El éxito de las investigaciones ingeniero-geológicas en una obra vial depende de la utilización correcta de los procedimientos metodológicos durante la organización, realización y evaluación de estas. Durante las mismas se deben cumplir los principios de las etapas, complejidad y el económico. O sea, realizar las investigaciones por etapas de acuerdo con la complejidad ingeniero geológica y lograr el menor costo, pero con la calidad necesaria y en el tiempo establecido.

Al analizar el estado actual del conocimiento sobre los estudios geotécnicos de los suelos para la construcción de carreteras se pudo constatar las principales dificultades existentes en el país:

- Los principios fundamentales en que se basan las investigaciones ingeniero geológicas no son reflejados explícitamente en las normas y regulaciones existentes.
- Existen deficiencias y limitaciones en la aplicación de los diferentes métodos de investigación en ingeniería, entre ellas se puede mencionar:
 - Muchas veces el levantamiento ingeniero geológico e hidrogeológico es obviado o limitado a pequeños recorridos durante el replanteo del trazado del vial y/o ejecución de las perforaciones.
 - Los trabajos geofísicos se realizan en muy poca ocasiones y, en algunos casos, durante el proceso de perforación y muestreo.
 - Los trabajos de perforación y muestreo se realizan en muchas ocasiones de forma mecánica, sin considerar las condiciones geotécnicas del lugar que deben haber sido esclarecidas durante el levantamiento ingeniero geológico.
 - Existen dificultades en establecer los espaciamientos y profundidades más adecuados para las perforaciones y excavaciones.
 - En muchos casos el número de muestras no se corresponde con los volúmenes de perforación y excavación y resultan insuficientes para la caracterización de las diferentes capas ingeniero geológicas.
 - Las pruebas de campo "in situ" han sido prácticamente olvidadas durante la realización de estas investigaciones.

De esto se deduce la necesidad que existe en Cuba de desarrollar métodos de predicción para la identificación y clasificación de los suelos, para de esta forma inferir sus propiedades con más aproximación.

Además, aunque se cuenta con una amplia experiencia en la edición de normativas y regulaciones para la realización de las investigaciones ingeniero geológicas, no se cuenta con una norma aprobada para el caso de viales. Por lo que es necesario proponer una metodología integral para el estudio geotécnico de los suelos para la construcción de carreteras.

Caracterización de los suelos y valoración de los diferentes procedimientos de investigación geotécnica

En esta investigación se estudiaron en total 20 estratos, detectados en las investigaciones ingeniero geológicas que se realizaron para la construcción de diferentes carreteras, los cuales tienen propiedades y características diferentes.

De todos los datos procesados se puede concluir que los parámetros que mejor correlaciones brindan con el Próctor (γ_d y $w_{\text{ópt}}$) y el CBR del suelo son: w_n , γ_d , LL y el % que pasa el tamiz 200.

A partir de las propiedades físicas seleccionadas por las correlaciones como variables predictoras se obtuvieron las siguientes ecuaciones de regresión múltiple:



$$\begin{aligned} \text{CBR} &= -9,535 + 1,16 \gamma_d + 2,264 \times 10^{-3} \text{LL} - 6,51 \times 10^{-2} \text{T200} & (R = 0,825) \\ \gamma_{d\text{máx}} &= 14,128 - 1,03 \times 10^{-2} \text{T200} + 0,37 \gamma_d - 0,35 \times 10^{-2} w & (R = 0,902) \\ w_{\text{óptima}} &= 25,958 - 0,96 \gamma_d + 0,388 w & (R = 0,909) \end{aligned}$$

Con fines de diseño, usualmente se establecen correlaciones entre el tipo de suelo clasificado con la metodología AASHTO y SUCS como se ha mencionado anteriormente y la relación de soporte de California (CBR) del suelo. Es así, que se han desarrollado tablas y figuras que permiten estimar el rango en el cual se encuentra el valor de CBR para un determinado tipo de suelo clasificado según AASHTO y SUCS (Vásquez y Chang, 2002).

Tabla I. Relaciones aproximadas entre las clasificaciones de suelos y los valores de CBR

Clasificación SUCS	Rango de CBR	Clasificación AASHTO	Rango de CBR
OH y CH	< 3 a 5	A-7-5 y A-7-6	< 2 a 13,5
OL y MH	< 4 a 8	A-6	< 2 a 13,5
CL y ML	5-15	A-5	< 2 a 7,8
SC	10-20	A-4	3 a 25
SP	10-25	A-3	10 a 30
SM	10-40	A-2-6 y A-2-7	8,5 a 30
SW	20-40	A-2-4 y A-2-5	25 a > 80
GC	20-40	A-1-b	20 a 60
GM	20- >80	A-1-a	38 a > 80
GP	25-60	-	-
GW	60 a > 80	-	-

Si los resultados que se obtienen con la aplicación de las ecuaciones de regresión propuestas se comparan con la tabla I de Vásquez y Chang (2002) se obtienen resultados satisfactorios, pues los mismos coinciden con los rangos establecidos por estos autores en la tabla 2.1, de acuerdo con las clasificaciones de suelo.

Este método sirve para complementar y verificar información, pero nunca puede ser usado como sustituto del programa de investigaciones adecuado, pues estos datos no siempre representan las características reales del suelo, ni las condiciones reales de su comportamiento bajo la sollicitación de diseño.

En Cuba estos métodos no son muy utilizados por eso es fundamental incentivar la investigación en el país para la incorporación de procedimientos y desarrollo de tecnología propia que se adapte mejor a nuestras propias condiciones. Este esfuerzo debe ser común para que las entidades vinculadas al sector del transporte colaboren conjuntamente con el objeto de lograr un avance tecnológico significativo en la especialidad.

Existen diferentes especificaciones que deben reunir los suelos de acuerdo con sus características y la capa donde van a ser colocados, por ejemplo, según las normas y regulaciones de la construcción vigentes en Cuba (RC-3008, RC- 3013, RC-3011, RC-3020, NC 54-147-78) debe cumplirse que:

- El material que se suministre de la zona escogida para préstamos tendrá que satisfacer en todo momento las especificaciones de calidad establecidas por proyecto o, en su defecto, las del laboratorio.



- El área de terreno utilizado en los trabajos de préstamo deberá presentar un aspecto estético acorde con el lugar una vez finalizada su explotación (RC-3008,1981).
- Los materiales que se emplearán en terraplenes serán suelos o materiales locales obtenidos en las excavaciones realizadas en la obra o de préstamos indicados en los planos, debidamente autorizados por el laboratorio de suelo de la obra (NC 54-147-78).
- Estará libre de ramas, troncos, hierbas, raíces, materia orgánica de cualquier clase y de otros materiales o sustancias que puedan ser perjudiciales.
- Los suelos obtenidos de las excavaciones que serán utilizados en la construcción de terraplenes compensados serán los aprobados por proyecto y aquellos que se aprueben por el proyectista durante el proceso de ejecución de la obra, avalados por los ensayos correspondientes.
- Las piedras y rocas obtenidas de las excavaciones que se empleen en la construcción de esta unidad, cuando formen parte del material de suelo que se coloque, no podrán ser de un tamaño mayor de los dos tercios del espesor de la capa compactada, por lo que las piedras y rocas de un tamaño mayor serán reducidas antes de que se incorporen definitivamente al terraplén. Cuando una sección de terraplén se construya empleando piedras y rocas, principalmente, éstas podrán ser hasta de 0,50 m en su mayor dimensión. Las piedras contenidas en los materiales que se emplean para la construcción de la capa superior de los terraplenes, no podrán ser de un tamaño mayor de 0,05 m.
- También podrán emplearse en la construcción de la unidad "Terraplén compensado" los materiales obtenidos en las unidades de excavación que se ejecutan en formaciones de serpentina, siempre que en los casos en los cuales estos materiales contengan cantidades apreciables de partículas grandes, que dificulten o impidan que se obtenga una compactación apropiada, sean trituradas, mediante el uso de un equipo mecánico adecuado, hasta que el 40 % del material como mínimo, pase por el tamiz No. 4, con el objeto de que este material fino se emplee para rellenar los vacíos que queden entre las partículas grandes. No deberá utilizarse la serpentina muy descompuesta que contenga un porcentaje elevado de silicato de magnesia. (R.C- 3013,1981).
- Para la ejecución de rellenos se utilizará material producto de las excavaciones y/o demoliciones que no se han de utilizar en los terraplenes o rehinchos, o con cualquier otro material que esté especificado en el proyecto. (R.C-3011,1981).
- Para la preparación de la subrasante, se usarán suelos seleccionados, de acuerdo con el proyecto. (RC-3020,1981).

Si se comparan los valores establecidos en las diferentes partes del mundo, con lo establecido en las regulaciones y normas cubanas y especialmente con lo planteado en la norma de diseño de pavimento flexible, se puede apreciar que en el caso de las limitaciones para núcleo y cimiento, existe relación con lo planteado entre los diferentes países y Cuba, pues todos concuerdan en que si los suelos tienen un IP mayor que 50-65% no deben ser utilizados para estas capas y coinciden que los más recomendables son los suelos A-1, A-2-4, A-2-5 ó A-3. Además, si se analizan los porcentajes establecidos para las diferentes propiedades se puede ver que son similares y los criterios para definir los suelos adecuados, seleccionados y aceptables son los mismos de forma general, aunque en el caso de Cuba son un poco más conservadores. Todos los especialistas concuerdan que, en el caso de no contar con los suelos idóneos, se pueden utilizar otros, pero con un correcto grado compactación, siempre mayor que el 95%, para el caso de la capa de coronación también existen igualdad de criterios, aunque se establece una diferencia entre suelos adecuados y seleccionados



pero en caso de no contar con los más idóneos se usará el que se tenga, siempre que cumpla con las condiciones para suelos seleccionados.

Sin embargo, si se analizan los valores de CBR y módulo establecidos en la norma de pavimento flexible para las diferentes capas se puede apreciar que los mismo son un poco altos, lo que limita la utilización de determinados suelos, comparando estos valores con los que aparecen en la propuesta de norma para el diseño geotécnico de cimentaciones superficiales (Quevedo, et al, 2002.), se puede apreciar que en el caso de la capa de base solo cumplen con la condición del módulo con valores entre 300 y 500 MPa las arenas muy compactas y para la capa de subbase como los valores de módulo son más bajos si permite que se usen otros suelos, como arcillas duras.

Si se realiza esta misma comparación con los intervalos de equivalencia planteado por Bachus, et al, (2002), se puede llegar a conclusiones similares, pues al igual que en el caso anterior las arenas compactas y muy compactas son la que más cumplen.

Generalmente, por no existir una norma vigente con respecto a estos aspectos no se cumple con calidad la construcción de las vías, pues aunque se utilice el material que producen las excavaciones para lograr la compensación se tiene que estudiar primero y determinar que realmente cumple con lo establecido en las regulaciones, que se logre la compactación necesaria, humedad óptima para la compactación y toda una serie de características imprescindibles para la correcta construcción de la carretera, y tener en cuenta las limitaciones que se plantean para cada una de las capas.

Para realizar el análisis del desarrollo de los trabajos de perforación y muestreo se realizó una búsqueda de datos de los trabajos de perforación y muestreo de importantes carreteras construidas en la región central en diferentes épocas, donde se observa que existen grandes deficiencias en cuanto a perforaciones, muestreo, espaciamiento de las mismas y ensayos de laboratorio realizados.

De acuerdo con el análisis realizado a todos estos datos, se puede apreciar que existen algunas deficiencias en cuanto a la realización de las investigaciones ingeniero geológicas, tal es así que en las propuestas de norma se subvalora el factor geotécnico, pues los parámetros establecidos para los valores mínimos y máximos de espaciamiento, profundidad de las perforaciones y la cantidad de ensayos mínimos por estratos están establecidos en estas propuestas de norma en función de la categoría de la vía y no de la complejidad geológica.

Cuando se analizaron los resultados y se compararon con lo establecido en las propuestas de norma se pudo ver que de las 6 vías analizadas, ninguna cumple al 100 % con la cantidad de ensayos establecidos para cada uno de los estratos de acuerdo con la categoría de la obra, lo que trae como consecuencia que los resultados de los ensayos no sean los más idóneos, pues no se logra un adecuado procesamiento estadístico para determinar las propiedades normativas y de cálculo.

Los espaciamientos en muchos de los casos tienden a ser muy pequeños y en otros muy alejados en comparación con lo establecido, en este aspecto lo propuesto en la norma puede ser un poco arriesgado pues la práctica ha demostrado que en el país la litología es bastante heterogénea, por lo que se hace necesario valorar este aspecto. En cuanto a la profundidad de las perforaciones en ocasiones no se llegan a muestrear todos los estratos.

De acuerdo con la complejidad geológica o categoría de la investigación, se puede ver que de las 6 vías, divididas en diferentes tramos, poseen una mayor complejidad geológica, la Autopista, Carretera a Cayo Frago, Vial regional Sur Caibarién Cayo Santa María y el Vial Aeropuerto Salamina Tramo II, en todas estas vías la categoría de la investigación es III, a pesar que la categoría de la obra es



diferente, si se analizan todas ellas se puede ver que la complejidad geológica es la misma para todas, sin embargo los espaciamientos de las perforaciones no se realizaron acorde con esta complejidad, por ejemplo en el caso de la autopista se consideró mejor este aspecto pues las mismas se hicieron bastante cercas para definir mejor la litología, en el caso de las demás vías se puede ver que los espaciamientos entre sondeos son grandes, en el caso de la profundidad que se alcanzó en los sondeos, se puede ver que de manera general se logró llegar hasta donde fue necesario, solo en el caso de las calicatas que se realizaron en la autopista que en algunos casos las profundidades fueron menores de un metro, pero fue producto de la aparición de estratos duros o rocosos. Si se analizan la cantidad de ensayos realizados para cada estrato en las diferentes vías, se puede ver que en casi ningún estrato se realizaron la cantidad de ensayos necesarios de acuerdo con la complejidad geológica, por ejemplo en la autopista no se realizaron casi ensayos de humedad y densidad natural, lo mismo sucede con las demás vías, con excepción de la Carretera a Cayo fragoso que se realizaron un poco más, en el caso de los demás ensayos de Peso específico, Límites, Granulometría Próctor y CBR se realizan en un mayor número pero algunas obras carecen de los mismos como es el caso del Vial regional Sur en el cual prácticamente no se realizaron estos ensayos.

Si se analizan los tramos de vías restantes, donde la categoría de la investigación es II, que en este caso corresponde con, la Carretera Santo Domingo Corralillo, Aeropuerto Salamina tramo I y III y la Carretera Motembo Circunvalación Norte, se puede ver que existen los mismos problemas, los espaciamientos de las perforaciones muchas veces son muy grandes, lo que provoca que no se pueda obtener toda la información necesaria de la litología y otras veces son muy cercas lo que puede provocar que encarezca más la obra, las profundidades de las perforaciones en muchos casos no llegan a todos los estratos, en el caso de la cantidad de ensayos a realizar por cada estrato, en algunos de los encontrados en estas obras se puede ver que si se realizó una cantidad adecuada de acuerdo con la complejidad geológica pero en otros no, por ejemplo en la carretera Santo Domingo Corralillo de un total de 55 estratos encontrados solo se logró más de 15 ensayos de humedad y densidad natural en un estrato, en 13 de los 55, lo que representa solo un 21,8 % del total, en el caso del peso específico solo en nueve se logró un número considerable para estos ensayos, lo que representa el 16,36% y en el caso de los límites y granulometría solo en 4 lo que representa el 7,27%, se realizaron además 53 ensayos para PM y 57 de C.B.R un número un poco pequeño para 48 Km. de vía. De estos 55 estratos 9 no se muestrearon. En el caso de las demás vías sucede lo mismo algunos estratos no se muestrearon y en los otros no se logró una cantidad adecuada de ensayos realizados por estratos.

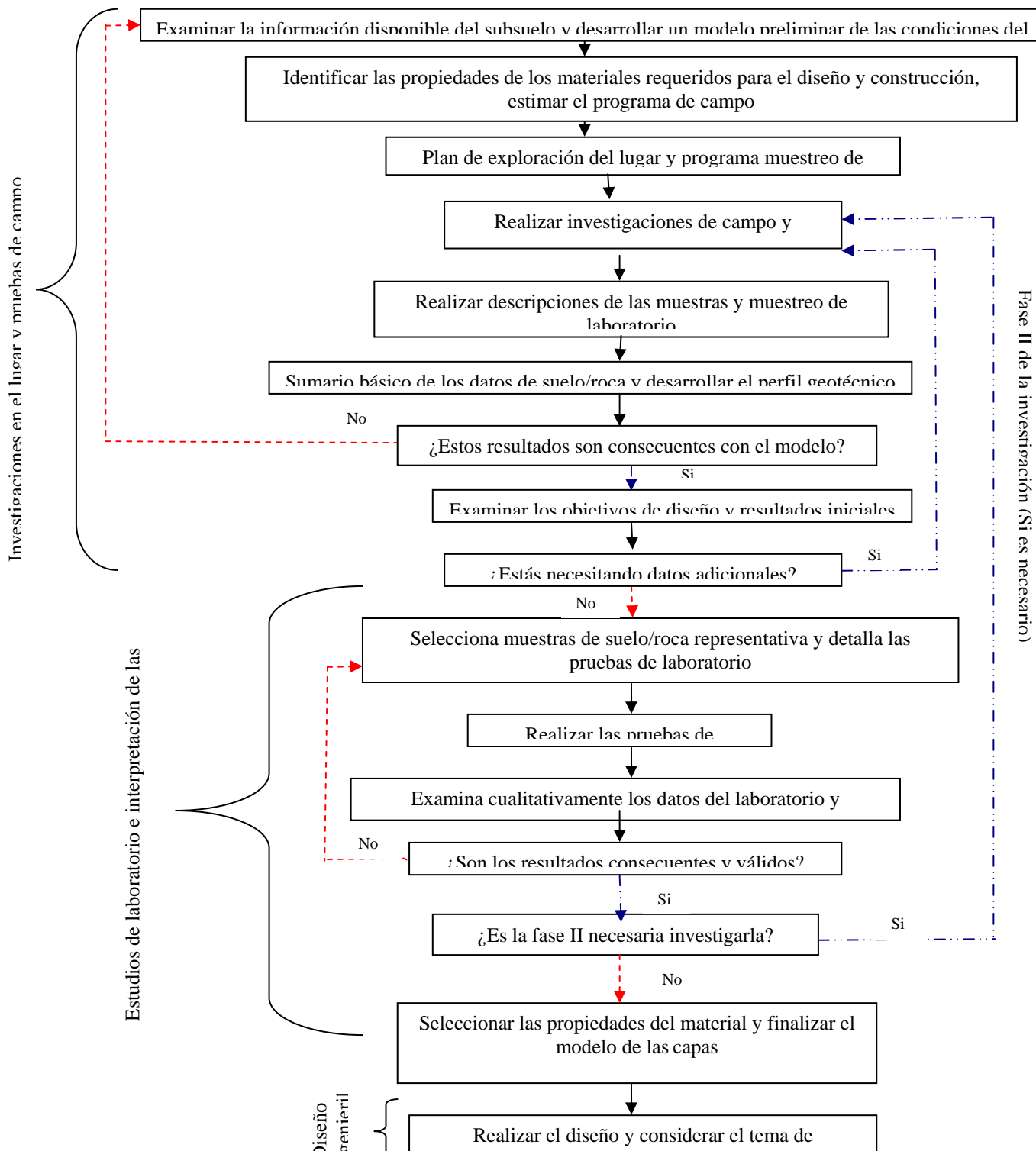
Una muestra clara es el análisis realizado que demuestra que a pesar que todas estas investigaciones ingeniero geológicas de las carreteras correspondientes fueron realizadas en épocas diferentes, se encuentran las mismas deficiencias en cuanto espaciamiento y profundidad de los sondeos se refiere, sin embargo las principales deficiencias se pueden encontrar en la cantidad de ensayos a realizar, que en la mayoría de los caso es insuficiente.

De forma general, se puede apreciar que existen deficiencias en cuanto a los trabajos de muestreo durante las investigaciones ingeniero geológicas, al ser estos en muchas casos insuficientes para realizar todos los ensayos necesarios, además de que muchas de las muestras tomadas no llegan a ser empleadas. En cuanto a los espaciamientos de las perforaciones la experiencia ha demostrado que para las condiciones de Cuba son necesarias mayores densidades, por ejemplo en el caso de las carreteras se puede espaciar las perforaciones en un intervalo entre 100-250 metros, la que podrá variarse por supuesto, de acuerdo con las condiciones del lugar, si las mismas son críticas podrá disminuirse a la mitad y si se tornan homogéneas se podrán hacer espaciadas aproximadamente a 300m, para las autopistas y aeropuertos se pueden hacer de acuerdo con la norma.



Propuesta de una metodología para las investigaciones geotécnicas en carreteras

La metodología propuesta es libre para ser utilizada en cualquier etapa de proyecto, puede estar sujeta a cambios si es necesario, es flexible pues permite volver al principio si fuese necesario o si los datos no son suficientes.





Está resumida, en un procedimiento de doce pasos lógicos, abarcando actividades generales de investigación del sitio y el muestreo de campo, muestras de laboratorio y la interpretación y diseño ingenieril. Este procedimiento paso a paso es presentado en el diagrama de la figura 1.

Como se puede apreciar, es difícil y realmente innecesario establecer un prescripto protocolo de visitas al lugar, programa de investigaciones, perforación, muestreo y ensayo aplicable a todos los sitios. Pues todo esto es más efectivo cuando: Se aplican estas normas convencionales con sitio y/o proyecto específico requerimientos/restricciones y reconociendo las ventajas y limitaciones del equipamiento de muestreo y métodos de ensayo en lugar. Figura 1. Esquema de la metodología para las investigaciones geotécnicas en carreteras

CONCLUSIONES

- Se pudo constatar, en el caso específico de Cuba que no existe una norma vigente por la cual se rijan los trabajos de investigaciones ingeniero geológicas en obras viales
- Se propuso un método para determinar las propiedades mecánicas más importantes de los suelos, basado en métodos estadísticos.
- Se realizó una valoración bien completa de los métodos y regulaciones vigentes para la realización de las investigaciones geotécnicas y se analizaron todas las deficiencias encontradas.
- Se propuso de acuerdo con los resultados que se obtuvieron de las investigaciones geotécnicas realizadas en la región central del país, modificaciones y adecuaciones a los métodos más empleados.
- Todos los aspectos estudiados quedaron resumidos en la metodología integral propuesta para el estudio geotécnico de los suelos para la construcción de carreteras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bachus, R.C. et al., 2002. "Geotechnical Engineering Circular 5". *Evaluation of Soil and Rock Properties*.
- Das, B. M., 2000. *Principios de la ingeniería de cimentaciones. Cimentaciones sobre suelos difíciles*. 4ta edición. México: International Thompson Editores, 862 p.
- Delgado, D.E., 2003 "Estudio de los suelos cohesivos con problemas especiales de Inestabilidad volumétrica y sus soluciones ingenieriles". Tesis doctoral. Universidad Central de Las Villas: 116p.
- Jiménez Salas, J.A. et al., 1981. *Geotecnia y cimientos III. Cimentaciones, excavaciones y aplicaciones de la geotecnia*. Primera parte. 2da edición. Madrid: Editorial Rueda. 2 tomos. 2104 p.
- NC-054-269. 1984. "Procedimiento para la ejecución de las etapas de las IIG en edificaciones".
- Quevedo, G. et al., 2001. "Anteproyecto de norma cubana de diseño geotécnico de cimentaciones superficiales" [en formato digital]. Facultad de Construcciones, Universidad Central de Las Villas.
- RC-3006. 1981. "Excavación para explanaciones".
- RC-3008. 1981. "Excavación en préstamos".
- RC-3011. 1981. "Relleno general".
- RC-3013. 1981 "Terraplenes para obras viales".
- RC-3020. 1981. "Preparación de la subrasante".
- Torres Vila, J.A., 1977. "Estudios geotécnicos en obras viales". Departamento de vías de comunicación, Facultad de Construcciones, I.S.P.J.A.E.
- Vásquez, D. y Chang, C., 2002. "Análisis comparativo con fines de diseño, entre la relación de soporte de California (cbr) y la clasificación de suelos (AASHTO y SUCS)" (ponencia presentada en el XIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Instituto de la Construcción y Gerencia, Lima, Perú)

OPTIMIZACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES INGENIERO-GEOLÓGICAS EN LAS PRESAS SEBORUQUITO Y GUAYABO CON LA UTILIZACIÓN DE MÉTODOS GEOFÍSICOS Y TÉCNICAS DIGITALES

Jorge L. Blanco Blázquez⁽¹⁾, María E. Tapia Basterrechea⁽¹⁾, Orlando Dussac⁽²⁾, Yanna Beatriz Olivero Vargas⁽³⁾, Joaquim García Leyva⁽³⁾.

⁽¹⁾ Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Holguín (RAUDAL).

⁽²⁾ Empresa Geominera de Oriente.

⁽³⁾ Instituto Superior Minero Metalúrgico "Antonio Núñez Jiménez" de Moa (Estudiantes).

RESUMEN

En las investigaciones de estas obras hidrotécnicas que conforman el Trasvase Este-Oeste, inicialmente se partió de los mapas digitales topográficos a escala 1:10000 contratados a GEOCUBA, los levantamientos topográficos detallados realizados por la misma institución en Seboruquito y por RAUDAL en Guayabo, así como el mapa geológico digital a escala 1:100000 elaborado por el IGP del MINBAS. Estos mapas fueron reprocesados, reescalados, exportadas las capas de las curvas de nivel y otros límites a formatos con extensión .dxf y su conversión a archivos con extensión .xyz, información de partida para la creación de los modelos digitales del terreno (MDT) y su representación tridimensional. La importancia de tener los MDT de las zonas y áreas investigadas, es en primer lugar, para su utilización como imagen ráster en la interpretación geológica, ya que las imágenes obtenidas del relieve, suplen el déficit de fotos aéreas con la calidad necesaria, además que superan a éstas por no tener la influencia de la actividad antrópica y de la vegetación, constituyendo imágenes muy parecidas a las del tipo RADAR de poca penetración.

Superponiendo al MDT la información digital geológica, geofísica y plotando los datos del levantamiento geológico, se confeccionaron los mapas y perfiles geológicos a las diferentes escalas de trabajo para las zonas y áreas de estudio.

Los métodos geofísicos utilizados fueron SEV, Tomografía Eléctrica variante Wenner, GEORADAR y Sísmica. Esta información fue validada con los trabajos de campo, permitiendo disminuir los volúmenes inicialmente planificados, sin disminuir con ello la calidad de la investigación.

ABSTRACT

In the investigations of these hydrotechnical constructions that are part of the "Trasvase Este-Oeste", initially we started from the topographical digital maps to scale 1:10000 hired GEOCUBA, the detailed topographical works carried out by the same institution in Seboruquito and for RAUDAL in Guayabo, as well as the digital geologic map to scale 1:100000 elaborated by the IGP of the MINBAS. These maps were redefined, rescaled, exported the layers of the level curves and other limits to formats with extension .dxf and their conversion to files with extension .xyz, initial information for the creation of the digital models of the land (DML) and their three-dimensional representation. The importance of having the DML of the investigated zones and areas, is in firstly, for its use like raster image in the geologic interpretation, since the obtained images of the relief, replace the deficit of air pictures with the necessary quality, also that they overcome these for not having the influence of the human activity and of the vegetation, constituting very similar images to those of the type RADAR of little penetration.

Superimposing to the DML the geologic and geophysics digital information, and the data of the geologic cartography, the maps and geologic profiles were made to the different working scales for the zones and study areas.

The geophysical methods used were EVS, varying Wenner Electric Tomography, GEORADAR and Seismic. This information was validated with the field works, allowing decreasing the initially planned volumes, without diminishing with it the quality of the investigation.

INTRODUCCIÓN.

La intensa sequía que ha afectado durante años la parte occidental de la provincia Holguín, así como a las provincias Las Tunas y Camagüey, llevó a la máxima dirección del país a tomar la decisión a fines de la década del 80 y principios del 90 a reactivar algunas grandes obras hidráulicas concebidas desde principios de los años 70, lo que se conoció como *el rescate de la voluntad hidráulica* y acoplarlas al gran complejo hidráulico que representaba el denominado *Trasvase Este-Oeste*, que incluía presas, túneles, canales y otras obras auxiliares. Sin embargo esta gran obra tuvo que ser pospuesta por el derrumbe del campo socialista y la entrada del país en el llamado *período especial*, por algo más de 10 años; pero la reanimación económica que se produjo en los últimos años, permitió que el país saliera de esta situación y por tanto se pensara de nuevo en esta gigantesca obra hidráulica, ya que los rigores de la sequía se incrementaban, haciendo sumamente difícil la situación en el país, fundamentalmente en las provincias mencionadas y sus cabeceras. Era un reto que se planteaba para los trabajadores hidráulicos, los cuales con un mínimo de recursos se enfrascaron en dar soluciones a esta gran obra.

El trabajo recoge dos ejemplos de solución ante la escasez de recursos y cómo se ha optimizado en las investigaciones ingeniero-geológicas de estas presas, para que sus proyectos no se detuvieran. Señala los métodos geofísicos y las técnicas digitales utilizadas en las investigaciones ingeniero-geológicas de las presas Seboruquito y Guayabo, que permitieron optimizar los trabajos de campo y gabinete.

En las investigaciones para estas obras hidrotécnicas, inicialmente se partió de los mapas digitales topográficos a escala 1:10000 contratados a GEOCUBA, los levantamientos topográficos detallados realizados por GEOCUBA en Seboruquito y por RAUDAL en Guayabo, así como el mapa geológico digital a escala 1:100000 elaborado por el IGP del MINBAS. Estos mapas fueron reprocesados, reescalados, exportadas las capas de las curvas de nivel y otros límites a formatos con extensión .dxf y su conversión a ficheros con extensión .xyz, información de partida para la creación de los modelos digitales o numéricos del terreno (MDT) y su representación tridimensional. Es importante tener los MDT de las zonas y áreas investigadas para su utilización como imagen ráster en la interpretación geológica, ya que las imágenes obtenidas del relieve, suplen el déficit de fotos aéreas con la calidad necesaria, además que las superan por no tener la influencia de la actividad antrópica y de la vegetación, constituyendo en sí imágenes muy parecidas a las del tipo RADAR de poca penetración, y permiten la representación del relieve y de la información geológica en 3D, realizar perfiles topográficos y geológicos de forma automática, solamente dando los puntos extremos de la dirección deseada.

Los métodos geofísicos utilizados fueron Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), Tomografía Eléctrica variante Wenner, GEORADAR y Sísmica. Esta información fue validada con los trabajos de campo, permitiendo disminuir los volúmenes inicialmente planificados, sin disminuir con ello la calidad de la investigación. En Guayabo estos métodos condujeron a aumentar algunos volúmenes de trabajo, pues advirtieron la posibilidad de existencia de fenómenos geológicos que pondrían en peligro la obra. Los trabajos de perforación ejecutados corroboraron las predicciones de los métodos geofísicos y en lugar de una presa en Guayabo se decidió la construcción de un puente canal, y en Seboruquito se definía con precisión la zona de falla que provocaba altas filtraciones, recomendándose el área donde se realizarían las inyecciones de cemento que solucionarían el problema.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Trabajos preliminares.

Una vez recibida la documentación previa (Tarea Técnica con planos digitales auxiliares) con las principales características técnicas de las obras y los trabajos solicitados, se efectuó el primer control de calidad y se confeccionaron los Programas de Investigaciones, para ello se hizo una búsqueda, recopilación y procesamiento de la información primaria, análisis de las cartas topográficas y geológicas en formato digital, realizadas por GEOCUBA y el IGP, respectivamente (AutoCadMap 2000). Con las cartas topográficas digitales, se confeccionó el Modelo Digital o numérico del Terreno (MDT), el que se empleó como imagen ráster en la interpretación geológica, ya que el relieve como imagen, es equivalente a una foto radar de baja penetración y con él se ajustaron los contactos del mapa geológico digital a la escala de trabajo, y se trazaron algunas de las fallas más importantes presentes en las respectivas zonas de trabajo, permitiendo aclarar el cuadro geológico para esta etapa de la investigación ingeniero-geológica. Se realizaron, en conjunto con los proyectistas, visitas a las obras. Para las investigaciones se emplearon las normas ramales y los procedimientos establecidos por RAUDAL.

Trabajos Topográficos.

La topografía de Seboruquito fue realizada por GEOCUBA y la de Guayabo por RAUDAL, brindándose una planta a escala 1:1000 que representa el relieve del cierre, del aliviadero y del desagüe de fondo, además de los tres perfiles del cierre a escala horizontal 1:1000 y vertical 1:200. No llegó a los investigadores los perfiles topográficos del aliviadero y del desagüe de fondo de Guayabo, por lo que se confeccionaron usando el Modelo Digital del Terreno, realizado para estas obras de las plantas topográficas antes mencionadas y ajustando los perfiles así obtenidos, con los resultados de los perfiles central, derecho e izquierdo.

Levantamiento Ingeniero-Geológico.

En las zonas de las presas Seboruquito y Guayabo se realizó por el *método de las marchas rutas* en una superficie de 4.00 y 20.70 km² respectivamente, a escala 1:10000; en la cortina y demás objetos de obra, se levantó a escala 1:1000, describiéndose detalladamente los puntos de afloramientos, teniendo en cuenta los estratos permeables, fenómenos físico-geológicos, localización y evaluación de fallas, evaluación de la impermeabilidad de la base y márgenes, también se determinaron los elementos hidrogeológicos de importancia que ayudaron a esclarecer la hidrogeología de las zonas y áreas de estudio.

Trabajos Geofísicos.

Se subcontrataron a la Empresa Geominera de Oriente, que con el estudio de las características geológicas del área que se conocían hasta el momento, les permitió diseñar un eficiente complejo de investigaciones geofísicas para resolver los problemas planteados. Se ejecutaron los siguientes métodos y variantes: 1) Métodos Eléctricos en corriente continua en las variantes: Tomografía Eléctrica variante Wenner (TE) y Sondeo Eléctrico Vertical (SEV); 2) Métodos Electromagnéticos: Perfilaje con Georadar (GPR); y 3) Métodos Sísmicos: Perfilaje Sísmico de Refracción.

Sondeo Eléctrico Vertical (SEV):

Los trabajos de campo de georesistividad, se ejecutaron con el equipo SARIS (Scintrex Automated Resistivity Imaging System) fabricado en Canadá, con un paso de medición de 40 m, en perfiles georeferenciados. Se midieron 28 puntos con un AB máximo de 500 m.

Tomografía Eléctrica variante Wenner (TE):

Se realizó con un dispositivo inicial de AMNB, con distancia entre todos sus electrodos de 5 m (dispositivo WENNER) e incrementos de $a = 5$ m. Esta variante se ejecutó en el perfil central. Se utiliza para las mediciones de campo la misma tecnología empleada para la variante SEV.

Perfilaje con Georadar (GPR):

Se realizaron mediciones por 3 líneas con paso de medición de un metro, con el empleo de la antena de 50 MHz. El equipo utilizado para las mediciones de campo fue el Sistema Ramac GPR TM, de la firma MALA GEOCIENS, de nacionalidad sueca.

Perfilaje Sísmico de Refracción:

Como su nombre lo indica el método sísmico fue el de onda refractada en el medio natural, usándose para esto un equipo de factura sueca marca Terralog de 12 canales. Todo el procesamiento de la información primaria se realizó a través de software profesionales propios de la especialidad.

Los métodos geofísicos permitieron delimitar fronteras geológicas, estructuras, límites de los niveles de meteorización, que unido a los trabajos de campo y de laboratorio, permitieron obtener el cuadro ingeniero-geológico de las áreas de estudio.

Accesos y Plataformas.

Durante el proceso de investigación de los túneles en los años 90 se construyeron accesos y plataformas en el área donde están ubicadas las calas, los cuales por el tiempo transcurrido se han destruido parcial o totalmente. En la Presa Guayabo se hicieron 250 m de caminos de acceso y 11 plataformas de 80 m² cada una para el emplazamiento de las máquinas perforadoras, y en Seboruquito se hicieron 300 m de caminos y 6 plataformas con las mismas dimensiones.

Trabajos de Perforación.

El método usado fue el de *perforación rotaria con selección de testigos* en los principales objetos de obra, así como el método de *perforación con barrena helicoidal* para las calicatas que se hicieron en los préstamos de arcilla con el uso del camión barrenador. Como líquido de perforación en rocas, se empleó agua y en los casos que fue posible, fundamentalmente las calas que se perforaron en los préstamos de arcilla, no se usó líquido de perforación para no alterar la humedad natural de las muestras tomadas. Los diámetros empleados fueron 146, 127, 108 y 89 mm. Las categorías de perforación encontradas fueron A, B, C y D.

<u>Calas o Calicatas /metros</u>	<u>Plan</u>	<u>Real</u>
Calas.	22/475	31/443.4
Calicatas.	40/120	25/69.8
Total.	62/595	56/512.2

Si se analiza lo planificado y realizado, parece que hubo poco ahorro en perforación, pero no fue así, ya que para agilizar los trabajos que se realizaban en el Trasvase Este-Oeste, en que el único camión barrenador existente se encontraba comprometido, se decidió a propuesta de los investigadores y con aprobación de la Empresa, la sustitución de calicatas por calas en los préstamos donde las categorías de perforabilidad son bajas y donde son sumamente altas (principales objetos de obra), realmente se produjo una disminución significativa de los volúmenes de perforación, pues del Plan: 22 calas/475 m se hizo un Real: 15 calas/389.2 m.

En las investigaciones en Guayabo los métodos geofísicos empleados detectaron áreas anómalas en el perfil central, acordándose en el Consejo Técnico no reducir las calas programadas y se orientó aumentar los metros perforados en más de 94 para definir el fenómeno, el que resultó ser un amplio desarrollo cavernario que invalidó la obra aún antes de concluir el informe ingeniero-geológico, lo que agilizó la toma de decisiones y sustituir la presa por un puente canal.

Trabajos Hidrogeológicos.

Se realizaron para obtener los datos e información necesaria sobre las condiciones hidrogeológicas de las zonas. Dentro de ellos, las pruebas hidrogeológicas fundamentalmente inyección en calas, vertimientos y cubeteos; también están las mediciones de los niveles en las calas, realizándose en cada cala una medición al destaparla y otra al concluirla, dejándose preparadas para mediciones sistemáticas de los niveles. Se realizaron en ambas obras las siguientes pruebas hidrogeológicas:

Pruebas	Plan	Real
Vertimientos.	14	15
Cubeteos	20	5
Pruebas de inyección	51	58
Total	85	78

Para el cálculo de los Coeficientes de Filtración (Kf), se usó el programa FILTRAC.

Cálculo de las Pérdidas por filtración.

Para este análisis, se consultó el Instructivo de la ENIA # 6 de Holguín: Pérdidas por Filtración en Obras Hidrotécnicas, y para el cálculo se empleó el programa PERDIDAS. Según las características ingeniero-geológicas e hidrogeológicas de las áreas y zonas de los trabajos, se analizaron las pérdidas por debajo de la cortina, por el hombro izquierdo para Seboruquito y Guayabo, así como por el hombro derecho sólo para Guayabo y hacia valles vecinos sólo para Seboruquito. Se analizó que en cada caso, no hay tramos específicos.

Muestreo.

Durante el levantamiento geológico, se tomaron muestras de rocas cuando en el campo se hacía difícil su identificación, para hacerlo en el gabinete o para enviarlas a un laboratorio de petrografía.

Durante la perforación, en la cortina, según la litología presente en profundidad, sólo se tomaron muestras semialteradas de rocas para su identificación y determinación de su resistencia.

En la zona de los préstamos se tomaron muestras alteradas y semialteradas para su estudio como material de construcción. En cuanto a éstos, se puntualizó en la búsqueda de arcilla, materia prima deficitaria en la zona e importante para la construcción de los núcleos impermeables de las presas. Se estudió el préstamo La Pedrona para las presas Seboruquito y Guayabo, y los préstamos La Esperanza y Monte Verde, por la cercanía de estos últimos a las respectivas obras.

Cantidad total de muestras planificadas y tomadas.

<u>Tipos de muestras.</u>	<u>Plan</u>	<u>Real</u>
Alteradas (sacos).	140	58
Semialteradas (pomos)	120	66

Inalteradas (shelbys)	20	0
Monolitos o testigos.	0	11
Total.	280	135

Trabajos de Laboratorio.

<u>Análisis de Agua. Ensayos.</u>	<u>Plan</u>	<u>Real</u>
Agresividad	20	5
Análisis Químico Completo	20	5
Total	40	10

De las 20 muestras programadas, se tomaron sólo 5, teniendo en cuenta los abundantes datos encontrados en la búsqueda bibliográfica y a decisiones tomadas por los resultados parciales que invalidaban la obra en Guayabo.

Mecánica de Suelos y Rocas

<u>Ensayos</u>	<u>Plan</u>	<u>Real</u>
- Densidad natural.	110	44
- Densidad máxima, mínima y relativa.	10	2
- Humedad natural.	110	65
- Granulometría.	80	57
- Hidrómetro.	80	55
- Límite.	80	55
- Peso específico.	88	71
- Resistencia a la compresión seca.	20	6
- Resistencia a la compresión saturada.	20	0
- Adsorción.	20	0
- Próctor Estándar.	70	55
- Próctor Modificado.	48	2
- Permeabilidad.	20	40
- Cortante lento.	24	70
- Consolidación.	0	28
- Hinchamiento libre.	16	40
- Hinchamiento controlado.	16	40
- Triaxial.	20	0
- Axial de roca	20	18
Total de ensayos	852	648

Trabajos de Gabinete.

Todos los trabajos mencionados arrojaron un volumen de información con que se elaboraron los informes técnicos correspondientes para cada obra, dando respuesta en lo fundamental a lo solicitado en las Tareas Técnicas y a lo planificado en los Programas de Investigaciones.

El trabajo de gabinete comenzó con la recopilación de materiales de archivo y la creación de mapas y modelos digitales. Se realizó la interpretación del MDT y de los Modelos Morfométricos derivados, con los que se sacaron conclusiones geomorfológicas y morfoestructurales, que junto a los resultados geofísicos, aportaron datos para la determinación de la estructura geológica.

El peso fundamental de estos trabajos estuvo con los datos de campo y los resultados de laboratorio. Durante esta etapa se elaboraron la mayoría de los anexos gráficos. En la cartografía se utilizaron el AutoCadMap 2000, SURFER 8 y EXCEL (Figuras 1 a 16).

RESULTADOS.

Con los métodos utilizados se detectó en el cierre de Seboruquito una zona de falla por el hombro izquierdo paralelo a éste que con las perforaciones se corroboró y localizó una zona de fuga de agua, fenómeno acotado por el conjunto de métodos utilizados y se solucionará con inyecciones en ese sector. Se detectaron otras fallas que no significan pérdidas importantes de los volúmenes a embalsar (Figuras 3 y 8).

En Guayabo se detectó por geofísica primero y corroborado por la perforación, una zona de alta cavernosidad cársica, llegando a cortar algunas calas cavernas de más de 3 m de altura fundamentalmente en el hombro derecho, mientras en el izquierdo estas cavernas no son tan amplias pero sí numerosas (Figuras 4, 7, 9 y 11).

En los préstamos investigados, los resultados de laboratorio y procesamiento geotécnico invalidan estos materiales por su alto hinchamiento y baja resistencia, por ello el diseño debe buscar otras soluciones que satisfagan la ejecución de las obras con el mínimo costo posible (Figuras 14, 15 y 16).

DISCUSIÓN

Ubicación geográfica.

La Presa Seboruquito se ubica a unos 5 km al S de la ciudad de Mayarí, en el río homónimo, afluente del Mayarí, aledaña a la Presa Melones en el río Mayarí. La zona a investigar está entre las coordenadas Lambert X_1 : 619 500, X_2 : 621 850 y Y_1 : 216 000, Y_2 : 218 050, y el área de los principales objetos de obra está entre las coordenadas X_1 : 620 575, X_2 : 620 935 y Y_1 : 216 860, Y_2 : 217 195 (Figura 1).

La Presa Guayabo se ubica a unos 5 km al SO de la ciudad de Mayarí, en el río homónimo, afluente del Mayarí. La zona a investigar está entre las coordenadas Lambert X_1 : 612 909, X_2 : 617 413 y Y_1 : 214 745, Y_2 : 219 385, y el área de los principales objetos de obra está entre las coordenadas X_1 : 616 500, X_2 : 617 100 y Y_1 : 218 050, Y_2 : 218 570 (Figura 1).

Relieve:

Las zonas de estudio se ubican en la zona premontañosa al N de la Meseta de Pinares de Mayarí, que forma parte de la Sierra de Nipe. Al S el relieve es abrupto con cotas de unos 250 m en Seboruquito y mayores a 450 m en Guayabo; y al N el relieve es colinoso a ondulado con cotas inferiores a 35-40 m. En el N las pendientes son generalmente suaves y hacia el S son abruptas. Esta es la zona de enlace premontañosa de la Meseta de Pinares de Mayarí con el amplio valle fluvial desarrollado por el río homónimo y las llanuras del N.

Hidrografía:

En la región la principal arteria fluvial la constituye el río Mayarí con sus afluentes, entre ellos los ríos Guayabo y Seboruquito, y los arroyos Pontezuelo, Enmedio y Esperanza.

Características geológicas de la zona.

Estratigrafía.

Las secuencias litoestratigráficas presentes en la zona o muy próxima a esta son: Rocas de la Asociación Ofiolítica representadas en los embalses por peridotitas serpentinizadas y cuerpos de gabro-diabasas asociados, la Fm Mucaral representada por margas, tufitas y calizas fundamentalmente, la Fm Bitirí representada por calizas brechosas masivas fundamentalmente y depósitos aluviales temporales de poco espesor en los ríos Seboruquito y Guayabo.

- **Asociación Ofiolítica (J?-K₁)**

Las rocas típicas de la Asociación Ofiolítica, pertenecientes a la cuenca de retroarco del arco de islas Cretácico, están ampliamente representadas en toda la Región Nipe-Cristal-Baracoa, formando parte del macizo montañoso Sierra de Nipe. El 59-60 % de la superficie de la zona de estudio está constituida por rocas de la Asociación Ofiolítica, con gran desarrollo de las secuencias ultramáficas serpentinizadas, seguida de las máficas representadas por los cuerpos de gabro-diabasas. Su espesor estimado es de unos 1500 m y su edad está entre el Jurásico Superior (?) al Cretácico Inferior, siendo su emplazamiento tectónico (obducción) entre el Cretácico Superior (Campaniano) y el Paleoceno Inferior.

a. Peridotitas:

Son rocas ultramáficas con diferente grado de serpentización, dentro de ellas harzburgitas, lherzolitas y dunitas en menor cantidad, pueden aparecer algunos cuerpos de serpentinitas esquistosas y brechosas relacionadas con los planos de escamas tectónicas. Los colores de estas secuencias fluctúan desde el negro verdoso al verde olivo, muchas veces abigarrado. Son las rocas más duras después de los gabroides, siendo su resistencia solamente disminuida, en algunos casos, por su grado de agrietamiento tectónico, porque en otros casos los tipos de rellenos de las grietas, fundamentalmente el silíceo, le da a estas rocas aún mayor dureza.

b. Gabro-diabasas:

Esta secuencia está imbuida tectónicamente dentro de escamas tectónicas en la Asociación Ofiolítica, representada por gabros microcristalinos y diabasas criptocristalinas de color gris-negro metálico, de la más alta dureza dentro de todos los conjuntos rocosos de la zona investigada, con grietas muchas veces rellenas de cuarzo lechoso que le da aún mayor dureza. Afloran en toda la obra, en intercalaciones dentro de las ultramafitas en contactos casi siempre tectónicos, aunque en dos puntos del levantamiento ingeniero-geológico donde se describió un dique de este tipo de rocas, se comprobó su contacto caliente, con una pequeña aureola de color rojizo de apariencia vítrea en el techo y el piso del cuerpo, que evidencia calcinación (Puntos A.1.10 y A.1.11).

- **Formación Mucaral (mcl e₅ –e₆)**

Representada por margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, conglomerados polimícticos, limonitas, tufitas y tobas. Su dureza es media a baja, más dura en las calizas de la formación como las descritas en la cantera Piedra Gorda y baja en las tufitas y margas como las que aparecen fuera de la zona en Piedra Gorda en los cortes realizados para el

Transportador de Mineral y en Monte Verde en la zona del eje de la Presa Guayabo. En la zona, en superficie, sólo se describen calizas recrystalizadas, arcillosas y margas, yaciendo, al parecer, discordantemente sobre las rocas de la Asociación Ofiolítica y está cubierta de la misma forma por las secuencias del Gr Nipe (Formaciones Bitirí y Camazán). En algunos lugares el contacto con otras secuencias es tectónico. En la zona aflora en toda la parte centro y N, es el segundo conjunto en extensión después de la Asociación Ofiolítica, representando aproximadamente el 35 % de su superficie, alcanzando una potencia en el perfil de hasta 65 m y su edad es Eoceno Inferior (parte alta) al Eoceno Medio (parte baja).

- **Formación Bitirí (bt e₈ –n₁)**

Representada por calizas algáceas de matriz fina, duras, compactas, carsificadas, que contienen ocasionalmente fragmentos de corales y grandes *Lepidocyclinas*. Color amarillo-grisáceo a carmelitoso. En la zona aflora en dos pequeños parches en los extremos NE y NO, representa aproximadamente el 4 % de su superficie, presentándose por lo general brechosa y en la parte baja se describe un paraconglomerado con bloques de ultramafitas y gabro-diabasas con matriz carbonatada recrystalizada que constituye el conglomerado basal de la formación, yaciendo discordantemente sobre la Fm Mucaral y cubierta de la misma forma por la cobertura aluvial cuaternaria casi inexistente en la zona. Lateralmente transiciona a las calizas algáceas de la Fm Camazán, aunque su contacto en este caso para la zona de estudio es tectónico. Alcanza una potencia de 40-60 m y su edad es Oligoceno Superior al Mioceno Inferior.

- **Formación Camazán (cz e₈ –n₁)**

Representada por calizas coralino-algáceas (biolititas), calizas biodetríticas a veces arcillosas, calcarenitas, calciruditas, limolitas calcáreas, con intercalaciones de margas y arcillas, ocasionalmente yesíferas, coloración variable, amarillo, crema, carmelita y gris. Su dureza es media a baja, superior en las calizas menos arcillosas y baja en las margas y arcillas. Yace discordantemente sobre la Fm Mucaral y las rocas de la Asociación Ofiolítica, está cubierta concordantemente por la Fm Río Jagüeyes fuera de la zona y transiciona lateralmente a la Fm Birití, aunque en superficie en la zona, su contacto con esta formación es tectónico. Aflora en forma de un pequeño parche en el extremo NO de la zona, representando el 2 % de su superficie. Su potencia oscila entre 440 y 800 m, según datos de pozos, en la zona su espesor no supera los 40 m según el perfil construido y su edad es Oligoceno Superior al Mioceno Inferior.

- **Depósitos aluviales (al Q₂)**

Están representados en los ríos Seboruquito y Guayabo por depósitos temporales areno-gravosos con cantos y bloques de gabro, peridotita serpentinizada y caliza de hasta más de 1 m de diámetro. La edad de estos depósitos es Holoceno o Reciente. A la escala de los planos no es cartografiable.

Magmatismo.

Las principales rocas magmáticas en la zona son las diferentes variedades de peridotitas vistas con anterioridad y los cuerpos de gabro-diabasas. Según Iturralde, estas rocas pertenecen a las Ofiolitas Septentrionales, formadas en una corteza oceánica de retroarco, en cámaras magmáticas en forma de cúmulos ultramáficos y máficos. Los cuerpos de gabro-diabasas, aunque en su mayoría hoy se encuentran en contacto tectónico con las ultramafitas, fueron diques hipoabisales que cortaron a las ultramafitas. Pudieran estar vinculados al Complejo de Diques Paralelos de la Asociación Ofiolítica. En la zona no existen evidencias de un magmatismo efusivo (Figuras 3 y 4).

Tectónica.

La tectónica de la zona es sumamente compleja, estando representada por estructuras disyuntivas de diferentes tipos, magnitudes y edades, estructuras plicativas poco visibles, pero existentes y discordancias estructurales que permiten la división en pisos muy bien definidos, el piso inferior o basamento, donde están las rocas de la Asociación Ofiolítica, intensamente tectonizado, el piso superior o neoplatafórmico, donde afloran las secuencias terciarias y cuaternarias, menos dislocado, aunque sí levantado por los movimientos neotectónicos. Este piso puede subdividirse en dos subpisos, el más antiguo formado por las rocas de la Fm Mucaral, más dislocado que el superior representado por las formaciones Bitirí y Camazán del Gr Nipe. Las principales fallas tectónicas post terciarias tienen dirección predominante NO-SE y NE-SO, afectando a todos los conjuntos rocosos, y las terciarias y anteriores, están representadas por escamas tectónicas y mantos de sobrecorrimientos relacionados con el emplazamiento tectónico de las ofiolitas, representadas en los perfiles geológicos (Figuras 3 y 4).

Metamorfismo.

El metamorfismo más difundido en la zona es el autometamorfismo de las peridotitas y su transformación en peridotitas serpentinizadas y serpentinitas. Este proceso ocurre durante el proceso de formación de estas rocas en un ambiente físico-químico favorable. Es común observar un metamorfismo de presión, provocado en los planos de fallas, fundamentalmente en los planos de los mantos de sobrecorrimiento. En estos planos se pueden encontrar milonitas, brechas tectónicas, serpentinitas esquistosas y minerales típicos de estos procesos y en estos tipos de rocas como, sericita, talco, clorita, crisotilo, etc.

Geomorfología.

La zona de estudio se ubica en las estribaciones premontañosas de la Sierra de Nipe, donde los ríos están encajonados en forma de V, lo que evidencia que son ríos de montañas, jóvenes, subsecuentes con respecto a la estructura geológica, que no han alcanzado su perfil de equilibrio y donde predomina la erosión de fondo y la erosión remontante sobre la erosión lateral. La disección vertical es alta y la horizontal es baja, por lo que las pendientes son de la misma forma altas. Estas pendientes al norte son inferiores a los 30°, hacia el centro y S superan esta cifra, pudiendo llegar a los 45° coincidiendo con zonas de fallas geológicas. En sentido general existe una correspondencia directa entre el relieve, la estructura geológica y la litología. En el Mapa Hipsométrico y el Bloque Diagrama de las zonas de estudio, se pueden apreciar estas características (Figura 2).

Fenómenos y procesos físico-geológicos.

Dentro de éstos en las zonas investigadas se han podido caracterizar los siguientes: meteorización, erosión, deslizamientos, derrumbes, deposición de sedimentos, carso, tectonismo y sismicidad. Son significativos para Seboruquito: erosión, deslizamientos y derrumbes; y en Guayabo predominará fundamentalmente hacia el cierre investigado el carso.

Condiciones hidrogeológicas.

Las zonas de estudio son, en sentido general, pobres en aguas subterráneas, debido a la poca permeabilidad de las rocas, las aguas que predominan son de fisuras y grietas, dependiendo la permeabilidad del grado de alteración y agrietamiento del macizo, donde en ocasiones las rocas presentan baja permeabilidad, siendo mayor solamente en las rocas muy agrietadas. En la zona

ocurren abundantes precipitaciones por ello los ríos Seboruquito y Guayabo corren permanentemente, aún en época de seca.

Según Selivanov-Díaz (1978) en el Informe sobre las condiciones ingeniero-geológicas del Hidroconjunto "Melones" en el río Mayarí, se tiene que: 1) La distribución de las precipitaciones por temporadas no es uniforme, la mayor cantidad cae en octubre-noviembre y en abril-julio; 2) Los ríos de la región descrita en el periodo seco se alimentan con el drenaje de las aguas subterráneas y sus gastos caracterizan a la magnitud del escurrimiento subterráneo; 3) La cantidad de precipitaciones atmosféricas es moderada y aumenta de la zona premontañosa a la montañosa; y 4) Las aguas subterráneas son drenadas por el río Mayarí y sus afluentes (entre ellos el río Seboruquito).

En las zonas investigadas existen tres tipos de aguas subterráneas: 1) Aguas intersticiales de los depósitos friables aluviales areno-arcillosos; 2) Aguas fisurales de las rocas madres de composición básica y ultrabásica; y 3) Aguas estrato-fisurales de rocas areno-carbonatadas, calizas, margas y areniscas de edad paleogénica.

Condiciones ingeniero-geológicas.

El cierre de la presa Seboruquito está sobre peridotitas serpentinizadas y gabros en contacto tectónico, y el de la presa Guayabo sobre conglomerado-brecha carbonatado y calizas. Durante los levantamientos ingeniero-geológicos de las áreas investigadas, la descripción de los testigos de perforación y el análisis de la información geofísica, se detectaron las siguientes litologías que identifican las capas ingeniero-geológicas: Capa 1. Rocas meteorizadas; Capa 2. Peridotitas serpentinizadas; Capa 3. Gabro-diabasas y peridotitas sin serpentinar; y Capa 4. Calizas conglomerático-brechosas. Las capas 1, 2 y 3 aparecen en el cierre de la presa Seboruquito, mientras que la capa 4 aparece muy cercana a éste. La capa 4 aparece en el cierre de la presa Guayabo, donde fue detectado por geofísica primero y por perforación después una gran cantidad de cavernas de origen cársico.

En el área de la presa Seboruquito, se hicieron 79 mediciones de grietas y según su representación en la falsilla de Schmidt hemisferio inferior, se obtuvieron 4 sistemas predominantes (Figura 8): 1) $174^{\circ}/57^{\circ}$, 2) $19^{\circ}/49^{\circ}$, 3) $235^{\circ}/88^{\circ}$ y 4) $292^{\circ}/68^{\circ}$. Según la dirección del eje de la presa (NO-SE), los sistemas o familias de grietas 2, 3 y 4 forman prismas de desprendimiento inestables en el hombro derecho, y los sistemas 1, 2 y 4 forman prismas de desprendimiento inestables en el hombro izquierdo, si se aumentara en ambos casos la pendiente producto a la construcción con respecto a la pendiente natural del terreno, debiéndose tener en cuenta durante el proceso constructivo. De estos sistemas, se pueden encontrar grietas rellenas con silicitas, fundamentalmente cuarzo en 1, 2 y 4, lo que haría localmente estables los prismas donde esta mineralización se halle. Las grietas rellenas con respecto a las abiertas representan sólo el 9 % del total de mediciones (7 de 79).

En el área de la presa Guayabo, se hicieron 49 mediciones de grietas, todas dentro de la capa 3 y según su representación en la falsilla de Schmidt hemisferio inferior, se obtuvieron 4 sistemas predominantes (Figura 9): 1) $346^{\circ}/29^{\circ}$, 2) $163^{\circ}/57^{\circ}$, 3) $240^{\circ}/79^{\circ}$, y 4) $331^{\circ}/75^{\circ}$. Estos sistemas se corresponden con los principales sistemas de fallas existentes en la zona: El sistema 2 con la Falla Guayabo, el sistema 4 con la falla E-O que desplaza a la Falla Guayabo cerca del cierre, el sistema 3 con las Fallas con direcciones NO-SE y el sistema 1 con corrimientos y mantos tectónicos dentro de las ofiolitas.

Cálculo de las pérdidas por filtración.

Estas pérdidas se calcularon como se explicó anteriormente. No se consideraron para Seboruquito las pérdidas por el hombro derecho y hacia el valle vecino del río Mayarí, pues éste tendrá en su valle la presa Melones cuyo nivel de aguas normales estará a mayor cota (Figuras 12 y 13).

1. Pérdidas por debajo de la cortina, que está compuesta por rocas o semirocas. Para un coeficiente de filtración promedio (Kf), excluyendo valores extremos, de 0.42 m/día para Seboruquito y de 0.331 m/día para Guayabo, las pérdidas calculadas para Seboruquito son de 500.04 m³/día o 182 600 m³/año, y para Guayabo son de 469.88 m³/día o 171 506.20 m³/año. En Guayabo las pérdidas son aún mayores, sólo que por la gran cavernosidad cársica no se pudo obtener un Kf con precisión.
2. Pérdidas por el hombro izquierdo, se consideró para Seboruquito que el *horizonte acuífero es homogéneo, de yacencia horizontal, flujo subterráneo libre y las corrientes de filtración que bordean el hombro tienen forma semielíptica*, según el tipo de circulación de las aguas, que para este caso es a través de grietas, y para Guayabo se consideró que el horizonte acuífero es homogéneo, yace horizontal, flujo subterráneo libre y condiciones hidrogeológicas sencillas. Para Seboruquito el Kf promedio calculado fue de 0.213 m/día y para Guayabo el promedio considerado fue de 0.715 m/día, las pérdidas calculadas para Seboruquito fueron de 244.43 m³/día u 89 300 m³/año como promedio, y para Guayabo de 91.21 m³/día o 33 291.65 m³/año.
3. Calculada sólo para la presa Guayabo en las pérdidas por el hombro derecho, se consideró que el horizonte acuífero es homogéneo, yace horizontal, flujo subterráneo libre y condiciones hidrogeológicas sencillas. El tipo de circulación de las aguas es a través de grietas. El Kf promedio de 1.992 m/día, las pérdidas calculadas son de 243.22 m³/día u 88 775.30 m³/año.
4. En las pérdidas hacia valles vecinos en Seboruquito, se consideró el valle del arroyo Enmedio y que las *pérdidas del embalse son constantes*, porque el sistema siempre se mantendrá lleno, que el *estrato permeable es homogéneo de potencia constante y que el flujo subterráneo es a presión*, considerando que hasta este arroyo, por encima de las rocas ultramáficas y máficas, yace discordante una capa de calizas, margas y arcillas, pertenecientes a la Fm Mucaral, que confinará al acuífero anterior (Figura 2). Considerando para este caso un Kf de 0.2 m/día según los resultados de las pruebas hidrogeológicas realizadas en el área y resultados obtenidos en estudios anteriores para este tipo de rocas, es un gasto de filtración de 298.47 m³/día o 109 000 m³/año. Para Guayabo no se calculó pues se consideró que las pérdidas por debajo de la cortina y por los hombros son muy altas lo que ya es una desventaja.

Las pérdidas totales de filtración para Seboruquito son de 1 042.94 m³/día o 380 900.00 m³/año, lo que representa al año el 34.6 % del volumen total a embalsar, y para Guayabo sin tener en cuenta las que ocurrirán hacia valles vecinos, son de más de 804.31 m³/día o 293 573.15 m³/año, lo que representa al año más del 30 % del volumen total a embalsar. En Guayabo se emplearon los resultados de filtración de las pruebas que pudieron hacerse, cuando la permeabilidad fue tan alta que no pudo conocerse con exactitud la de las rocas, no se tuvieron en cuenta para el cálculo.

CONCLUSIONES

1. En el cierre de la presa Seboruquito se detectó una zona de falla por el hombro izquierdo y paralelo a éste, que durante las perforaciones fue corroborada y localizada una zona de fuga de agua, fenómeno que podrá ser solucionado con inyecciones de cemento.

2. En el cierre de la presa Guayabo se detectó por geofísica y corroborado por la perforación una zona de alta cavernosidad cársica, que por su magnitud y dimensiones de las cavernas, hace extremadamente cara la solución por inyección de cemento; quedando por parte del diseño la búsqueda de una solución lo más viable y económica posible.
3. En el caso de los préstamos de arcillas investigados, los resultados de laboratorio y procesamiento geotécnico, invalidan a estos materiales por su alto hinchamiento y baja resistencia, por lo que el diseño debe buscar otras soluciones que satisfagan la ejecución de las obras con el mínimo costo posible.

BIBLIOGRAFÍA

- ACC, 1989: Nuevo Atlas Nacional de Cuba. C. Habana.
- ICGP, 2006: Léxico Estratigráfico de Cuba. Soporte magnético (Léxico). C. Habana.
- ICGP, 2006: Mapa Geológico de Cuba a escala 1:100000. Soporte magnético. C. Habana.
- Pupo G., J. R., 1989: Pérdidas por filtración en las obras hidrotécnicas. ENIA # 6. MICONS.
- Selivanov Y., P. Díaz, 1978: Informe sobre las condiciones ingeniero-geológicas del Hidroconjunto "Melones" en el río Mayarí. ENIA # 6, Holguín.

Principales anexos gráficos.

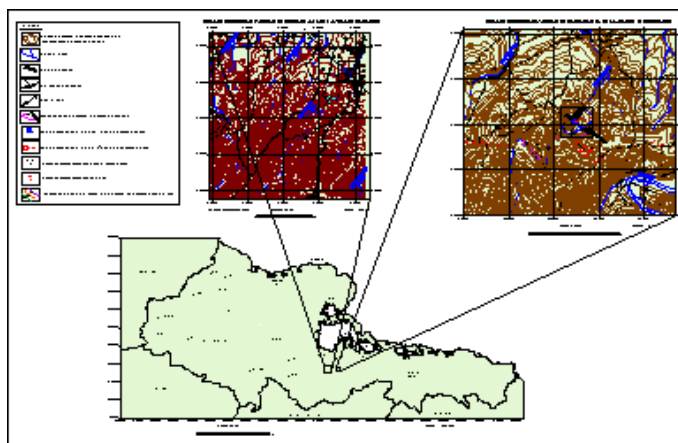


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de las presas Seboruquito y Guayabo.

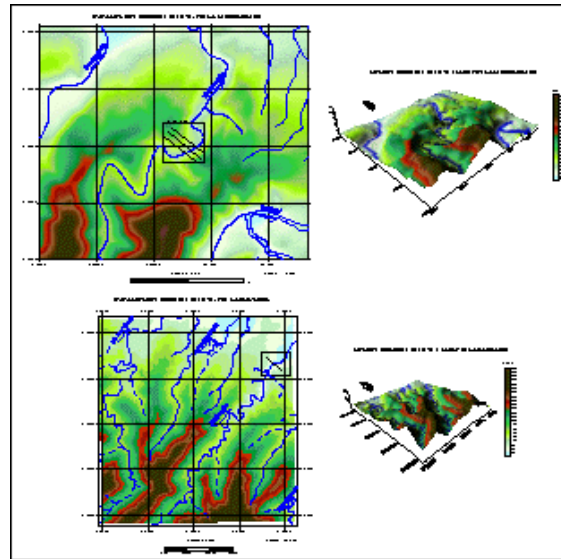


Figura 2. Mapas hipsométricos y 3D del relieve de Seboruquito y Guayabo.

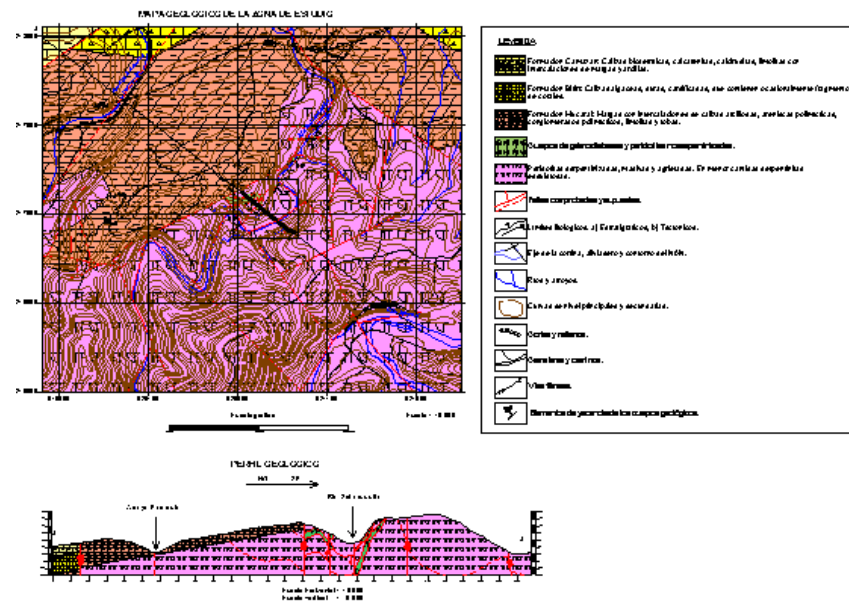
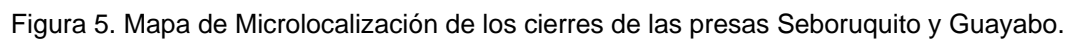
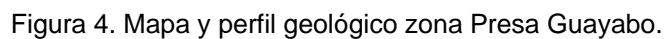


Figura 3. Mapa y perfil geológico zona Presa Seboruquito.



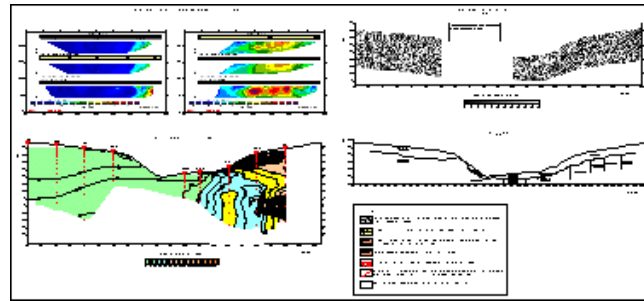


Figura 7. Resultados de los métodos geofísicos utilizados en la Presa Guayabo.

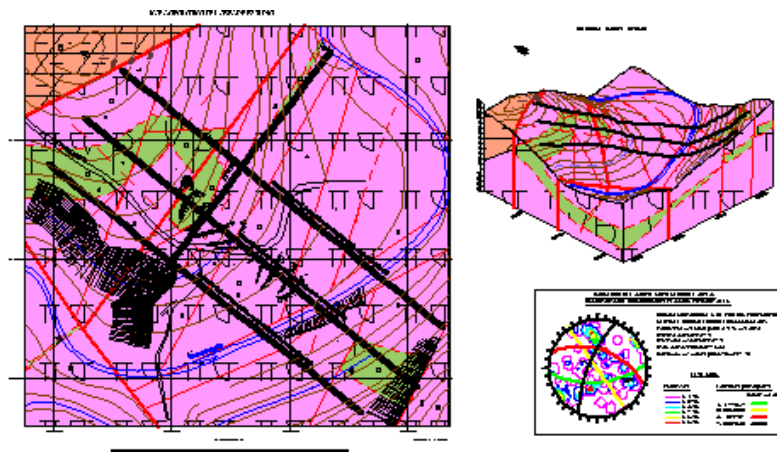


Figura 8. Mapa ingeniero-geológico, bloque isométrico y representación del agrietamiento de la Presa Seboruquito.

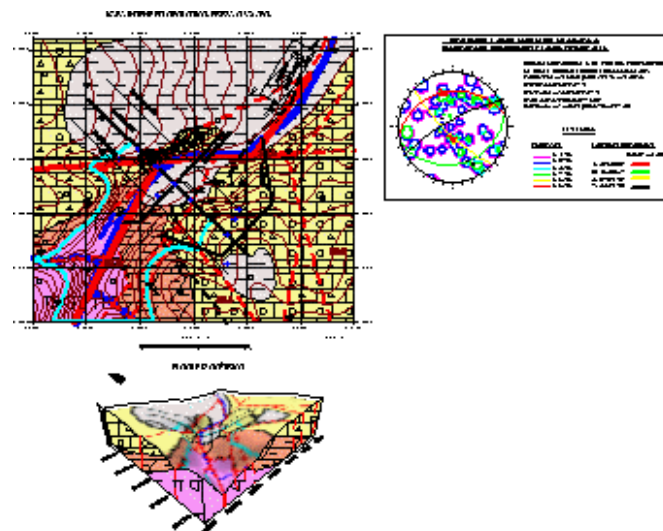


Figura 9. Mapa ingeniero-geológico, bloque isométrico y representación del agrietamiento del embalse de la Presa Guayabo.

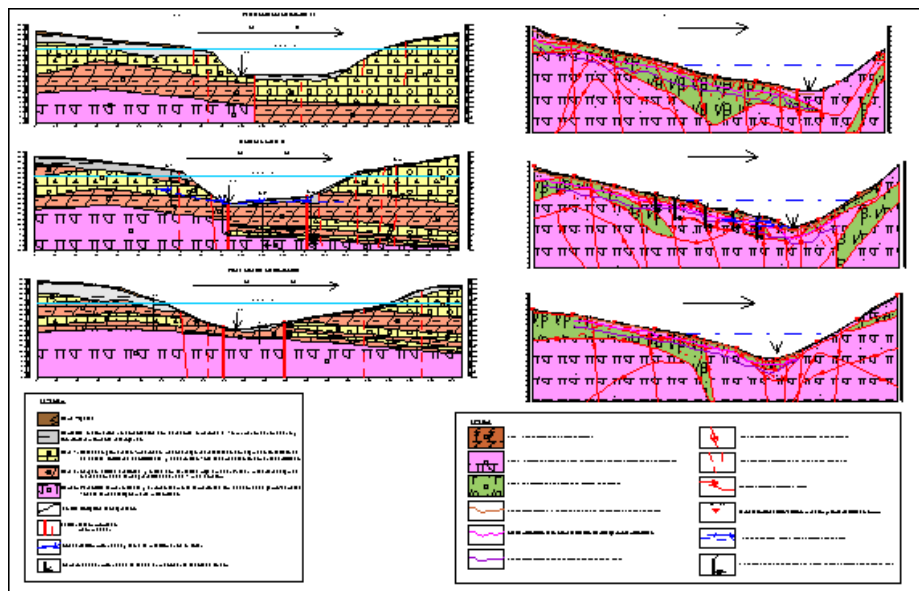


Figura 10. Perfiles ingeniero-geológicos. Presa Seborquito a la derecha, Presa Guayabo a la izquierda.





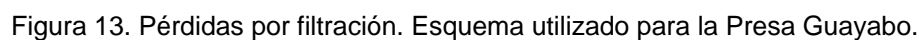
				INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRÁULICOS EMPRESA DE INVERSIÓN Y PROYECTOS HIDRÁULICOS. HOLOUÍN UNIDAD EMPRESARIAL DE BASE TECNOLÓGICA Y PERFORMANCE TALLER DE INVESTIGACIONES			
Columna Litológica							
OBRA: Tramo Este - Oeste. Presa del Tramo Melones - Asenilla. Presa Guayabo.				CALA Nº: 7	PROFUNDIDAD: 30.20 m	FECHA INICIO: 15/02/06	
COORDENADAS				EBCALA: 1200			
X: 616 881.5		Y: 2 155.4		Z: 33.30 m	NIVEL FREÁTICO: 26.00	FECHA TERMINACIÓN: 19/02/06	
ESCALA	PROF.	ESPEZOR	DIÁMETRO	SÍMBOLOS	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA		
DESDE (m)	HASTA (m)	(m)	(mm)			MUESTREO	CATEGORÍA
							RECUPER. (%)
12.0					Suelo graso-arenoso-finoso, color pardo amarillento a crema con das los de pedregal, greda-dibazas y lutitas. No presenta el estufo de la caliza conglomerada.	12.0 m	B-C 100
14.0	0.00	4.50	4.50	146			
16.0					Calizas conglomeradas y/o paraconglomerados carbonatados polimórficos, con das los subordinados a reemplazos de greda-dibazas, pedregal, ligamente serpentinizado y melo-ortizadas, lutitas y algunos das los de calizas muy recristalizadas subordinadamente. La matriz caliza, predominante, está más o menos recristalizada, con molinos, uadados y oquedades cársicas.	16.0 m	C-D 60
18.0							
20.0	4.50	11.00	6.50	146			
22.0					Calizas xistosas color crema con molinos y uadados, ligramente recristalizadas. Algunas oquedades es lin internas de aristas oscuras o rojizas, que al parecer eran das los de pedregal o lutitas muy melo-ortizadas.	22.0 m	O 20
24.0							
26.0					Entre los 13.0 y 13.5 m hubo fuga de agua y entre los 14.0 a los 15.0 m, hubo varias calizas de barrera pequeñas produciéndose una gran caliza de sde los 15.0 a los 16.4 m de los 16.4 a los 18.5 m se corrió una arista pardo rojiza, que al parecer rellena parte de la caverna de unos 3.5 m de altura en ese punto.	26.0 m	
28.0							
30.0	11.00	30.00	25.00	108			
32.0	30.00	30.20	0.20	108	Lutitas color gris verdoso, posible con lodo.	32.0 m	C 20
34.0							
OBSERVACIONES: Perforó Ramón La O.							

Figura 11. Ejemplo de columna de cala de la Presa Guayabo, donde se observa caverna cársica.



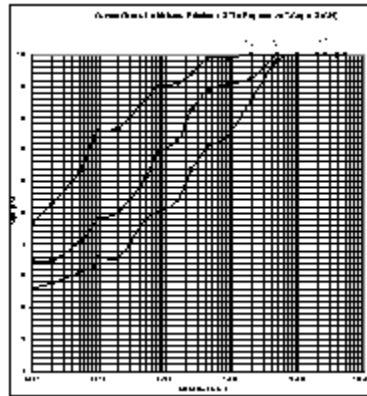


Figura 14. Ejemplo de curva granulométrica.

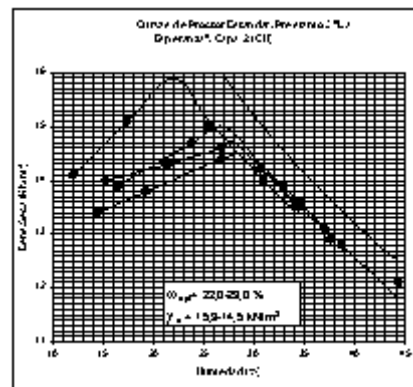
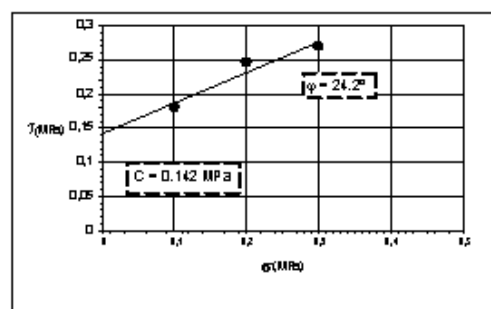
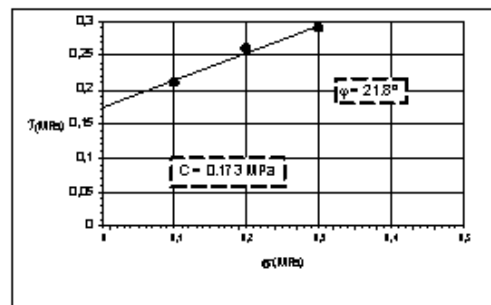


Figura 15. Ejemplo de curva del Próctor Estándar.



BASE DE DATOS BÚSQUEDA REFERATIVA: UNA HERRAMIENTA IMPRESCINDIBLE EN LA GESTIÓN DOCUMENTAL DEL ARCHIVO DE LA ONRM

Ramón Infante Escalona

Oficina Nacional de Recursos Minerales, Ave salvador Allende No. 666 entre Oquendo y Soledad, Centro Habana, Ciudad Habana.

e-mail: infante@onrm.minbas.cu

RESUMEN

El archivo técnico de la Oficina Nacional de Recursos Minerales es el área donde se conserva y administra la documentación geólogo minero petrolera que se ha generado en el país desde hace mas de 100 años. En este momento se cuenta con mas de 5000 informes, mas de 1200 proyectos, unos 2000 files de pozos de petróleo y otra documentación asociada a las anteriores. La gestión de la información contenida en estos documentos se hizo tradicionalmente mediante la localización de los mismos en forma manual, hasta que a fines de la década de los 90 se impuso la necesidad de adoptar técnicas modernas. Una de las primeras bases de datos diseñadas en la ONRM fue precisamente esta base cuyo objetivo inicial fue localizar los documentos, de ahí que se denominó "Búsqueda Referativa". Hoy día, además de contribuir decisivamente a la conservación de la documentación, representa un eslabón fundamental en la gestión del Archivo.

En el trabajo se exponen las características de esta base de datos, las experiencias en su explotación por mas de 10 años, su crecimiento, algunas estadísticas y se muestra una aplicación desarrollada en la propia oficina para la visualización en un mapa del grado de cobertura de información existente, sobre la base de un criterio de búsqueda determinado tal como área, mineral, materia, etc.

ABSTRACT

The technical archive of National Minerals Resources Office is the place designed to manage and conserve the geologic minning and oil information generated in the country for more than 100 years. Now it has over 5000 reports, 1200 projects, about 2000 files (oil holes) and other documentation. That information was driven with traditional methods until last 90. At that time the organization decided to adopt modern technics and one of the first databases designed was "Búsqueda Referativa". This database is today one of the most important tools to manage the archive documentation.

This paper exposes the main carachteristics of the database, experiences for more than 10 years, its improves, some stadistics data and put some comments about an application developed in the proper organization in order to visualizate the information based on queries designed by users.

INTRODUCCIÓN

El Archivo Técnico de la Oficina Nacional de Recursos Minerales es el custodio del patrimonio documental de la actividad geólogo-minera-petrolera de nuestro país.

Fue fundado en 1961 cumplimentando una resolución –firmada por el Che– para la creación del Centro Nacional del Fondo Geológico cuya función principal era la recuperación de toda la información geológica, minera y petrolera que estuviese dispersa en el país con el propósito de conservarla para su aprovechamiento. Sus fuentes principales fueron las compañías mineras y petroleras cubanas y extranjeras radicadas en el país, instituciones estatales y órganos de gobierno.



En él se conservan documentos producidos desde el siglo XIX hasta nuestros días atesorando una valiosísima información técnica de alto valor de uso.

La documentación está constituida fundamentalmente por informes, proyectos y pozos de petróleo. Los informes constituyen el mayor volumen y tratan sobre todo un universo de sustancias minerales (metálicas, no metálicas, aguas, petróleo) así como abarcan diferentes disciplinas de las ciencias de la tierra tales como geología, geofísica, hidrogeología, estratigrafía, paleontología, minería, etc.

El control, manejo y recuperación de los informes promovió la creación de una base de datos que facilitara estas tareas.

RESULTADOS

El diseño de una base de datos que gestionara la mas rápida recuperación de los informes fue el objetivo inicial, y como resultado se obtuvo la “Búsqueda Referativa”, nombre con el que fue bautizada la base. Posteriormente se le fueron adicionando otras prestaciones relacionadas con el control documental y aumentando la información que brinda y ya hoy día cuenta incluso con un resumen de cada documento y su descripción física.

DISCUSIÓN

Características de la base

La base de datos, de tipo relacional, fue gestada en Microsoft Access y cuenta con un total de 23 tablas y 25 formularios y subformularios. Actualmente alcanza un total de 5500 registros.

El acceso a la información se estructuró sobre la base de 3 entradas principales:

- Fichas
- Entrada de Datos de Grado de Estudio
- Libro de Entrada al Archivo

Fichas: Ofrece información sobre los datos fundamentales de los informes, número de inventario, título, autor(es), idioma, yacimiento(s), provincia(s), materia(s) prima(s), año y entidad que lo elaboró, resumen del documento, etc.

Figura 1



Fichas : Formulario

FICHA PROVINCIAS AUTORES YACIENTOS MAT. PRIMAS TEMA USO MICROFILM RESU

Inventario: Idioma: ☐ Formato Digital

Año: ☐ Base de Datos

Título:

Entidad que genera el documento:

Concesionario:

☐ pasivo

BUSCAR REGISTRO **ELIMINAR REGISTRO**

Registro: de 5459

Formulario de entrada y recuperación de los datos principales

Entrada de Datos de Grado de Estudio: Ofrece los datos correspondientes a las coordenadas por sectores y también contiene la información factográfica general del documento.

Entrada de datos de Grado de Estudio : Formulario

ENTRADA DE LOS DATOS POR SECTORES INFORMACION FACTOGRAFICA GENERAL

DATOS DE GRADO DE ESTUDIO

TITULO: ☐ PASIVO ☐ INVENTARIO:

Reporte Geológico del Anticlinal Begoña.

Sectores investigados / Yacimientos / Manifestaciones

Nombre

Coordenadas CodSector: **Cuba Norte** ☒

No de vértice	X:	Y:
1	311700	349200
2	311700	348200
3	312700	348200
4	312700	349200
5	311700	349200

Escala del mapa

Area:

Escala de investigación

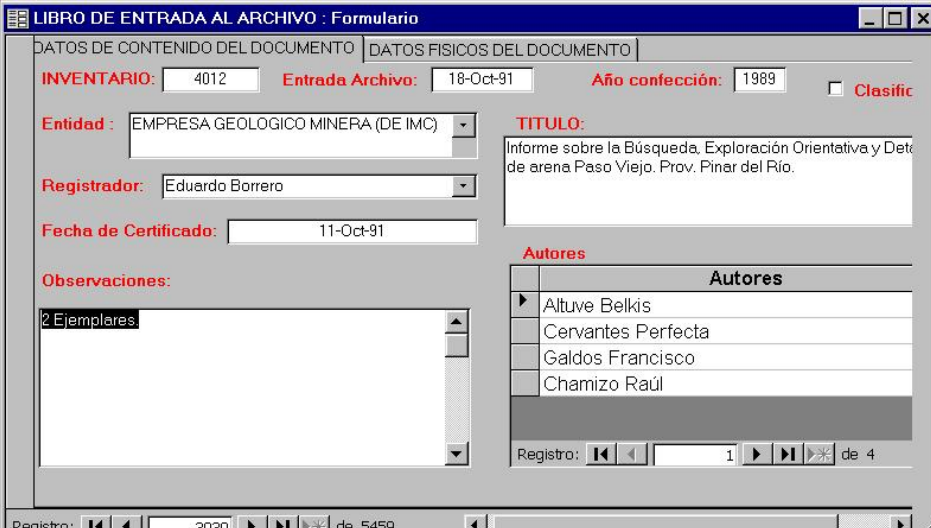
Registro: de 5

Registro: de 5459

Figura 2Formulario de entrada y recuperación de datos de grado de estudio.

Libro de Entrada al Archivo: Ofrece información sobre dos aspectos del documento, la parte relativa al contenido y la parte relativa a la descripción física. En el contenido se especifica cuando entró el documento, quien lo registró, la fecha de certificación. En la descripción física se asientan los datos de cuántos tomos, páginas, anexos, fotos y otros conforman el documento.

Figura 3



LIBRO DE ENTRADA AL ARCHIVO : Formulario

DATOS DE CONTENIDO DEL DOCUMENTO | **DATOS FISICOS DEL DOCUMENTO**

INVENTARIO: 4012 **Entrada Archivo:** 18-Oct-91 **Año confección:** 1989 ☐ **Clasific**

Entidad: EMPRESA GEOLOGICO MINERA (DE IMC)

Registrador: Eduardo Borrero

Fecha de Certificado: 11-Oct-91

Observaciones:
2 Ejemplares

TITULO:
Informe sobre la Búsqueda, Exploración Orientativa y Det de arena Paso Viejo. Prov. Pinar del Río.

Autores

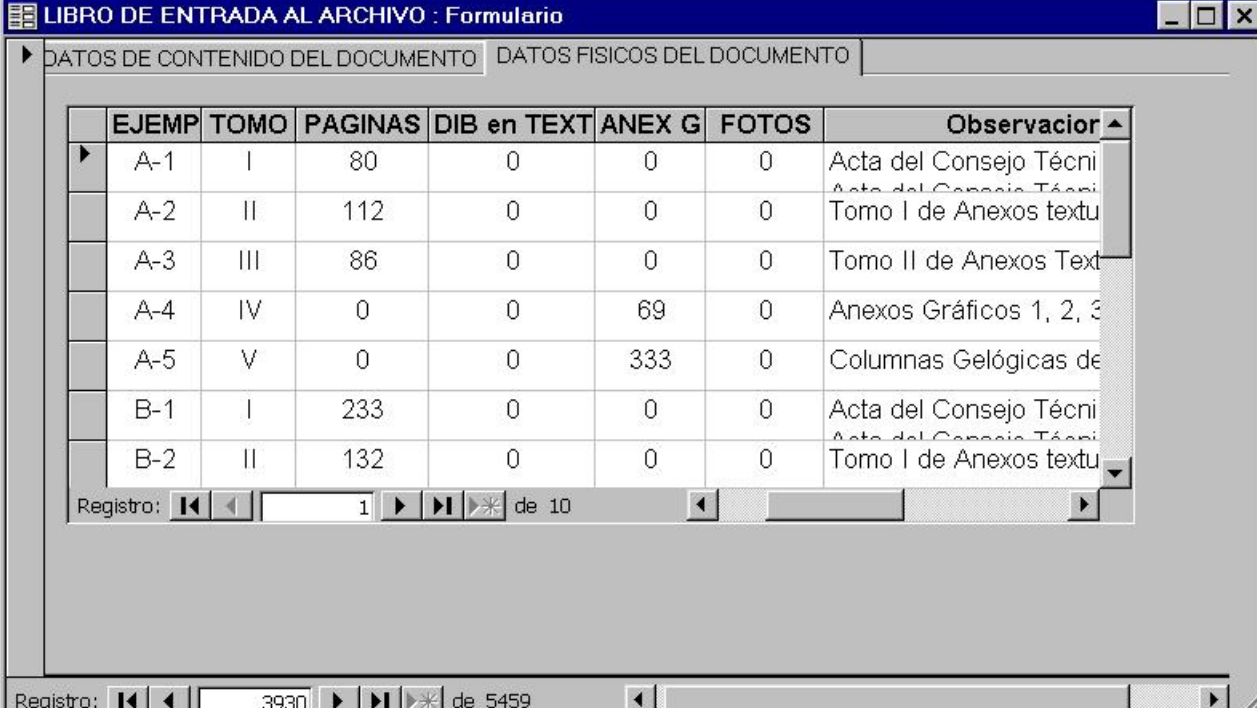
Autores
▶ Altuve Belkis
Cervantes Perfecta
Galdos Francisco
Chamizo Raúl

Registro: 1 de 4

Registro: 3930 de 5459

Datos descriptivos del documento

Figura 4



LIBRO DE ENTRADA AL ARCHIVO : Formulario

▶ **DATOS DE CONTENIDO DEL DOCUMENTO** | **DATOS FISICOS DEL DOCUMENTO**

	EJEMP	TOMO	PAGINAS	DIB en TEXT	ANEX G	FOTOS	Observaciones
▶	A-1	I	80	0	0	0	Acta del Consejo Técnico
	A-2	II	112	0	0	0	Acta del Consejo Técnico
	A-3	III	86	0	0	0	Tomo I de Anexos textu
	A-4	IV	0	0	69	0	Tomo II de Anexos Text
	A-5	V	0	0	333	0	Anexos Gráficos 1, 2, 3
	B-1	I	233	0	0	0	Columnas Geológicas de
	B-2	II	132	0	0	0	Acta del Consejo Técnico
							Acta del Consejo Técnico
							Tomo I de Anexos textu

Registro: 1 de 10

Registro: 3930 de 5459

Datos físicos del documento



Una adición importante fue el desarrollo de una aplicación en ArcView que permite realizar consultas a la base de datos para visualizar los resultados. Es decir, aprovechando la información que alberga la base sobre las coordenadas relacionadas con cada documento, es posible obtener como resultado un gráfico donde se muestran los documentos vinculados al criterio de selección. Este criterio puede ser cualquiera que se pueda expresar en una consulta, tal como materia prima, provincia, año, etc, o bien obtener un resultado a partir de un área seleccionada con el mouse.

Usuarios

Esta base de datos se actualiza diariamente y ya tiene mas de 10 años de explotación. La comunidad de usuarios está constituida por el universo de todo el que requiere información y la solicita a la ONRM. Una medida de la cantidad de consultas realizadas a la base es la cantidad de documentos prestados en los últimos 8 años. La siguiente tabla lo ilustra:

Tabla I Préstamos por año

Año	Préstamos
1999	1655
2000	1232
2001	2918
2002	2481
2003	1337
2004	560
2005	920
2006	1405
Total	12508

La base ha sido consultada a requerimiento de las solicitudes formuladas por mas de 70 entidades. Las 10 entidades que con mas frecuencia han requerido el servicio en estos últimos 8 años son:

Tabla II Préstamos por entidad

No	Entidad	Documentos consultados
1	IGP – Instituto de Geología y Paleontología	3219
2	Oficina Nacional de Recursos Minerales	2772
3	Empresa Geominera de Oriente	2249
4	Empresa Nacional de Geofísica	1507
5	Empresa Geominera de Pinar Del Río	766
6	Empresa Geominera de Camagüey	333
7	Empresa Geominera del Centro	270
8	CENAMET (Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional)	221
9	CEINPET - Centro de Investigaciones y Desarrollo del Petróleo	137
10	GeoCuba	136

Perspectivas

Actualmente la Oficina Nacional de Recursos Minerales está participando en un ambicioso programa encaminado a la informatización del conocimiento geológico de Cuba, del que también forman parte



la Universidad de Ciencias Informáticas y otras importantes entidades del MINBAS.

Por su importancia reconocida, debido al nivel de servicio que presta, la base de datos Búsqueda Referativa constituye uno de los proyectos que integran dicho programa y como resultado muy pronto se podrá contar con el servicio de consulta online en ambiente web, lo que significará un verdadero salto de calidad en el servicio a la comunidad geológica.

CONCLUSIONES

La base de datos Búsqueda Referativa representa una herramienta de trabajo imprescindible en el manejo de la documentación del archivo técnico de la ONRM.

El uso de la base agiliza el proceso de recuperación de los documentos y maximiza las posibilidades de obtención de la información requerida.

La próxima inserción en ambiente web posibilitará la consulta online y multiplicará las posibilidades de acercamiento al conocimiento de los fondos documentales del archivo de la ONRM.

BIBLIOGRAFÍA

- Infante R., 2005. Tesina Diplomado de Archivos. Ciudad Habana. *Historia y técnica del libro. En Penna, C. V. Bibliotecología. Buenos Aires : Kapelusz, 25p.*
Finó, F., 1950. *Historia y técnica del libro. En Penna, C. V. Bibliotecología. Buenos Aires : Kapelusz, 132p.*

SALA DE EXPOSICION DE MUESTRAS GEOLOGICAS

Olga Castro Castiñeira⁽¹⁾, Susana Ramos Guerra⁽¹⁾.

(1) Centro de Investigación del Petróleo. Washington No. 169 a esq. Churruca. Cerro. C. Habana, Cuba.
mail: shall@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

Al constituirse la Litoteca Geólogo Petrolera de Cuba que recoge todas las muestras de los pozos del país, paralelamente se propuso el establecimiento de un museo donde se expusieran las muestras más representativas de la actividad geológica en general y petrolera en particular. De esta última el aspecto más destacado debía ser la manifestación del carácter de los yacimientos cubanos en sus parámetros más importantes. Entre sus funciones principales estaría prestar servicio a especialistas nacionales, extranjeros, estudiantes y otro personal interesado en la materia, además de lograr un vínculo con la comunidad a través de actividades realizadas en coordinación con escuelas, Universidad del Adulto Mayor y otras instituciones.

En el marco del proyecto de recuperación y conservación, se creó la Sala de Exposición de Muestras Geológicas, que sin tener el carácter de un museo, ya que su variabilidad se hace necesaria, cumple con los objetivos propuestos inicialmente.

Ya se han recibido numerosas visitas de los trabajadores del Ceinpet, de representaciones de otras entidades como el Ministerio de la Industria Básica, Cuba Petróleo, Oficina Nacional de Recursos Minerales y otras, se han preparado tres exposiciones y cuatro conferencias vinculadas con aquellas. Se realizó una conferencia a los pioneros de la Escuela Primaria Salvador Allende, con lo que comenzó a vincularse con la comunidad.

Las opiniones han sido muy alentadoras, lo que se refleja en el Libro de Visitantes de la Sala.

ABSTRACT

When was constituted the Oil Core Repository of Cuba that collect all the well samples of the country, parallelly was proposed the establishment of a museum where the most representative samples in the geologic activity were exposed. The most outstanding aspect will be the exhibition of samples of different Cuban locations and oil fields. The main function of the museum is the exhibition to national and foreigner specialists, students and any interested people, besides activities carried out in coordination with schools, universities and other institutions.

In the mark of the recovery and conservation project, it was created the Room of Exhibition of Geologic Samples that, without having the character of a museum, fulfills the objectives proposed initially.

Already have been received visitors from Ceinpet, and representations of other entities like the Ministry of the Basic Industry, Cuban Petroleum Company, and others. Three exhibitions and four conferences were prepared and it was carried out a conference for the pioneers of the Primary School Salvador Allende. The opinions have been very encouraged, that are reflected in the Visitors Book.

ANTECEDENTES

La creación de un museo donde se expusieran las muestras principales de la actividad petrolera fue siempre un propósito de los especialistas encargados del estudio directo de las rocas en las diferentes instituciones en que ha estado representada la geología a través de la historia de los distintos centros de investigación organizados en las estructuras vigentes en el país en cada momento.

Los geólogos, adictos a las curiosidades y a las muestras únicas, aficionados a las explicaciones profesoraes sobre los distintos tipos de roca y su distribución en la corteza terrestre conformando los modelos geológicos, han formado sus propias colecciones sobre sus libreros, en las oficinas y en sus casas, en una competencia de ejemplares más preciados. Han existido magníficas colecciones en

exposiciones de instituciones, escuelas especializadas y empresas, todas más bien acerca de la actividad minera.

La geología petrolera no ha contado con un museo, al menos con una sala de exposición de forma estable. En el año 2000, cuando se gestó el proyecto de recuperación y conservación del patrimonio geólogo petrolero de Cuba, en sus inicios solo aspiraba a la preparación de un museo de muestras, que luego se amplió a la Litoteca Geólogo Petrolera de Cuba. La propuesta inicial del museo quedó entonces en los planes futuros del proyecto por no contarse con las condiciones que se consideraban apropiadas de local, muebles y personal para su atención.

Desafiando la falta de recursos para la creación del museo, el personal que trabajaba en el proyecto de recuperación se propuso organizar una sala de exposiciones con el mínimo de condiciones materiales, pero con el respaldo necesario en colecciones de rocas, abastecidas por las muestras litológicas de la Litoteca, que permanecían en espera de su exhibición.

OBJETIVOS

En el marco del proyecto de recuperación y conservación, se organizó la Sala de Exposición de Muestras Geológicas, que sin tener el carácter de un museo, ya que su es necesaria variabilidad, cumple con los objetivos propuestos inicialmente de:

- Mantener colecciones de muestras en exhibición, para prestar servicio a especialistas nacionales, extranjeros, estudiantes y otro personal interesado en la materia.
- Promocionar las propiedades de los reservorios de los diferentes yacimientos.
- Tener un espacio para el trabajo didáctico durante la formación de especialistas geólogos y petroleros para la presentación de un buen material docente.
- Lograr un vínculo con la comunidad a través de actividades realizadas en coordinación con escuelas, Universidad del Adulto Mayor y otras instituciones.

Materiales y métodos

En la Sala de Exposición se presentan variados materiales, desde los diferentes minerales que componen las rocas y su estructura cristalina, los tipos de rocas presentes en la corteza terrestre, hasta los materiales afines con la exploración petrolera, (Fig. 1 y 2) como son:

- Muestras de superficie de las distintas formaciones que aparecen en los pozos.
- Parte de los núcleos recuperados durante la perforación.
- Fósiles característicos de las diferentes edades geológicas.
- Algunos tipos de petróleo de los yacimientos cubanos.
- Mapa de ubicación de pozos, bloques y formaciones.
- Pósteres representativos de los estudios realizados sobre las rocas.

Además, los visitantes pueden interactuar con los materiales expuestos y los especialistas que los atienden.

Las exposiciones pueden organizarse siguiendo dos criterios:

1. Programa preparado por los responsables de la Sala, de acuerdo a su percepción de los intereses del personal vinculado a la exploración.
2. Necesidades inmediatas motivadas por algún trabajo de particular connotación para la especialidad, previa solicitud de los interesados.

El programa preliminar que se ha preparado para las exposiciones es el siguiente:

1. Franja Norte de Crudos Pesados de Cuba.
2. Reservorios Carbonatados de Cuba.
3. Reservorios Vulcanógenos de Cuba.
4. Bloques.
5. Provincia Gasopetrolífera Norte Cubana.
6. Provincia Gasopetrolífera Sur Cubana.
7. Sellos de los yacimientos cubanos.

Una breve explicación de lo anterior se encuentra plasmado en el Plegable de la Sala, que se presenta como Anexo.

RESULTADOS

La Sala de Exposición de Muestras Geológicas fue inaugurada el día 13 de enero, en saludo al Día de la Ciencia Cubana, con la primera exposición del programa.

Ya se han recibido numerosas visitas de los trabajadores del Ceinpet, de representaciones de otras entidades como el Ministerio de la Industria Básica, Cuba Petróleo, Oficina Nacional de Recursos Minerales, Centro Politécnico del Petróleo, Instituto Superior de Ciencia y Tecnología Nuclear y otras.

En el marco de las exposiciones se han impartido conferencias, con una visita dirigida a la Sala como fin de la actividad. Cada mes se presenta una muestra de especial interés.

Para la primera exposición del programa se efectuó la conferencia: "Rocas Reservorio en la Franja Norte de Crudos Pesados de Cuba", que contó con representantes de todas las áreas del Centro. Posteriormente se pasó a la segunda exposición del programa, para la que se impartió la conferencia "Origen de las Rocas y los Reservorios Carbonatados de Cuba", a la que asistieron especialistas de las distintas ramas del Centro. Dentro de la exposición de los carbonatos se preparó una pequeña muestra de fósiles, para la que se organizó la conferencia "Fósiles en la Geología", también con una buena participación de los interesados del Centro.

En el programa de las actividades por el 4 de abril, se efectuó la conferencia "Las Rocas y el Petróleo", con la visita dirigida a la Sala como culminación, para un grupo de pioneros de la Escuela Primaria Salvador Allende, lo que marca el inicio de la vinculación con la comunidad, que se piensa irá incrementándose a medida que se establezcan las relaciones (Fig. 3).

Los geólogos del Centro, y hasta algunos de los especialistas que han visitado la Sala, han hecho donaciones de sus colecciones personales para una mejor representación de las muestras en las Exposiciones.

En las actividades en general, y a algunos visitantes en particular, se le han entregado obsequios con motivos mineralógicos y de rocas, confeccionados por los integrantes del proyecto de recuperación que atienden la Sala de Exposiciones.

Se cuenta con un Libro de Visitantes donde se han expresado opiniones muy alentadoras sobre el trabajo realizado, además de sugerencias muy positivas, algunas de las cuales se han podido llevar a la práctica. Se anexan algunas páginas de este libro.

CONCLUSIONES

- Desafiando la falta de recursos para la creación del Museo, el personal que trabajaba en la preparación de la Litoteca de Muestras se propuso organizar una sala de exposiciones con el mínimo de condiciones materiales, como local y muebles, pero con el respaldo necesario en colecciones de rocas abastecidas por las muestras litológicas de la Litoteca, que estaban en espera de su exhibición. Además, han sido donadas colecciones por especialistas dentro y fuera del Ceinpet.
- Se está cumpliendo con el programa preliminar de exposiciones, a los que se vinculan conferencias sobre el tema. Se incluyó la exposición y conferencia sobre fósiles, que no se había programado.
- Ya se han recibido numerosas visitas de los trabajadores del Ceinpet, de representaciones de otras entidades como el Ministerio de la Industria Básica, Cuba Petróleo, Oficina Nacional de Recursos Minerales y otras, se han preparado tres exposiciones y cuatro conferencias vinculadas con aquellas.
- Se realizó una conferencia a los pioneros de la Escuela Primaria Salvador Allende, con lo que la Sala comenzó a vincularse con la comunidad.

BIBLIOGRAFÍA

Museo Geominero, Carta de Servicios. En la página del Instituto Geológico y Minero de España [en línea].

Disponible en World Wide Web:

<http://www.yxfb.gov.bo/cnih/CNIH_YPFB.htm>

Museo Nacional del Petróleo. En Mi Patagónica, el Portal Patagónico [en línea]. Disponible en World Wide Web:

<http://www.mipatagonia.com/regiones/chubut/comodoro_rivadavia/museo_del_petroleo/institucion/inst_frames.htm>

Museo de Geociencias. En la página de la Universidad de Colombia [en línea]. Disponible en World Wide Web:

<<http://www.minas.unalmed.edu.co/facultad/escuelas/mambiente/museomin/>>

FOTOS DE LA SALA DE EXPOSICIÓN DE MUESTRAS GEOLOGICAS.



Figura 1. Muestra de los distintos tipos de rocas.



Figura 2. Muestra de rocas variadas y pósteres informativos.



Figura 3. Visita de pionero a la exposición.



OBSERVACIONES SOBRE LA CONSERVACION DEL PATRIMONIO GEOLOGICO EN LA PROVINCIA DE LA HABANA

Roberto Gutiérrez Domech, Arsenio Barrientos Duarte, Evelio Balado Piedra, Leonardo Flores Valdés, Gustavo Furrázola Bermúdez, Guillermo Pantaleón.

Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca 1002, SMP, Ciudad Habana. arsenio@igp.gms.minbas.cu

RESUMEN

Aunque algunos pocos sitios geológicos del país han sido declarados monumentos locales y nacionales por su paisaje y por tanto forman parte del patrimonio nacional, la inmensa mayoría se encuentra a merced de las necesidades o de la voluntad de individuos y/o comunidades que sin una adecuada instrucción sobre los valores de cada sitio pueden dañarlos, destruirlos parcialmente o hacerlos desaparecer, como ya ha sucedido.

En la provincia de La Habana se comenzó el trabajo de diagnóstico de los geositos considerados como tales, comenzando por los holoestratotipos, neoestratotipos, lectoestratotipos o las localidades tipo de las unidades litoestratigráficas reconocidas en el Léxico Estratigráfico de Cuba. A estos se unieron las localidades donde han sido descritas nuevas especies de la fauna de vertebrados del Cuaternario, como son las cuevas de Paredones y del Túnel.

Como referencia general debe señalarse que la mayoría de los geositos son vulnerables, se encuentran ya afectados y deben protegerse, física y legalmente de las acciones de quienes desconocen su importancia.

En algunos casos, como el de la Formación Güines, se propone un lectoestratotipo, por las difíciles condiciones de accesibilidad de los nombrados ante la ausencia de un holoestratotipo original

La información de la situación actual de cada lugar, que incluye fotos y mapa de microlocalización en soporte digital o papel, va acompañada de una propuesta de señalización, de manejo y, si es necesario de categoría patrimonial.

Este resultado será presentado a las autoridades científicas y administrativas de nivel municipal y provincia, de cuya comprensión depende en gran medida el éxito de este esfuerzo de rescatar la herencia geológica cubana.

ABSTRACT

Even when some geological sites had been declare local and national monuments, because it landscape and they are part of the national patrimony the most are depending on the necessity or at will of individuals or/and communities, which without a correct instruction about the values of each site can damage, partially or completely destroy, and make it disappear

A work concerning on the diagnosis of the considerate geosites had began at La Habana province starting with , holostratotypes, neostratotypes, lectostratotypes or type localities of the recognized in Léxico Estratigráfico de Cuba, litostratigrafics units. Localities where new species of the Quaternary vertebrate fauna had been described were included, such as Paredones y El Túnel . caves

As a general reference has to be pointed that the majority of the geosites are vulnerables, affected and had to be protected, physically and legally from the people that are not aware of it importance

In some cases as that of Güines Formation, a lectoestratotipo is proposed, because the hard conditions of the nominates in the original holostratotipo absence

The information about the nowadays situation of each place, including photos and a map in paper and magnetic support is placed together with a proposal of signs, the management and a patrimonial category, if is necessary

This result will be presented to the scientific and administratives authorities of the municipalities and La Habana province, from whom understanding depends the success of this effort to rescue the Cuban geologic heritage

INTRODUCCION



Siguiendo las tendencias científicas mundiales y como resultado de un aumento de la conciencia por la conservación del medio ambiente, en los últimos años en Cuba se han presentado varios trabajos relacionados con la protección de la herencia geológica cubana.

Muchos de estos trabajos han tratado de vincular los sitios de interés geológico (*geosítios*) con la economía de las pequeñas y medianas localidades, de forma que, además de patrimonial, la tarea proteccionista y conservacionista tenga un carácter sustentable al utilizarse para el turismo convencional o científico.

Los autores presentaron en la pasada convención (Gutiérrez Domech, et. al, 2005) una propuesta de proyecto para comenzar oficialmente el trabajo de investigación de localidades que deben ser protegidas como herencia geológica de Cuba, así como para proponer y obtener de los organismos nacionales y las organizaciones internacionales, gubernamentales y no gubernamentales: apoyo para su preservación y su manejo.

El proyecto fue aprobado para realizarse, en una primera fase, en la región occidental de Cuba y dentro de ésta en la provincia de La Habana, como objeto de estudio inicial.

De acuerdo a los fines del proyecto se consideran como patrimonio geológico:

- * Localidades tipo y estratotipos de unidades litoestratigráficas y bioestratigráficas
- * Holotipos y paratipos de especies de animales y plantas fósiles
- * Yacimientos fosilíferos donde se han recuperado holotipos y paratipos
- * Minas reconocidas y minas representativas de una explotación importante
- * Estructuras geológicas de interés
- * Informes originales de personalidades del trabajo científico en el campo geológico, o concernientes al hallazgo de minas, yacimientos de petróleo, fósiles importantes; manantiales de aguas minero medicinales, etc.
- * Otros bienes creados por esfuerzo propio en función del trabajo geológico

El reconocimiento de estos *geosítios* y áreas necesita su inclusión en un soporte legal necesario para establecer las prerrogativas y limitaciones en su manejo y depende, en cada país, del nivel cultural y la conciencia de las autoridades y de la población.

Para crear esta conciencia, durante el desarrollo del trabajo se estableció contacto con la Delegación del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) y la Dirección Provincial de Planificación Física de la provincia de La Habana y se obtuvo la cooperación del Consejo de la Administración Municipal de Güines. Una copia del resultado de esta etapa será sometida a la consideración de los 19 gobiernos municipales y al Consejo de la Administración Provincial de La Habana.

La comisión nacional de patrimonio conoció de los propósitos del proyecto y apoyó los objetivos del mismo. En lo adelante debe pronunciarse sobre las propuestas realizadas.

Con el cumplimiento de esta primera etapa no se reconoce la imposibilidad de cubrir todos los *geosítios* de interés patrimonial del territorio, pues los presentados solo se corresponden con el conocimiento que de la geología de la provincia habanera tengan los autores.

MATERIALES Y METODOS

Se estableció una metodología que considera parámetros para establecer una categorización de los *geosítios*. Los parámetros seleccionados fueron:

- Estado físico del *geosítios*
- Representatividad y valor científico



- Valor histórico
- Importancia didáctica
- Valor estético para la enseñanza y el turismo
- Rareza
- Irrepetibilidad
- Vulnerabilidad
- Tamaño
- Accesibilidad

Los parámetros de Representatividad y Valor científico, Valor histórico, Importancia didáctica, Valor estético, Rareza e Irrepetibilidad, representan la verdadera importancia científica del geositio, y las razones por las cuales debe considerarse patrimonio o herencia geológica; mientras que los de Estado físico, Vulnerabilidad, Accesibilidad y Tamaño resultan de mayor peso durante el diagnóstico para apreciar en que medida debe protegerse el lugar y para las propuestas que deben elaborarse con vistas a su conservación, por lo cual en la tabla de valores ponderados elaborada, sobre la base de 100 puntos, éstos reciben la mayor puntuación.

En el resto de los parámetros se considera que las situaciones más graves, son las de mayor acceso, vulnerabilidad, menor tamaño y peor estado físico.

Para una puntuación entre 85 y 100 puntos los geositios se consideran de clase A deben tener una mayor protección y si fuera posible una categoría patrimonial nacional.

Entre 70 y 84 puntos los geositios se consideran de clase B y debe establecerse para los mismos una forma de manejo y si resultara factible una categoría patrimonial local.

Entre 50 y 69 puntos los geositios se catalogan como de clase C y deben recibir algún tratamiento por las autoridades locales.

Todos los sitios de importancia para la herencia geológica deben ser convenientemente señalizados. Los lugares de escasas dimensiones o reconocida vulnerabilidad y mal estado de conservación deben ser delimitados y limitado el acceso.

Geositios que se consideraron en la provincia de La Habana

No.	Geositio	Localidad
1	Localidad tipo de la Formación Encrucijada	Cabañas, Mariel
2	Localidad tipo de la Formación Guanajay	Guanajay
3	Localidad tipo de la Formación Jabaco	Guanajay
4	Holoestratotipo de la Formación Villarroja	Artemisa
5	Localidad tipo de la Formación Martín Mesa	Caimito
6	Lectoestratotipo de la Formación Madruga	Madruga
7	Holoestratotipo de la Formación Nazareno	Nazareno, San José de las Lajas
8	Paraestratotipo de la Formación Mercedes	Canasí, Santa Cruz del Norte
9	Lectoestratotipo de la Formación Güines	Güines
10	Neoestratotipo de la Formación Güines	Güines
11	Holoestratotipo de la Formación Jaruco	Jaruco
12	Cueva de Paredones	Ceiba del Agua, Caimito
13	Cueva del Bicho	Ceiba del Agua, Caimito
14	Cueva del Túnel	La Salud. Quivicán
15	Región de Boca de Jaruco	Santa Cruz del Norte
16	Cuevas de Diago	Catalina de Güines



17 Cueva de Loma Candela
18 Sierra de Camarones

Güines
Santa Cruz del Norte

19 Sierra del Grillo

Madrugá

Descripción de los geositos

Localidad tipo de la Formación Encrucijada (Richardson, et. al., 1932)

Lavas y lavobrechas basálticas de composición toleítica, con pedernales interestratificados, micritas y biomicritas, en menor cantidad argilitas y limonitas, que contienen una microfauna de foraminíferos planctónicos y nannoplancton del Cretácico inferior (Albiano) al Cretácico superior (Cenomaniano).

El holoestratotipo de esa unidad no fue descrito originalmente y diferentes autores han señalado los cortes en la carretera Cabañas-Cayajabos en los alrededores del caserío de Encrucijada.

Los autores visitaron un geosito ubicado en los taludes de dicha carretera (hoy interrumpida por la construcción de la presa San Francisco) en las inmediaciones de Encrucijada, que consiste en un corte bajo, de unos 30 m de extensión que muestra claramente las características litológicas de la formación.

La metodología de clasificación determinó un acumulado de 73 puntos, lo cual indica un geosito de clase B.

Se propone su señalización con un cartel rústico o tipo señal de tránsito con un texto similar para los geositos establecidos en localidades tipo de unidades litoestratigráficas.

**SITIO PATRIMONIAL
DE INTERES
GEOLOGICO
FORMACION
ENCRUCIJADA**

Descripción de los geositos

Localidad tipo de la Formación Guanajay (Truitt, 1956)

Es una unidad litoestratigráfica, típicamente habanera, pues solo ha sido descrita en la parte noroccidental de la provincia, consiste en margas, areniscas, calizas biógenas, arcillosas, margas arenosa, calizas arcillosas, calizas y limolitas, con fauna de foraminíferos planctónicos y bentónicos pequeños, pero también macroforaminíferos y ostrácodos, de edad Oligoceno superior.

Se visitó su holoestratotipo, que se encuentra en la intersección de la Autopista Nacional La Habana-Pinar del Río, con la carretera Guanajay-Mariel, observándose que la población local utiliza un sendero que atraviesa el corte como vía de acceso de una vía a otra, por lo cual la afectación es evidente.

Según la metodología empleada el geosito alcanza la puntuación de 76 puntos y una clasificación B. Se propone señalar, delimitar y aislar el corte, evitando el paso a través del mismo.



Localidad tipo de la Formación Guanajay

Localidad tipo de la Formación Jabaco (Bermúdez, 1937)

Este es un geosítio consistente en un corte bajo, semidestruido, fuertemente enyerbado, de hecho casi inexistente, en el talud de la carretera Guanajay-Mariel, en un lugar que Bermúdez denominaba Loma Jabaco, pero cuyo relieve no se adapta a las características del lugar y que para la memoria ha desaparecido con el tiempo.

La Formación Jabaco es una unidad del Eoceno superior, identificada por foraminíferos planctónicos y bentónicos pequeños típicos, compuesta por margas, margas calcáreas y calizas arcillosas estratificadas irregularmente, con intercalaciones, lentes y bloques de calizas biógenas de foraminíferos, detríticas y conglomeráticas, y en algunos sitios areniscas. Las calizas contienen macroforaminíferos. Litológicamente es muy parecida a la Formación Guanajay y de hecho fue descrita como parte de ésta por Truitt.

En el Léxico Estratigráfico de Cuba se describe un hipoestratotipo como un corte en el lado S de la Autopista La Habana-Pinar del Río, en la localidad de Noroña, a unos 3 km al N del pueblo de Guanajay, Coordenadas Lambert: x - 325 350 y - 348 225, Hoja 3684 I. Guanajay, que fue establecido por Ana María Recio Herrera y Rafael A. González García en: G.L. Franco et. al., 1992. El lugar también se encuentra muy afectado.

Por su pobre potencia y escasa distribución geográfica esta unidad corre el peligro de perderse para la ciencia. Alcanza una puntuación de 74, correspondiente a un geosítio clase B, en la metodología establecida, pero su estado físico actual impide que pueda sugerirse alguna categoría de manejo para el mismo. Se propone señalar, delimitar y aislar el corte, resultando necesario designar personal para el desmonte periódico de la vegetación y el mantenimiento.



Localidad tipo de la Formación Villarroja

Consiste en un corte de 2-3 m en un canal de desagüe a unos 150 m al S del puente de la Carretera Central sobre el canal y a 250 m al S del cruce de la línea del ferrocarril con la Carretera Central, a la entrada de Artemisa. Coordenadas Lambert: x - 318 750 y - 331 620.

La litología de la formación, descrita por Kartashov y otros (1976), consiste en: arcillas arenosas y areno-limosas, arenas arcillosas y arenas cuarzosas de distintas granulometrías, pigmentadas por hidróxidos de hierro (goethita). Contiene finos lentes y capas de grava de tamaño variado, frecuentemente con bien redondeadas y seleccionadas, constituidas por cuarzo y más subordinadamente por fragmentos de hardpan, así como concreciones ferruginosas. Las arcillas son principalmente esmectita y caolinita. La estratificación es poco discernible, localmente lenticular. Tonalidades variables, de rojo amarillento a rojo violáceo.

Como este geositio está ubicado en un terreno completamente llano, no se observan afloramientos en cortes de caminos y el canal, donde pudiera observarse mejor la litología, se encuentra fuertemente enyerbado y no se aprecia nada.

Los bordes del canal están ocupados por un área de cultivos al W y una línea de viviendas al E. Este sitio con categoría C de acuerdo a los 63 puntos acreditados, se propone para que sea señalizado y las autoridades dispongan que se limpien los taludes del canal.

Localidad tipo de la Formación Martín Mesa

Esta formación fue descrita por N. E. Weisbord (1932) quien no señaló holoestratotipo, sin embargo ha sido descrito y reconocido en el Léxico Estratigráfico de Cuba un lectoestratotipo en el corte en la cantera ubicada en la Loma La Jutía, al N de la autopista La Habana - Pinar del Río y al N del embalse La Coronela, provincia de La Habana. Coordenadas Lambert: x - 331 700 y - 351 800. Hoja topográfica: Guanajay, 3684 I.

Esta unidad, que es una de las más antiguas del territorio habanero, está compuesta por calizas criptocristalinas de color gris a pardo, areniscas, argilitas, pizarras y lentes de pedernales negros, de edad Cretácico inferior (Albiano) – Cretácico superior (huroniano), identificados por foraminíferos planctónicos, nannoplancton y radiolarios

Esta localidad, aunque presenta cortes muy completos, de más de 30 m de altura, en las paredes de la cantera de Loma La Jutía, está comprometida como sitio de interés geológico, por haber sido ocupada completamente por una empresa, que viene depositando sus desechos de producción en la excavación una parte importante de la cual se encuentra cubierta. Presenta 81 puntos, que se corresponde con un geositio de clase B, según la metodología empleada.

Los autores visitaron, también, un corte de la Autopista Nacional La Habana-Pinar del Río, ubicado unos 200 al E de la cantera La Jutía y la presa La Coronela, que presenta gran parte de la litología diagnóstica, incluso con manifestaciones de alfalfa natural y puede sustituir o añadirse como geositio al lectoestratotipo de la cantera. Este sitio alcanza la categoría B según los 78 puntos apreciados en la metodología.

Se propone señalar y en el caso del lectoestratotipo ya establecido, construir un acceso por fuera de los terrenos de la empresa para acceder a las faldas de Loma La Jutía sin entrar a la cantera. Por su posición y valor científico y estético se propone el lugar como Patrimonio Local.

Se propone, además, describir el corte junto a la Autopista como lectoestratotipo a incorporar al Léxico Estratigráfico, señalarlo y proponer al gobierno municipal que se designe un personal para su



mantenimiento, pues su valor estético puede ser alto una vez desprovisto de parte de la vegetación que lo cubre.

Localidad tipo de la Formación Madruga

En esta unidad litoestratigráfica, descrita por J. W. Lewis (1932) no fue señalado un holoestratotipo, aunque está claramente establecida su localidad original en el corte en la Carretera Central, bajo el puente de la línea del ferrocarril del central Boris Luis Santa Coloma, a la entrada del pueblo de Madruga. Coordenadas Lambert: x-410 450 y- 342 180, Hoja topográfica: Madruga, 3884 IV., que es considerado un lectoestratotipo en el Léxico Estratigráfico.

Las areniscas polimícticas, argilitas calcáreas, limolitas calcáreas, margas, arcillas y conglomerados polimícticos. bien estratificados, de coloración general carmelita a pardo rojizo, no obstante, se observan con mucha dificultad en el corte original, que se encuentra prácticamente destruido.

El geosítio alcanza la puntuación de 70 puntos, con un nivel de afectación que lo hace prácticamente irrecuperable, por lo que se urgen medidas extremas para su conservación.

Se propone una categoría de manejo para ese talud, que incluya una señalización convenientemente explicativa, para que se detenga el deterioro que ha alcanzado, así como la delimitación del mismo.

Es necesario designar algún lectoestratotipo o hipoestratotipo para esta unidad en el territorio de la provincia.

Area tipo de la Formación Nazareno

Aunque se extiende hasta la provincia de Matanzas, esta unidad litoestratigráfica tiene sus afloramientos principales en los alrededores del poblado de Nazareno, que se encuentra entre la ciudad de San José de las Lajas y el pueblo de Bejucal.

El holotipo de la formación fue señalado como un perfil en la carretera Nazareno- Montalvo. Coordenadas Lambert: Inicial: x - 374 100 Final: x - 374 000 e inicial y - 341 000 final y - 346 000, Hoja San José de las Lajas, 3784 I. Donde se observan: Margas, calizas arcillosas, areniscas calcáreas de grano fino y muy fino algo arcillosas, limolitas, argilitas, arcillas y conglomerado basal de clastos pequeños, con una fauna de foraminíferos planctónicos, que ubican las rocas como depositadas en el Eoceno medio y hasta la base del Oligoceno.

En la visita realizada al lugar pudo constatarse que las capas descritas originalmente están algo degradadas y cubiertas de vegetación y no pueden observarse bien las características de la formación. Según la metodología este geosítio tiene una puntuación de 65 puntos equivalentes a una clase C.

En este caso se recomienda señalar y disponer de personal que se ocupa de cortar las malezas y mantener limpios los taludes.

Cercano a Nazareno, en un corte ubicado a unos 2,5 km al SW, en la carretera La Habana - Melena del Sur (Coordenadas Lambert: x - 373 475 y - 343 850. Hoja: San José de las Lajas, 3784 I), R. A. González García (1985) estableció un lectoestratotipo que posee mejores condiciones por ser un talud de notable altura en la vía y encontrarse menos expuesto. Con una puntuación de 73 puntos este geosítio alcanza clase B y puede ser conservado mucho más fácilmente.

Para esta localidad se propone al gobierno municipal de Bejucal la eliminación de la vegetación que limita, parcialmente, la observación de las características del geosítio y la conveniente señalización del mismo.



Paraestratotipo de la Formación Mercedes

Esta es unidad que fue descrita (Furrazola, 1976) en un pozo paramétrico en la provincia de Matanzas, pero su área de mayor concurrencia se encuentra al N de Montes de Picadura de Camarones, en los alrededores de los caseríos de Vía Crucis y Ponce y en los alrededores del antiguo central Puerto Libre, al N del poblado de Canasí.

Un paraestratotipo fue señalado en un corte en un sendero que transcurre por la falda sur de Loma Borugú, a unos 500 m al N del antiguo central Puerto Libre y a 1 km aproximadamente al N del poblado de Canasí, provincia de La Habana, con coordenadas Lambert: x - 419 150 y - 366 200. Hoja: Santa Cruz del Norte, 3885 III. Esta localidad fue visitada durante el trabajo de campo del proyecto y presenta características favorables para constituir un geosito de clase B, con 70 puntos en la metodología empleada. Furrazola (1985) la considera como "sección suplementaria de la localidad tipo".

Se trata de calizas organógenas, organógeno-fragmentarias, argilitas, areniscas polimícticas, margas e intercalaciones de conglomerados polimícticos, de edad Paleoceno inferior (Daniano), bien representadas en ese corte bajo.

El afloramiento se encuentra algo degradado, pues sus sedimentos han sido empleados como material de construcción y junto al mismo se han vertido algunos desechos sólidos, por lo cual se hace necesaria una labor de limpieza y mantenimiento

Se propone para el mismo su señalización, delimitación y la designación de personal que mantenga el geosito en buenas condiciones.

Otras localidades visitadas fueron los hipoestratotipos señalados, en el Léxico Estratigráfico, en los alrededores de los caseríos de Vía Crucis y Ponce al norte de Loma de Camarones (Montes de Picadura), sin embargo estos cortes se encuentran destruidos y son, a juicio de los autores, irrecuperables.

Area tipo de la Formación Güines

Esta unidad litoestratigráfica es, a juicio de los autores, la formación geológica cubana con más tiempo de descrita (Humboldt, 1826) y una de las de mayor extensión en el archipiélago cubano. Su localidad tipo no fue descrita con exactitud por el autor, quien señaló las calizas al norte de la ciudad de Güines como sitio donde afloraban, aunque un error histórico (Bermúdez, 1950 y 1961; Bermúdez y Hoffstetter, 1959) de traducción, o de orientación, la ubicó al sur de la misma.

Diferentes investigadores han descrito varias categorías de estratotipos, que fueron visitadas en esta etapa.

La litología diagnóstica está compuesta por: calizas biodetríticas de grano fino a medio, fosilíferas, calizas biohémicas, calizas dolomíticas, dolomitas, calizas micríticas sacaroidales y lentes ocasionales de margas calcáreas y calcarenitas. La dolomitización es secundaria. Son por lo general masivas, más raramente estratificadas. Coloración blanca, amarillenta, crema o gris.

Las localidades visitadas fueron:

Hipoestratotipo 1: Corte de 15 m en el flanco S del extremo oriental de Loma Gavilanes, inmediatamente al N del camino Güines-La Jutía y a unos 400 m al W del poblado de Cuatro Caminos de la Jutía y a 8 km al NW de Güines,. Establecido por J. F. de Albear e Iturralde (1985), con coordenadas Lambert: y - 387 750 x - 337 100, Hoja San José de las Lajas, 3784 I.



Este lugar está actualmente en medio del potrero de una vaquería demolida y en una situación de abandono notable; distante de cualquier camino transitado, salvo la vía del ferrocarril San José-Güines, tampoco muy activa. La presencia de capas estratificadas y de abundante óxido de hierro entre estratos, determina que este sea un sitio no muy típico desde el punto de vista litológico, aunque presente una clara morfología cársica en los estratos de la falda de Loma Gavilanes, que asemejan una terraza acantilada. La localidad alcanza clase C, con 62 puntos además de señalizarse pudiera asignársele alguna categoría de manejo.

Hipoestratotipo2.

Capas superiores de la cantera La Pedrera, 1 km al noroeste del cementerio de Güines. Señalada por Albear e Iturralde como área más adecuada. Este sitio geológico ha desaparecido.

Neoestratotipo

Corte de 10 m en la pared N de la antigua cantera La Coca, en Loma Candela, aproximadamente a 700 m al N-NW del apeadero del ferrocarril de La Coca y a unos 7 km al NW del pueblo de Güines, provincia de La Habana. Establecido por J. F. de Albear (1985). Coordenadas Lambert: y - 388 530 x - 338 900, Hoja San José de las Lajas, 3784 I.



Antigua cantera en Loma Candela. Neoestratotipo de la Formación Güines

Este afloramiento presenta características litológicas de mayor similitud que las señaladas para la unidad litoestratigráfica, incluyendo alta carsificación y cavernamiento. El acceso es preferiblemente a lo largo de la vía férrea ya mencionada, pero el acercamiento al corte es dificultoso por la cantidad de malezas que ha crecido entre el lapies que constituye la ladera de la elevación.



Según la metodología alcanza 69 puntos para una categoría C de geositos y junto a la de Loma de Gavilanes pudiera constituir un área protegida.

La señalización es sencilla y el corte, por su disposición, tiene pocas probabilidades de ser afectado, salvo que se ponga en explotación el frente de cantera.

Geositio dolina y cueva de Loma Candela

Durante la estancia en Cuba del barón Alejandro de Humboldt, en los primeros años del siglo XIX, precisamente cuando se describió por primera vez a las calizas de Güines, también se visitó la cueva de Loma Candela, que se encuentra en el fondo de una torca (dolina de paredes verticales) en la zona central de dicha elevación.

La mencionada depresión cársica, además de su significación hidrogeológica y geomorfológica, corta cerca de 30 m de estratos de la Formación Güines en su litología más típica. Una valoración de la misma le otorga una categoría B con 77 puntos.

La cueva de Loma Candela fue declarada Patrimonio Local, gracias a las acciones de la Sociedad Espeleológica de Cuba y su presidente, el desaparecido Dr. Antonio Núñez Jiménez, en la década de los 90, pero la desatención y falta de mantenimiento del lugar, a pesar de encontrarse junto a edificaciones de un antiguo Puesto de Mando de la Agricultura, han motivado el estado actual, con desechos sólidos vertidos en la dolina, desatención al crecimiento de la vegetación, deterioro de la escalera construida para descender a la cueva y la pérdida, en dos ocasiones, de la placa que destacaba la condición de monumento de la espelunca. Este lugar será propuesto como Patrimonio Nacional.

Los autores consideran apropiado proponer a la Comisión del Léxico Estratigráfico, la dolina de Loma Candela como un lectoestratotipo de la Formación Güines, por la potencia de unidad en dicho lugar y las características litológicas acordes con las descripciones de la unidad litoestratigráfica. Además de señalar el geositio en la superficie, reponer la placa en la entrada de la cueva y promover, con el gobierno municipal, la ubicación de personal que realice el mantenimiento necesario y cuidado del área, que puede convertirse, incluso en una fuente de ingresos por la vía del turismo y que constituye además un sitio de fácil acceso para desarrollar actividades en la enseñanza de las geociencias.

Junto al hipoestratotipo 1, el neoestratotipo y el área de Lomas de Diago, que será descrita más adelante, este puede convertirse en un parque natural de indiscutible valor e interés científico, lo que permitiría la designación de personal que se ocupe del mantenimiento y protección, por demás rico en fauna avícola, no así en especies vegetales que han sido muy afectadas.

Durante el trabajo de campo se realizó un recorrido por la zona al sur de Güines, comprobándose la existencia de un mayor espesor de los suelos ferralíticos: “terra rosa”, típicos de las regiones cársicas y la escasez de afloramientos. Solo fue posible localizar uno en el borde de una dolina de absorción, parcialmente cubierta de sedimentos en una finca situada a unos 150 m de la bifurcación de la carretera Güines-Melena del Sur y la del central “Osvaldo Sánchez”.

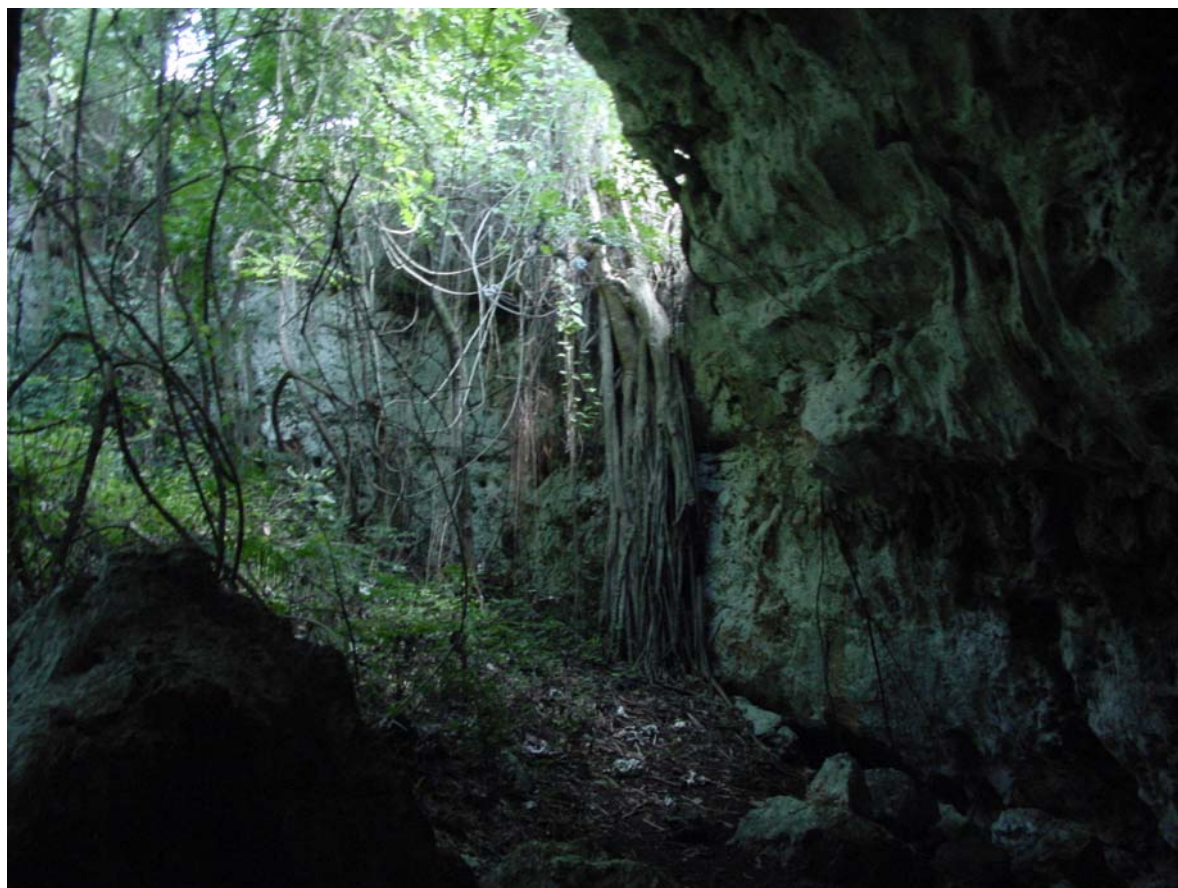
Localidad tipo de la Formación Jaruco

Esta unidad litoestratigráfica fue descrita, formalmente, por Bermúdez, en 1950 (D. Palmer, en 1936 se había referido informalmente a estas capas), como: calizas biodetríticas arcillosas frecuentemente con grandes *Lepidocyclinas*, interestratificadas con margas. Subordinadamente se observan calizas arrecifales, calciruditas y calcarenitas. Los colores predominantes son el blanco, crema y gris.



Aunque no fue señalado por estos autores como holoestratotipo, la localidad tipo, fue redescrita como tal por Seiglie (1960), como un “corte con una altura variable entre 3 y 12 m aproximadamente, situado en el lado S de la línea del ferrocarril occidental, a unos 700 m al W del cruce del ferrocarril de Hershey, en el borde S del pueblo de Jaruco (Coordenadas: x - 396 000 y - 357 200, Hoja: Jaruco, 3785 II)

El geosítio con 78 puntos clasifica como clase B y por su ubicación junto a la línea férrea, fuera de la acción de transeúntes, se propone que sea solamente señalizado.



Torca (dolina) de la Cueva de Loma Candela. Propuesta como lectoestratotipo de la Formación Güines.

Geosítio cueva de Paredones

La cueva de Paredones se encuentra en fondo de una dolina que se abre en calizas de la Formación Güines, junto a la carretera Ceiba del Agua-Alquizar, al sur del reparto Antonio Maceo, cercana a la Academia de las FAR del mismo nombre.

Del lugar, desde el siglo XIX, se extrajo guano de murciélago, a través de un andamio colocado en una claraboya natural aproximadamente a mitad del recorrido cavernario, que es de unos 600 m. Para esta operación se emplearon esclavos negros, quienes tallaron las estalagmitas del salón donde se asienta el andamio, como ofrenda a sus dioses africanos.

En ese mismo salón se perforó un pozo con una profundidad cercana a los 20 m que debe, junto al guano extraído, haber aportado los primeros restos fósiles, que se perdieron para la ciencia.



En la década de los 50 del siglo XX la Sociedad Espeleológica de Cuba, que desarrollaba un intenso trabajo en la investigación de las cuevas cubanas, conoció del lugar y fueron descubiertos en ella restos fósiles de la fauna que pobló el Archipiélago Cubano. Oscar Arredondo, el más insigne y capacitado de los paleontólogos cubanos de la época identificó, junto a sus colaboradores, por vez primera para la ciencia, en este geosítio, entre 1954 y 1975: *Pulsatrix arredondoi*, *Ornimegalonix minor*, *Antillovultur varonai*, *Burhinus sp.*, *Gymnoglaux sp.*, *Tyto alba spp.*, que son todas especies de aves extintas (aguilas, buhos, lechuzas, etc), de tamaños muy superiores a los de sus congéneres actuales, como *Antillovultur*, mayor que el cóndor de los Andes y que constituyeron, seguramente, los predadores de la numerosa fauna de herbívoros cuaternarios. Esta espelunca ha aportado, así mismo, restos de *Ara tricolor* (o *cubensis*) el papagayo cubano, extinguido en épocas más recientes.

También cueva de Paredones es la localidad tipo de, en su momento, especies nuevas para la ciencia como: *Solenodon arredondoi*, *Mesocapromys kraglievichi*, *Neomesocnus brevirostris* y *Habanocnus hofstetteri*,

Junto a estos restos han sido y continúan siendo hallados fragmentos óseos de los perezosos: *Megalocnus rodens*, *Mesocnus torrei*, *Mesocnus browni*, los roedores *Capromys pleistocenicus*, y otros comunes, como *Capromys pilorides*; insectívoros como *Solenodon cubanus*; musarañas como *Nesophontes micrus*, *N. major* y otros representantes de nuestra fauna cuaternaria.

Perspectivamente el sitio puede aportar mucho más sobre la vida cuaternaria.

La cueva, durante un tiempo fue utilizada, exitosamente, para el cultivo de hongos comestibles., El intento del aumento de la producción de éstos provocó la alteración de las condiciones climatológicas y el fracaso de la plantación.

Actualmente este lugar está comprendido dentro de los terrenos de una granja de la Empresa Menéalo Mora, de la Unión Agropecuaria de las FAR y su acceso está condicionado al criterio del director de la misma. La cueva tiene una puerta metálica que impide la entrada y los pisos de la misma han sido recubiertos por capas de grava. Los accesos están prácticamente cubiertos de vegetación y los senderos hasta la misma se encuentran cerrados por ésta. El geosítio tiene clase A con 93 puntos.

Por su importancia científica los autores consideran conveniente proponer a la Comisión Nacional de Patrimonio la designación de este geosítio como Patrimonio Nacional y su preservación para futuras investigaciones paleontológicas y al gobierno local la señalización, protección y conservación del mismo.

Geosítio cueva del Bicho

Se trata de un yacimiento paleontológico que se encuentra en terrenos la Vaquería 59, de la Granja Oeste, del municipio de Caimito. En las paredes de la cueva, que se abre en calizas de la Formación Güines, fue colectada, por espeleólogos en 1992, una placa dental inferior de un miliobátido fósil que sometido a investigaciones resultó una especie nueva de elasmobranquio de proporciones gigantescas, que recibió el nombre de *Aetomylaeus cubensis*. (Iturralde, et. al., 1998)

La cueva que está en el fondo de una dolina de poca profundidad, pero de abruptas paredes, resulta, como cueva de Paredones, un lugar de captación de las aguas que se infiltran en la llanura cársica y como tal presenta su suelo cubierto por gruesas capas de arcilla procedente de los arrastres pluviales.



Por ser la localidad tipo de la especie fósil mencionada y por las características favorables para el hallazgo de restos fósiles de vertebrados cuaternarios se propone al gobierno municipal su designación como Monumento Local, la correspondiente señalización, delimitación y su protección y mantenimiento.

En la metodología elaborada alcanza categoría B, con 83 puntos.

Geosítio cueva del Túnel

Esta cueva fue visitada por primera vez en 1962 por espeleólogos del Grupo Espeleológico Martel. La entrada artificial que da nombre a la espelunca y las leyendas que la acompañan determinaron la realización de excavaciones que tuvieron, en un principio, fines arqueológicos. El resultado de los sondeos, a pesar de ser positivo, desvió, sin embargo, la atención hacia el campo de la Paleontología, pues comenzaron a aparecer, en el fondo de una dolina que es la entrada natural, restos de vertebrados fósiles.

En el resto de la década de los 60 y principios de la década de los 70 se efectuaron, en compañía de Oscar Arredondo, nuevas excavaciones, que trajeron como resultado el hallazgo de numerosos ejemplares de la fauna fósil del Pleistoceno y Holoceno cubano.

La cueva del Túnel, excavada en calizas de la Formación Güines, resulta la localidad tipo de las especies: *Titanohierax borraisi*, un tipo de halcón de enormes proporciones y seguramente un papel de predador de roedores, pequeños perezosos y otros grupos, así como de: *Tyto noeli*, una lechuza gigante; *Capromys robustus* y *Mesocapromys gracilis*, jutías extinguidas; *Acratocnus* sp. un tipo de perezoso no arborícola y de *Cubacyon transversidens*, uno de los 2 cánidos reconocidos para el Cuaternario cubano.

La cueva se encuentra unos 3 km al sureste del pueblo de la Salud, actualmente en terrenos de la Empresa Agropecuaria del MININT de la provincia La Habana. El camino de acceso y los alrededores están completamente cubiertos de malezas, pues el área que se dedicaba a la cría de ganado, está prácticamente abandonada.

Por su importancia se argumentara, a la Comisión Nacional de Patrimonio. su designación como Monumento Nacional y se propone al gobierno municipal y al MININT, que administra el terreno donde se encuentra, su protección y conservación. Clasifica como geosítio de clase A, con 96 puntos.

Región de Boca de Jaruco

Esta región es una superficie de peniplanamiento que constituye una llanura marina entre los acantilados de Piedras Altas o Punta Jijira, al norte y la elevaciones de la sierra del Arzobispo, al sur. En la región han sido distinguidas (Acevedo, 1967) tres zonas bien individualizadas, pero interdependientes:

La superficie de la sierra del Arzobispo (superficie del Arzobispo), propiamente dicha, modelada en calizas de la Formación Güines y comparada con la denominada superficie de Bellamar (Ducloz, 1963).

La terraza de Boca de Jaruco, que es una terraza marina comparada con la terraza de la Ratonera de Ducloz, formada en rocas principalmente de la Formación Vedado.

La terraza de Seboruco, que es también una terraza marina, formada ésta en el arrecife elevado inmediato a la costa, compuesto por los depósitos de la Formación Jaimanitas.



En esta llanura han sido localizadas y parcialmente investigadas mas de 20 cuevas, por lo general de dimensiones que no sobrepasan los cientos de metros, aunque la denominada Cinco Cuevas es una de las mayores de la provincia y tiene un desarrollo superior a los 2 km.

La importancia de estas espeluncas, radica, por una parte en la riqueza de los residuarios arqueológicos que en ellas se encuentran, lo cual no es propósito de este proyecto resaltar y como segunda y relevante para el mismo la existencia de importantes yacimientos paleontológicos y las características de los mismos.

En la cueva del Vaho (o Bao) fue encontrado el cráneo que constituye el holotipo de la especie *Megalocnus intermedius*, en perfecto estado de conservación y bajo el piso de concreciones calcáreas de un salón reexcavado que constituye un segundo piso de la espelunca. En otra posición del mismo salón fue extraído otro cráneo, esta vez de *Megalocnus rodens*, también en magníficas condiciones de preservación.

Entre los restos de dieta de los residuarios arqueológicos han sido recuperados, además, restos de animales que no se pensaban habían servido para la alimentación de los primitivos pobladores de Cuba.

El cultivo de henequén que originalmente ocupaba la llanura desapareció al convertirse ésta en la superficie del yacimiento petrolero de Boca de Jaruco. La maleza, de forma implacable, ha ocupado los bolsones de suelo del lugar, que es un verdadero campo de lapies por lo cual el acceso a las cavidades es dificultoso.

En la metodología empleada esta región alcanza la clase B con 78 puntos acumulados.

Se propone su aprobación como parque natural, su señalización general, en las entradas, e individual en cada cueva, el desmonte de las malezas que la cubre, su preservación para las investigaciones científicas y el nombramiento de personal que impida lo reduzca las afectaciones que se producen por el vertimiento de residuales sólidos, neumáticos y todo tipo de material desechado, en algunas cuevas como Cinco Cuevas, donde utilizando la dolina principal, personas inescrupulosas han lanzado hasta 15 neumáticos de camiones, cascos de lavadoras y refrigeradores e incluso un bloque de motor.

Cuevas de Diago

La lomas de Diago son elevaciones calcáreas de escaso desarrollo que se encuentran entre Catalina de Güines y Güines. Albergan, al menos, 8 cuevas conocidas, entre las cuales se encuentra la cueva de García Robiu, de importancia por las pictografías que presenta.

Las escasas excavaciones con fines paleontológicos que se han efectuado presentan resultados alentadores, por la abundancia de ejemplares que aparecen en algunas de las cuevas. Las calicatas abiertas y abandonadas indican la presencia de personal no especializado cavando sin control ni asesoramiento técnico.

Actualmente el área, que no tiene ninguna utilización específica para la economía del territorio, se encuentra completamente cubierta de matorrales al extremo de ser imposible localizar algunas de las cuevas.

Se propone a las autoridades competentes que se declare esta zona, junto a las localidades de Loma Candela y Loma Gavilanes un Parque Natural. Esta medida permitiría una labor de mantenimiento y



preservación del patrimonio geológico, posibilitaría la creación de un cuerpo de guardabosques que mantuviera el control necesario y facilitaría la utilización científica del lugar.

Sierra del Grillo

Este grupo orográfico, que constituye parte de la región natural Alturas Bejucal-Madruga-Coliseo, constituye la mayor elevación (321 m) de la provincia de La Habana y presenta un relieve amogotado, típico de las elevaciones cársicas. Se encuentra al NE del pueblo de Madruga y ocupa una posición sublatitudinal.

Además de su perfil orográfico característico, debido a procesos de elevación geotectónica, presenta un numeroso grupo de formas cársicas, a diferentes niveles de superficie, como pequeños valles y dolinas "colgadas", lapies de diferentes tipos, abras, pequeñas cúpulas y conos cársicos, sumideros y un número no determinado de cuevas de poco desarrollo horizontal, excavadas en calizas de las formaciones Güines y Jaruco.

Es una zona con una historia geológica compleja, al extremo de constituir una elevación sinclinal que limita al sur con el valle de Cayajabos, que es de estructura anticlinal.

Por ser una localidad donde existen muy pocos asentamientos humanos, el paisaje y sus elementos se conservan relativamente estables. Alcanza un puntaje de 81, para clasificar como un geosítio de clase B.

Se propone este geosítio para que le sea otorgada una categoría de manejo. La señalización correspondiente y el trazado de senderos interpretativos lo convertirían en un excelente lugar para la docencia y el turismo científico.

Geosítio Sierra de Camarones

Este grupo orográfico también denominado Montes de Picadura, por circundar a los conocidos valles homónimos, forma parte de la región natural Llanuras y alturas de La Habana-Matanzas y junto a las elevaciones de Canasí forma un subgrupo denominado Sierra de Canasí-Sierra de Camarones, que se corresponde con las conocidas lomas del Palenque y el Pan de Matanzas, en territorio yumurino. Se extiende de forma sublatitudinal al sur de las elevaciones inmediatas a la costa norte habanera hasta la loma de La Cumbre, en Matanzas.

La Sierra de Camarones se caracteriza por presentar una morfología cársica muy particular, donde se conjugan la presencia de una cadena de elevaciones mogóticas que limita por el sur a los valles de Picadura y cúpulas y conos cársicos individuales en valles, también de génesis cársica, limítrofes con la llanura Ariguanabo-Almendares. San Juan, que la circunda por el suroeste, en las inmediaciones de Aguacate.

En la cadena de elevaciones y en los cerros aislados pueden observarse numerosas formas cársicas, como cuevas, lapies de diversos tipos, dolinas de variadas formas y clasificaciones, etc., excavadas en calizas de la Formación Güines, principalmente, que convierten la zona en un lugar excelente para la docencia y el turismo científico.

Se propone para que sea considerada para la misma una categoría de manejo, que permita su utilización racional y económica. Clasifica como un geosítio B, con 79 puntos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS



Acevedo González, M.	1967	<i>Estudio Espeleológico de la Cueva del Vaho o Bao, Boca de Jaruco, Habana</i>	Memorias de la Facultad de Ciencias. Vol. 1, No. 5, pp.33-54, Univ. de La Habana
Acevedo, Manuel., Arredondo, Oscar y González, Noel	1975	<i>La Cueva del Túnel</i>	Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 74 pp.
Albear Fránquiz, J.F. e Iturralde Vinent, M.A.	1985	<i>Estratigrafía de las provincias de La Habana, en Contribución a la Geología de las provincias de La Habana y Ciudad de la Habana</i>	Instituto de Geología y Paleontología. Editorial Científico-Técnica, La Habana, pp. 12-54
Bermúdez, P.J.	1937	<i>Nuevas especies del Eoceno de las cercanías de Guanajay, provincia de Pinar del Río, Cuba</i>	. Mem. Soc. Cubana Hist. Nat., 11(4):237-248. La Habana
Bermúdez, P.J.	1950	<i>Contribución al estudio del Cenozoico cubano</i>	Mem. Soc. Cubana Hist. Nat., vol 19 (3), pp. 204-375
Bermúdez, P.J.	1961	<i>Las Formaciones Geológicas de Cuba</i>	177 pp., ICRM, Ministerio de Industrias, La Habana
Bermúdez, P.J. y R. Hoffstetter	1959	<i>Léxico Estratigráfico de Cuba</i>	Lexique Stratigraphique Internacional, vol. 5, Amerique Central, Fasc. 2c, Cuba et iles adjacents, 140 pp..
Ducloz, Charles	1963	<i>Etude geomorphologique de la region de Matanzas, Cuba. Avec une contribution a létude des depots quaternaries de la zona Habana-Matanzas</i>	Arch. Geneve, 16 (2): 351-402
Díaz O., Consuelo, et al	2002	<i>Léxico Estratigráfico de Cuba</i>	Instituto de Geología y Paleontología, La Habana (inédito)
Franco, G. et. al.	1992	<i>Léxico Estratigráfico de Cuba</i>	Instituto de Geología y Paleontología, La Habana (inédito)
Furrazola, Gustavo; G. Hernández y S. Blanco	1976	<i>Comprobación de un horizonte Daniano en Cuba</i>	Revista La Minería en Cuba 2 (1): 47-53, La Habana
Furrazola, Gustavo	1985	<i>Nuevos datos sobre la Formación Mercedes, del Daniano. en Contribución a la Geología de las provincias de La Habana y Ciudad de la Habana</i>	Instituto de Geología y Paleontología. Editorial Científico-Técnica, La Habana, pp. 55-58
Gutiérrez Domech, M.R. y F. A. Rivero Reyes	1975	<i>Estudio geólogo-geomorfológico de la zona de Cayajabos, Madruga.</i>	Academia de Ciencias de Cuba. Serie Geográfica 12: 1-34. La Habana
Gutiérrez Domech., M.R. y M.Rivero Glean.	1997	<i>Minigeografía de Cuba</i>	Editorial Científico-Técnica, La Habana: 1-158
Gutiérrez D., M.R. y M.Rivero G.	1999	<i>Regiones naturales de la isla de Cuba</i>	Editorial Científico-Técnica, La Habana: 1-145
Gutiérrez Domech, M.R., et. al	1998	<i>Vertebrados fósiles de Cuba</i>	Atlas de los fósiles índices de Cuba. III Etapa. Instituto de Geología y Paleontología (inédito)



Gutiérrez Domech, M.R., et. al	2005	<i>Protección y conservación del patrimonio geológico cubano</i>	CD Memorias I Convención de Ciencias de la Tierra. GEO 10-8
Humboldt, A. von	1826	<i>Voyage aux regions équinoxiales du Nouveau Continent fait in 1799, 1800, 1801, 1802, 1803 et 1804</i>	. Gide, Paris, 2:229-231.
Iturralde, M., , C.L. Mora, R. Rojas y M.R. Gutiérrez	1998	<i>Myliobatidae (Elasmobranchii: Batomorphii) del Terciario de Cuba</i>	Rev. Soc. Mex. Paleontología. Vol. 8, No.2, p. 135-145 México
Kartashov, y otros	1996	<i>Descripción de algunas formaciones geológicas del Sistema Cuaternario de Cuba, reconocidas recientemente</i>	Inst. Geol. Paleont., Acad. Cienc. Cuba, La Habana, Ser. Geol., 26:1-6.
Lewis, J.W.	1932	<i>Geology of Cuba</i>	American Ass. Petr. Geol.. Bull. 16: 533-555
Núñez Jiménez, A.	1990	<i>Medio Siglo Explorando a Cuba. Tomo II</i>	Imprenta Central de las FAR La Habana, p.424-433
Richardson, A.F.	1932	<i>Reporte sobre la geología y posibilidades de petróleo en el área de Bahía de Cabañas, Pinar del Río.</i>	Ofic Nac. Rec. Min., Minist. Indust. Bas., La Habana. (Inédito).
Truitt, P.	1956	<i>Geology of Pinar del Río and Isla de Pinos, Cuba.</i>	Oficina Nac. Rec. Minl., Minist. Indust. Bas., La Habana. (Inédito). fide Léxico Estratigráfico de Cuba
Weisbord, N.E.	1932	<i>Report 84. Proposed well location - Mariel Area - Pinar del Río</i>	Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana (inédito). fide Léxico Estratigráfico de Cuba

SITIOS GEOLOGICOS EN EL SEGMENTO DEL ARCO VOLCANICOS EN LA REGION HOLGUIN CON FINES GEOTURISTICO

Martha Gutiérrez Herrero

*Empresa Geominera Carretera de Siboney, Santiago, Km. 2 1/2 Alturas de San Juan, Santiago de Cuba, Cuba,
E-mail mgutierrez@geominera.co.cu*

RESUMEN

El Arco Volcánico de la región de Holguín se encuentra ubicado en la parte noroccidental de la provincia Holguín y la parte nororiental de la provincia Las Tunas, es una zona de Sitios Geológicos valiosos en cuanto a su geografía, ambiente geológico, grado de exploración y explotación de sus recursos.

El recorrido por los distintos puntos geológicos como Aguas Claras, Reina Victoria, Nuevo Potosí, Los Naranjos y Monte Rojo entre otros nos permitieron no solamente observar la geología de la zona mezclada con la atractiva naturaleza, sino también podemos ver la presencia de excavaciones, pozo de minas, canteras, laboreos mineros e instalaciones de beneficios de mineral que se consideran huellas del tratamiento antiguo.

Los sitios Geológicos pueden contribuir al desarrollo del conocimiento geológico, que solo no se aprenda en la universidad, que se conviertan en zonas de enseñanza al incremento de la cultura sobre la naturaleza, al incremento del estudio de la geología, y mostrar las riquezas minerales y petrográfica de la región, así como las acciones medio ambientales para su restauración y conservación.

El ambiente geológico donde se enmarcan los Sitios Geológicos esta bordeado por un grupo de instalaciones turísticas y sitios socio – culturales – históricos constituyendo una opción a insertarse en las ofertas turísticas de la región tanto para el turismo nacional como internacional, puesto que en la actualidad existe una ausencia de ofertas del turismo científico y la necesidad de reconocer estos Sitios como un valor Patrimonial y Cultural de la provincia Holguín.

ABSTRACT

The Volcanic Arch of the region of Holguín is located in the NW part of the Holguín province and the northeastern part of the Las Tunas province. It is an area of valuable Geologic Places as for its geography, geologic atmosphere, exploration degree and exploitation of its resources.

The journey for the different geologic points as Aguas Claras, Reina Victoria, Nuevo Potosí, Los Naranjos y Monte Rojo among other not only allows us to observe the geology of one mixed area with the attractive nature, but we can also see the presence of excavations, mine pits, quarries, mine workings and facilities of mineral dressing that are considered prints of the old treatment.

The Geologic places can contribute to the development of the geologic knowledge allowing that the learning was not only in the university, becoming areas to the increment of the culture on the nature, to the increment of the study of the Geology, and to show the mineral and petrographic facilities of the region, as well as the environmental actions for their restoration and conservation.

The geologic ambient where the Geologic Places are situated is framed by a group of tourist facilities and social-cultural-historical places constituting an option to be inserted in the tourist offers of the region for both the national and international tourism, since at the present time there exist an absence of offers of the scientific tourism and the necessity of recognizing these places like a patrimonial and cultural value of the Holguín province.

INTRODUCCION

Por que es atractivo este Sitio?

❖ Por su típica y compleja geología.

- ❖ Por los estudios realizados en esta zona.
- ❖ Por ser una zona altamente atractiva y bonita.
- ❖ Por su grado de accesibilidad.
- ❖ Por tener la provincia una infraestructura de turismo que facilita esta proyección.

Para quienes se realiza esta Estrategia?

- ❖ Para la Oficina Nacional de Recursos Minerales.
- ❖ Oficina de Patrimonio.
- ❖ El Turismo Nacional y Extranjero.
- ❖ MES y MINED.
- ❖ Proyectos de educación a distancia.
- ❖ Apoyo a universidad para todos.
- ❖ Escuelas de verano a estudiantes nacionales, de Centro América y el Caribe.
- ❖ La provincia Holguín como centro de conocimiento geológico para el país.
- ❖ Diversificación de las riquezas Naturales – Turística de Cuba.

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

1-Hipótesis

Hoy en día se desaprovecha las riquezas geológicas naturales en las diferentes acciones estratégicas de Patrimonio, Turismo, Cultura y Educación

2- Metodología

- Análisis situacional

3- Selección de valores

- Propuesta de Sitios Geológicos
- Proyección de desarrollo
- Formulación de proyectos para I+D
- CITMA Gestión Medio Ambiental
- Turismo
- Campismo
- Fuerza de Trabajo

5- Instrumento de seguimiento y control

- Responsables
- Control
- Supervisión
- Gestor de los RR HH

SITIOS GEOLOGICOS PROPUESTOS

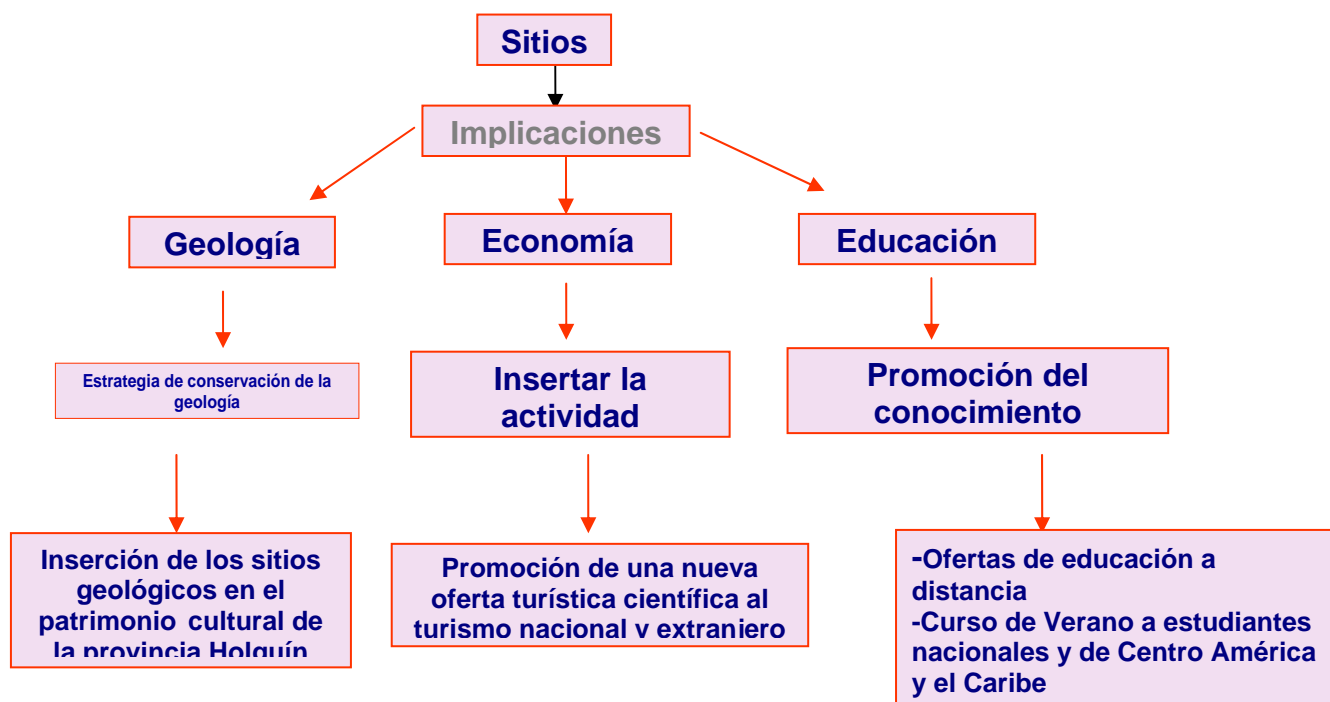
- ❖ Aguas Claras se encuentran en el municipio de Holguín, en la provincia del mismo nombre, a 8 Km. de la capital provincial por la carretera a Gibara.

En el área se encuentran las instalaciones de la planta de beneficio paralizada por el periodo especial, actualmente se encuentra en total abandono, canibaliada y con varias propuestas a ocupar la instalación por diferentes Empresas. Existen vestigios de laboreos antiguos, pozo de minas, galerías, presa de cola, lavaderos todo esto actualmente se encuentra en un abandono total. Es una zona importante para la prospección con una presencia alta de mineralización

- ❖ Nuevo Potosí se encuentra dentro del manto tectónico Damián Cañadón , con una mineralización auro- sulfurosa endógena
- ❖ La Agrupada tiene una mineralización aurífera, geológicamente esta compuesto por cuerpos subvolcánicos de dioritas, En el yacimiento agrupada se realizaron pozos criollos y trincheras para explotar parcialmente vetas de cuarzo.
- ❖ Monte Rojo tiene una mineralización cupro aurífera, piritita, existen indicios de trincheras y pozos minerales

En general son zonas minerales altamente perspectivas donde a cesado la actividad de exploración y explotación, por situación económica.

CONCLUSIONES



RECOMENDACIONES

1-Estos son, entre otros no menos representativos, Sitios que constituyen un patrimonio geológico de gran interés y que puede ser una vía para relacionarlo con las ofertas turísticas que brinda el turismo nacional e internacional, puede constituir una ruta turística por la posibilidad de que cerca de estos sitios, existen instalaciones Hoteleras, culturales e históricas importantes y bellas de la provincia, incluyendo la ciudad del mismo nombre.

2-Integración de la geología de la región al desarrollo del turismo, con esto mejoraría la calidad de vida de las comunidades pues se integrarían a la recuperación ambiental de las zonas propuestas y se evitaría la actividad extractiva de alta participación ilegal.

3-Mejorar el trabajo de monitoreo, control y seguimiento en cuanto a la atención que existen a estos sitios geológicos, por las autoridades de la provincia en cuanto al trabajo de recuperación medio ambiental de estos y de la población en general.

4-Creación de un sistema de información de estos sitios geológicos que incluya todos los aspectos relacionados con el conocimiento de las riquezas del suelo y el subsuelo en las ofertas de recreación turística de la Provincia.

5-Realizar ofertas para el turismo científico.

6-reconocer estos sitios como valor Patrimonial y Cultural de la provincia Holguín.

7-Utilizar estos sitios como promoción del conocimiento a las universidades y como fuente de empleo.

8-Proyectar de rehabilitación al Medio ambiente de la actividad del hombre.

9-insertar la población en la política de conservación de estos sitios y potenciar la fuente de empleo.

BASE DIGITAL DE POZOS DE LA REGION ORIENTAL, COMO PATRIMONIO DEL CONOCIMIENTO GEOLÓGICO

María Caridad Aguller Martínez⁽¹⁾, Iris Méndez Calderón⁽¹⁾

⁽¹⁾ Empresa Geominera de Oriente, Carretera de Siboney Km. 2¹/₂ Alturas de San Juan. Santiago de Cuba.
E-mail: ⁽¹⁾: caquiller@geominera.co.cu

RESUMEN

La confección de las bases de datos digitales realizadas en el país en los últimos años ha permitido no solamente la necesidad de tener un acceso y procesamiento rápido de la información geológica, sino también representa la conservación del conocimiento geológico pretérito, lo cual nos facilitará su uso y procesamiento. Este trabajo presenta la base de Datos con la información primaria de los Pozos perforados en el territorio de las cinco provincias orientales con datos desde el año 1960 y está preparada para ser exportada al sistema GeoDato, lo que permitirá su normalización y estandarización según normas internacionales. Actualmente no existen los testigos de pozos, ni las casas de muestras, pero tenemos toda la información en profundidad de gran parte del territorio al alcance de los usuarios del Servicio Geológico Nacional.

La base de Datos está sustentada en la introducción de 227 informes relacionados con trabajos de Levantamiento, Prospección, Exploración, Reconocimientos Temáticos – productivos y geólogos – Tecnológicos de materias primas metálicas (oro, hierro, cromo, manganeso, cobre y polimetálicos), de materias primas no metálicas y de agua, con la información de 11 966 pozos perforados con un metraje total de 646 303.31 m. y 121 762 resultados.

A esta base de datos se le concede un valor patrimonial, ya que contiene información única, de más de cuarenta años de trabajo geológico en las provincias orientales, que recoge la labor realizada de investigadores cubanos y extranjeros, permitiendo un rápido acceso a la información en profundidad.

ABSTRACT

The making of the digital databases carried out in the country in the last years has allowed not only the necessity of having an access and quick prosecution of the geologic information, but it also represents the conservation of the past geologic knowledge.

This work presents the database with the primary information of the perforated holes in the territory of the five eastern provinces with data from the year 1960 and it is prepared to be exported to the system GeoDato, what will allow its normalization and standardization according to international norms. At the moment already the cores of holes neither the houses of samples do not exist, but we have all the information in depth of great part of the territory within reach of the users of the National Geologic Service.

The database is sustained in the introduction of 227 reports related with works of cartography, prospecting, exploration, thematic-productive recognitions and geologic–technological of metallic minerals (gold, iron, chromium, manganese, copper and base metals), of non metallic materials and of water that contains the information of 11 966 perforated holes with a total length of 646 303.31 m. and 121 762 results.

To this database is granted a patrimonial value, since it contains unique information of more than forty years of geologic work in the eastern provinces, resuming the carried out work of Cuban and foreign investigators and allowing a quick access to the information in depth.

INTRODUCCIÓN

La actividad geológica para minerales sólidos y aguas minerales acomete una serie de trabajos para la organización y estandarización de la información geológica, por ello se trabaja en la creación de bases de datos en formato digital, lo cual nos permitirá tener un acceso y procesamiento rápido de la información existente y nos ayudará a la conservación de la misma.

Este trabajo presenta la base de Datos con la información primaria de los Pozos perforados en el territorio de las cinco provincias orientales. Actualmente no existen los testigos de pozos, ni las casas de muestras, pero tenemos toda la información generada en profundidad de gran parte del territorio al alcance de los usuarios del Servicio Geológico Nacional.

Esta base de datos está preparada para ser exportada al sistema GeoDato, lo que permitirá su normalización y estandarización según normas internacionales.

La Base de Datos Digital de pozos perforados en el territorio de las provincias orientales, contiene la información de 227 informes, relacionados con trabajos Temáticos- Productivos, Geólogo-Tecnológicos, Levantamientos, Reconocimientos (búsquedas y prospecciones preliminares y trabajos de evaluación y revisión), de Prospección y de Exploración (Exploración Orientativa, Detallada y de Explotación), de materias primas metálicas de cobre, hierro, oro, cromo, manganeso y polimetálico y de materias primas no metálicas que comprende: estudios para piedra para la construcción, ornamentales, arcilla, grava, cantos rodados, fosforita, fango coralino, asbesto crisotílico, cienos carbonatados, cemento, carbonato de calcio, zeolita, vidrio volcánico, creta, yeso, feldespato, diatomitas, y de aguas minero-naturales, aguas minero-medicinales y termales minero-medicinales.

MATERIALES Y METODOS

Para la confección de la Base de Datos partimos de la información recopilada de La Base de Datos Referativa de las provincias Orientales, la cual recogía fundamentalmente los Estudios realizados en las provincias de Holguín, Guantánamo, Granma, y Santiago de Cuba, por lo cual la información de Pozos de la provincia de Victoria de las Tunas es más restringida, y solo abarca ocho estudios cuyos pozos se ubican en ese territorio.

La Base de Datos se estructuró para la captación de los datos de los pozos de perforación existentes en los diferentes Informes realizados en las provincias orientales.

Según la información que brindan, las tablas se clasificaron en:

Tabla de Ubicación e Identificación: DATOS

Tablas de Resultados: ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL, EDAD ABSOLUTA, ENSAYO FISICO MECANICO, ESPECTRAL DE AGUA, GRANULOMETRIA, ESPECTRAL, PETROGRAFIA, QUÍMICO, QUÍMICO DE AGUA, DIFRACCIÓN DE RAYOS X , TIERRAS RARAS, REGISTRO DE ANALISIS y LITOLOGIA.

Tablas Decodificadoras: ANALISIS, ARCHIVO, INFORMES, NIVEL DE ESTUDIO, y PROVINCIA.

RESULTADOS y DISCUSION

Esta base de Datos está sustentada en la introducción de 227 informes relacionados con trabajos de Levantamiento, Prospección, Exploración, Reconocimientos Temáticos – productivos y geólogos – Tecnológicos de materias primas metálicas (oro, hierro, cromo, manganeso, cobre y polimetálico) y de materias primas no metálicas y de agua, que contiene la información de 11 966 pozos perforados con un metraje total de 646 303.31 m. y 121 762 resultados.

La Base de Datos nos brinda la siguiente información: Estudio fuente, archivo, Hoja Topográfica, número de pozo con sus coordenadas x, y, z, profundidad, nivel freático, descripción litológica con la formación o Complejo Geológico, tipo de análisis y los resultados de análisis Químico de Rocas y

Aguas, Espectral de Rocas y Aguas, Granulometría, Ensayos Físico – Mecánicos, análisis Térmico Diferencial, Difracción de Rayos X, Tierras raras, Edad Absoluta y Petrografía. Adjunto a la base de Datos aparece un catálogo de 77 hojas topográficas en formato digital a escala 1: 50 000, con los elementos de referencia de carreteras, ríos, poblados y ferrocarriles, con la ubicación de los pozos de la Base de Datos.

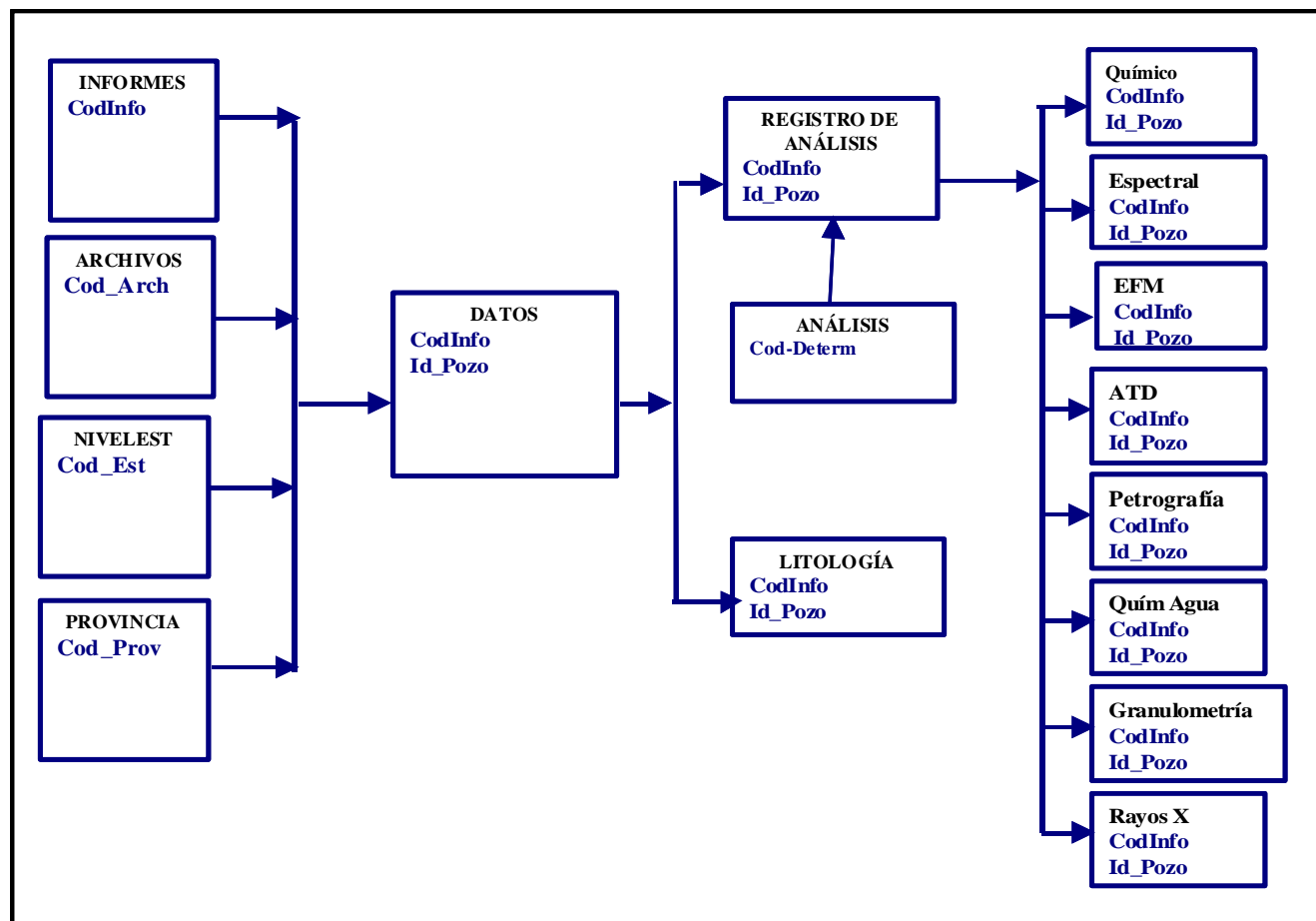


GRAFICO Nº1: GRAFICO ILUSTRATIVO DEL DISEÑO DE RELACIONES DE LA BASE DE DATOS

CONCLUSIONES

1. A esta base de datos se le concede un valor patrimonial, ya que contiene información única, de más de cuarenta años de trabajo geológico en las provincias orientales.
2. Recoge la labor realizada de investigadores cubanos y extranjeros, permitiendo un rápido acceso a la información en profundidad.
3. En la confección de la Base de Datos participaron autores de los Informes Fuentes.
4. Se consulta y extrae la información de 11 966 pozos del territorio oriental de forma rápida y sin deterioro de 227 informes que lo contienen.

BIBLIOGRAFÍA

Para la realización de esta Base de Datos se consultaron un total de 227 Informes entre los cuales podemos citar:

- Golovkin, L., et al. 1981. Informe sobre los resultados del Levantamiento geológico a Escala 1: 100 000 realizado en la parte oeste de la Sierra Maestra durante los años 1976-1977 (2^{da} Etapa). Sierra Maestra III. Oficina Territorial Santiago de Cuba de Recursos Minerales.
- Gyarmati, P., et al. 1990. Informe final sobre los trabajos de levantamiento geológico en escala 1: 50 000 y búsquedas acompañantes en el polígono V Guantánamo. Archivo Técnico. E.G.M.O.
- 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.
- Kuzovkov, G., et al. 1988. Informe sobre el Levantamiento geológico a escala 1: 50 000 y búsquedas acompañantes ejecutadas en el área de la Gran Piedra al Este de Santiago de Cuba en los años 1983-1987. Archivo Técnico. E.G.M.O.
- Núñez, A., et al. 1981. Informe geológico sobre los trabajos de levantamiento y búsqueda a escala 1: 100 000 y los resultados de los trabajos búsquedas a escala 1: 50 000 y 1: 25 000 ejecutados en la parte Este de la provincia de Guantánamo, Plancheta 5276 y 5376. Años 1977-1981. Archivo Técnico. E.G.M.O.
- Pentelenyi, L., et al. 1988. Informe sobre los resultados del levantamiento geológico complejo y búsquedas acompañantes a escala 1: 50 000 en el polígono IV CAME_HOLGUIN, 1983-1988. Archivo Técnico. E.G.M.O.
- Velázquez, M., et al. 1989. Informe sobre los resultados de la búsqueda acompañante a escala 1:25 000 del área del complemento al Levantamiento geológico a escala 1: 50 000 del polígono IV CAME-HOLGUIN. Archivo Técnico. E.G.M.O.

LA GRAN PIEDRA, GEOLOGÍA Y PATRIMONIO

Iris Méndez Calderón,⁽¹⁾ Rubén Ruiz Sánchez,⁽¹⁾ Ramona Rodríguez Crombet⁽¹⁾

⁽¹⁾ Empresa Geominera de Oriente, Carretera de Siboney Km. 2¹/₂ Alturas de San Juan. Santiago de Cuba.
E-mail: (1): imendez@geominera.co.cu

RESUMEN

En esta región concurren elementos significativos de relevantes valores geológicos, mineros e históricos, los cuales confieren al lugar valores patrimoniales incalculables.

Son ya muchos los sitios a nivel mundial que integran valores tales como la geología, minería, fauna, flora, cultura, paisajes, etc., creándose a través de promulgaciones de leyes los parques culturales.

En este trabajo se sugieren los aspectos esenciales, que revelan el significado del sitio para este fin.

La propuesta se basa en los siguientes aspectos:

Presencia de una gran Mole pétreo representada como un relicto insitu de procesos de intemperismo, de 63 000 ton.

Afloramientos del Arco de Isla Volcánico del Cretácico de edad Campaniano-Maastrichtiano.

Presencia de afloramientos típicos del Arco de Isla Volcánico del Paleógeno de edad Paleoceno-Eoceno Medio.

Presencia de Afloramientos derivados del metasomatismo y metamorfismo de contacto.

Canteras de donde se extraía mineral de hierro.

Rocas mágnicas intrusivas.

Cantera de donde se extraía posible mineralización de minerales preciosos (cantera Sigua).

Afloramientos de Rocas Mágnicas del último estadio del Arco Volcánico Paleógeno.

Incluir y trabajar estos aspectos conllevaría a revelar el significado del sitio, realzar sus valores y aumentar su utilización, y concienciar a las instituciones y población en que participen en su conservación.

ABSTRACT

In this region significant elements of excellent geologic and mining and historical values converge which confer to the place incalculable patrimonial values.

In the world there are already many parks that integrate such values as the geology, mining, fauna, flora, culture, landscapes, etc., being created through promulgations of laws the cultural parks.

In this work the essential aspects that reveal the meaning of the place for this end are suggested.

The proposal is based on the following aspects:

The presence of a great stony mass represented as relic in situ of weathering processes weighting 63 000 t;

Outcrops of the island arch from the Campanian-Maastrichtian Cretaceous;

Presence of typical outcrops of the Paleogenic volcanic arch;

Presence of typical outcrops of metasomatism and contact metamorphism;

Quarries of where iron mineral was extracted;

Magmatic intrusive rocks;

Quarry of where possible mineralization of precious minerals was extracted (quarry Sigua);

Outcrops of magmatic rocks of the Paleogenic volcanic arch last stadium.

To include and to work these aspects would bear to reveal the meaning of the place, to enhance their values and to increase their use, and to make aware the institutions and population to participate in their conservation.

INTRODUCCION.

En esta región concurren elementos significativos de relevantes valores geológicos, mineros e históricos, los cuales confieren al lugar valores patrimoniales incalculables, se ha manejado por parte de las instituciones cubanas el legado cultural, y la diversidad de la fauna y flora por lo cual éste forma parte del parque nacional la Gran Piedra y del Parque Natural Baconao, reserva de la biosfera.

Son ya muchos los parques a nivel mundial que integran valores tales como la geología, minería, fauna, flora, cultura, paisajes, etc., creándose a través de promulgaciones de leyes los parques culturales que integran múltiples aspectos a nivel regional.

En este trabajo se sugieren los aspectos esenciales, que revelan el significado del sitio para este fin, haciéndose énfasis en el patrimonio geológico y minero-metalúrgico.

MATERIALES Y METODOS

Para la confección del trabajo se utilizó la información geológica existente en los archivos geológicos, publicaciones relacionadas, recorridos por la zona e información de sitios web.

DESARROLLO

Patrimonio geológico.

La Gran Piedra forma parte del macizo montañoso y del bloque tectónico del mismo nombre, en la región están presentes formaciones rocosas del Arco Volcánico del Cretácico y Paleógeno, metamorfitas ligadas a los procesos de emplazamientos de los macizos intrusivos, yacimientos de skarns de hierro y zonas con mineralización de metales preciosos.

Es de destacar la presencia de una gran Mole pétreo representada como relicto insitu de procesos de intemperismo, de 63 000 ton., la tercera mayor piedra en estado sólido del planeta según los records Guinness, la cual forma parte de los aglomerados tobáceos típicos de la región, formados por fragmentos orientados de origen volcánico con tamaños de hasta 55 cm, pero que generalmente presentan dimensiones entre 1-20 cm, estos fragmentos están constituidos por rocas efusivas de diferente composición, englobados en un cemento microfelsítico con procesos de epidotización y oxidación, también es característico la presencia de fragmentos de vidrio con formas de fiamme que le dan a la roca un carácter ignimbrítico, su origen está vinculada a la actividad del Arco Paleógeno.

Las rocas del Arco Cretácico más típicas están representadas por rocas carbonatadas las cuales han sufrido procesos de recristalización y skarnización como consecuencia del metamorfismo de contacto, subordinadamente hay rocas terrígenas y volcanógenas-sedimentarias, es característico la presencia de mármoles y calizas bituminosas.

Las rocas del Arco Paleógeno están representadas por paquetes de rocas de gran diversidad y composición, representadas por rocas piroclásticas, lávicas y volcano- sedimentarias, con abundantes mantos y cuerpos extrusivos con composiciones básicas a ácidas, se destacan además pequeños cuerpos y diques del último estadio magmático, para esta parte es característico la presencia de tobas con características ignimbríticas.

En esta parte aflora el macizo intrusivo Daiquiri que forma un cuerpo irregular de 25 km., de largo y 3-6 km de ancho, constituido por la Formación Gabro-plagiogránítica y la Tonalito-Granodiorítica, constituida ambas indistintamente por gabros, gabros dioritas, dioritas, dioritas cuarcíferas, tonalitas, plagiogranitos, granodioritas, aplitas y pegmatitas.

En diferentes lugares, subiendo la Gran Piedra se observan desde esa altura la cuenca y la bahía de Santiago de Cuba, formadas por depósitos del neógeno-cuaternario.

Patrimonio minero-metalúrgico.

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 de las menas extraídas era magnetítica- hematítica.

Existen diversas canteras aproximadamente doce sitios donde se observan las huellas de los procesos de explotación.

Además están presentes antiguas instalaciones ligadas al proceso extractivo y de apoyo.

Esta es la región de Cuba con mayor extracción de mineral de hierro de este origen.

Conclusiones y recomendaciones.

La región constituye un lugar atractivo para el conocimiento de la evolución de una parte del Archipiélago Volcánico del Paleógeno y Cretácico, ya que se exponen gran diversidad de las formaciones geológicas que lo constituyen, se observan las huellas de una fuerte explotación minera, y como atractivo especial y record mundial la presencia de la **Gran Piedra** que se alza en el paisaje como vestigio de una intensa actividad volcánica extinguida.

Sugerimos que esta región por sus valores paisajísticos, culturales, históricos, naturales y los antes expuestos sea evaluado como **parque cultural de Cuba**.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 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.
- Kusakov, G. y otros. 1988. Informe sobre el levantamiento geológico escala 1:50 000 y búsquedas acompañantes en la región de la Gran Piedra. Archivo ONRM.
- 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.



Mapa de ubicación de la Gran Piedra.



Vista Aérea del Relicto Rocoso de la Gran Piedra.

RECOPIACION RESUMIDA DE DEPOSITOS METALICOS DE HOLGUIN- GUANTANAMO: DIVULGACIÓN Y PRESERVACIÓN DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO DE CUBA

Yasmina Recouso Contreras,⁽¹⁾ Marisol Rodriguez Mejias.⁽¹⁾ Esmérída Llull Garcia⁽¹⁾

⁽¹⁾ Empresa Geominera de Oriente, Carretera de Siboney Km. 2¹/₂ Alturas de San Juan. Santiago de Cuba.
E-mail: ⁽¹⁾: yrecouso@geominera.co.cu

RESUMEN

Geólogos de varios países y cubanos realizaron en nuestro país investigaciones geológicas, incrementándose éstas a partir del triunfo de la Revolución Cubana. En la actualidad se sintetizan estas investigaciones en Bases de Datos a través de todas las Empresas Geomineras de nuestro país. Divulgando el alto nivel del conocimiento geológico, llamada a preservar para las generaciones presentes y futuras, por el alto valor patrimonial, social y económico en la historia de la Geología de Cuba siendo una memoria histórica para la nación.

Esta divulgación y conservación plasmada en un formato digital está constituida por el levantamiento sistemático de la documentación conservada de las diferentes instituciones, donde de forma resumida se dan a conocer las ocurrencias minerales metálicas por provincias, en específico se refiere este trabajo a las provincias orientales, previa validación y estandarización de los datos utilizando las Normas Internacionales, cuyos datos son reinterpretados teniendo en cuenta el incremento del conocimiento geológico actual, permitiendo en el futuro la consulta, procesamiento y análisis de la información, pudiéndose divulgar por medio de programas más específicos de computación sugiriendo su conservación y divulgación en Archivos Históricos Provinciales y Municipales.

ABSTRACT

Geologists of several countries and Cubans carried out in our country geologic investigations, being increased since the victory of the Cuban Revolution. At the present time these investigations are synthesized in databases through all the Geomineras enterprise of our country. Disclosing the high level of the geologic knowledge allow preservation for the present and future generations of the high patrimonial, social and economic value in the history of the Geology of Cuba being a historical memory for the nation.

This popularization and conservation captured in a digital format are constituted by the systematic rising of the conserved documentation of the different institutions, where in a summarized way they are given to know the metallic mineral occurrences for provinces, in specific refers this work to the eastern provinces, previous validation and standardization of the data using the International Norms whose data are reinterpreted keeping in mind the increment of the current geologic knowledge, allowing in the future the consultation, prosecution and analysis of the information, being able to disclose by means of more specific programs of calculation, also suggesting their conservation and popularization in Provincial and Municipal Historical Files.

INTRODUCCION

El conocimiento geológico de las ocurrencias minerales en Cuba se remonta a los tiempos en que llegó a las costas cubanas en la parte Norte de la antigua Provincia de Oriente, el Gran Almirante Cristóbal Colón donde observó el arrastre de los ríos de los sedimentos ferruginosos al parecer perteneciente a los depósitos lateríticos del Norte de la Provincia Holguín. Así desde los tiempos de la colonia, geólogos de varios países y cubanos han realizado en nuestro país investigaciones geológicas incrementándose éstas a partir del triunfo de la Revolución Cubana de una forma más organizada. Cada geólogo en el decursar del tiempo ha aportado su granito de arena en estos trabajos investigativos, cuyo esfuerzo se han sintetizado en una Base de Datos en las que

intervienen los trabajos realizados hasta nuestros días de las provincias Holguín, Guantánamo, Santiago de Cuba y Granma, divulgando el alto nivel del conocimiento geológico llamado a preservarlo para las generaciones presentes y futuras, por su alto valor patrimonial, social y económico en la historia de la Geología de Cuba siendo una memoria histórica para la nación.

Esta Base de Datos contempla la realización de la Recopilación de la Información Resumida de los Recursos Minerales Metálicos en las provincias de Holguín, Guantánamo, Santiago de Cuba y Granma, para actualizar la Estructura de la Base de Datos de Minerales Sólidos que se confecciona con las ocurrencias de minerales metálicos (yacimiento, prospecto, manifestación y punto de mineralización) pertenecientes a ambas provincias, cumplimentando los requisitos establecidos por el Programa GeoDato para la materialización del “Sistema de base de datos y digitalización de la información geológica para la Unión Geominera” confeccionado y dirigido por el IGP en coordinación con la O.N.R.M que lo aprobó y lo financia, cuyo objetivo es llevar a un formato digital la información resumida de las ocurrencias minerales metálicas existentes previa validación y estandarización de los datos y garantizando no incurrir en errores al brindar la información digitalizada, utilizando las Normas Internacionales ISO/DIS 19100 de ISO/TC 211

Esta divulgación plasmada en un formato digital está constituida por el levantamiento sistemático de la documentación conservada de las diferentes instituciones como son los archivos de la ONRM, IGP, Centros Universitarios y el de nuestra EGMO, donde de forma resumida se dan a conocer las ocurrencias minerales metálicas de las provincias antes mencionadas, siendo éstas reinterpretadas, teniendo en cuenta el incremento del conocimiento geológico actual, que en un futuro permitirá la consulta, procesamiento y análisis de la información según las técnicas computarizadas disponibles.

MATERIALES Y METODOS

Para el procesamiento del trabajo lo dividimos en dos etapas:

- 1.- Confección y Validación de Fichas Primarias.
- 2.- Confección y Validación de Fichas Resumidas

Confección y validación de fichas primarias.

Levantamiento de toda la información según el tipo de ocurrencias existentes como son: yacimientos, prospectos, manifestaciones y puntos minerales que incluye Informes Geológicos y Trabajos Científicos realizados en las provincias de Holguín y Guantánamo, este trabajo se hizo para cada uno de los informes respetando los criterios de los autores en cada aspecto analizado, llenándose los 10 Modelos, siguientes:

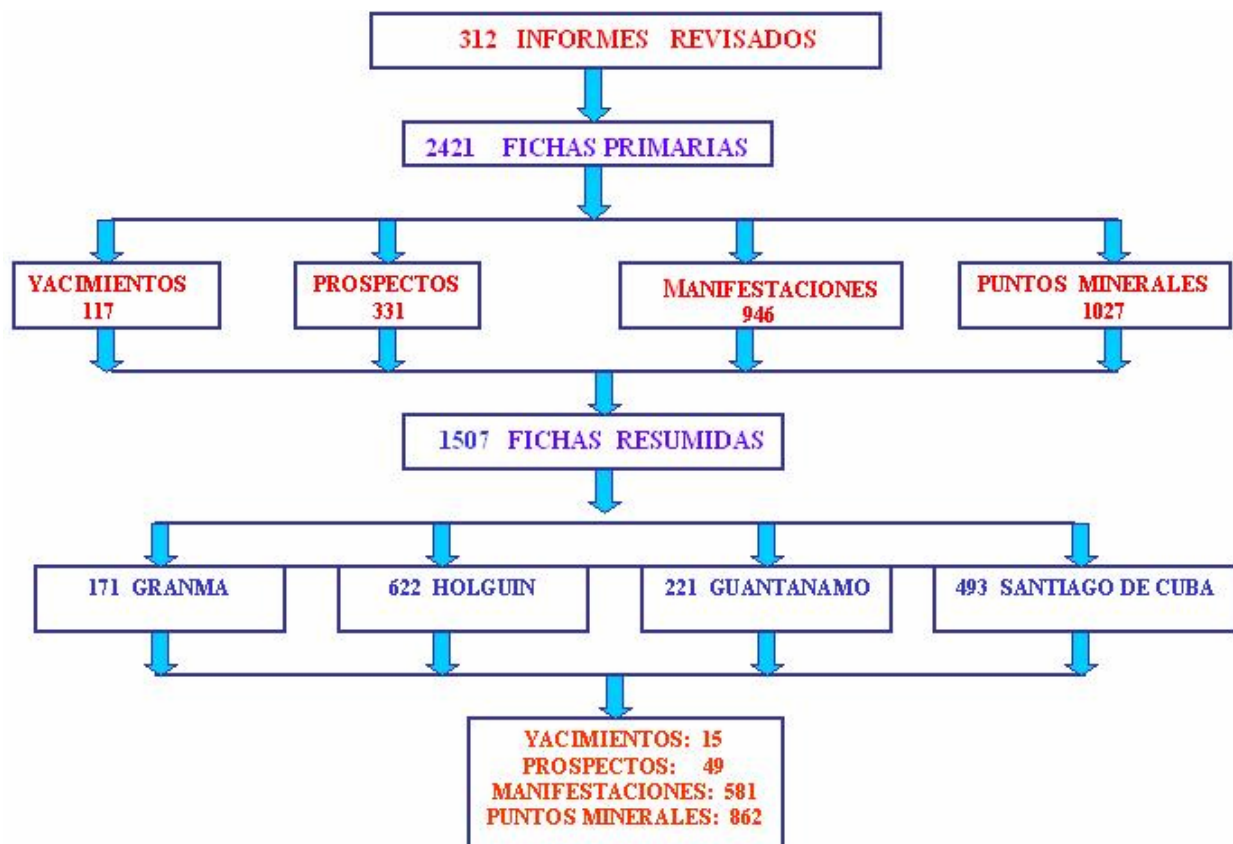
- Modelo # 1 Datos Generales
- Modelo # 2 Mineralización
- Modelo # 3 Recursos
- Modelo # 4 Cuerpos Minerales
- Modelo # 5 Sector
- Modelo # 6 Condiciones Técnico Mineras e Hidrogeológicas
- Modelo # 7 Geoquímica / Geofísica
- Modelo # 8 Gráficos
- Modelo # 9 Informes
- Modelo # 10 Pozos y Labores

Siempre consultando los aspectos a tratar del Manual de Extracción de la Base de Datos: “Estructura para la información resumida de los Recursos Minerales Sólidos” de todas las ocurrencias

minerales metálicas de las provincias antes mencionadas, a estas fichas se denominaron Fichas Primarias, siendo minuciosamente validadas.

Confección y validación de fichas resumidas

Consiste en la elaboración de una Ficha Resumen a partir de todas las Fichas Primarias de un mismo depósito mineral; donde se reinterpretan los datos teniendo en cuenta el incremento del conocimiento geológico actual, siendo éstas también validadas según el Manual de Extracción y el GeoData, este trabajo en un futuro permitirá la consulta, procesamiento y análisis de la información según las técnicas computarizadas disponibles, sirviendo de material de consulta de especialistas y estudiantes de diferentes instituciones educativas, pudiéndose divulgar por medio de programas más específicos como Encarta, Revistas Mineras, Páginas Web, Mapa de Yacimientos Minerales en escalas 1: 250 000 o mayores de las provincias orientales más actualizado objetivo fundamental de esta Base de Datos, etc, sugiriendo también su conservación y divulgación en Archivos Históricos Provinciales y Municipales.



RESUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS EN LAS PROVINCIAS ORIENTALES

Todo el trabajo realizado durante tantos años recogido en esta Base de Datos constituye un Patrimonio Geológico - Minero llamado a preservar, conservar y divulgar para la disposición de todos los investigadores y estudiosos de nuestra historia investigativa teniendo como lema: Amar y Proteger Nuestro Patrimonio es Defender Nuestra Identidad.

CONCLUSIONES

El contenido de este trabajo además de ser por si solo un patrimonio para la posteridad, nos da suficiente información y datos para:

- El desarrollo de la minería aurífera en el territorio holguinero, granmense y santiaguero y en menor escala en el territorio guantanamero.
- La perspectiva de desarrollo de la minería de metales bases y fundamentalmente de cobre en las provincias de Santiago de Cuba y Guantánamo.
- Se infiere a su vez la perspectiva del desarrollo de la minería del cromo y otros metales de la metalurgia ferrosa fundamentalmente en la Provincia de Holguín.
- Contamos también con una Base Geológica mas adecuada para las negociaciones con capital extranjero y entidades nacionales.
- Se resguardará toda la información en un soporte digital y magnético estructurado según Normas Internacionales.

BIBLIOGRAFIA

Entre los informes consultados se señalan los siguientes:

- 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.
- Fernández, A., et al. 1996. Informe final del resultado 5563 Metalogenia de la Sierra Maestra. Problemas de Ciencias Naturales. Estudio geológico integral de la Sierra Maestra. Archivo Técnico. E.G.M.O.
- Fernández, A., 1997, T.T.P. Banco de datos Manganese provincias Orientales. Archivo Técnico. E.G.M.O.
- Galán Z., et al. 1995. Informe del T.T.P. Generalización hidrogeológica de las aguas minerales de las provincias Orientales. Archivo Técnico. E.G.M.O.
- Galán Z., et al. 1996. T.T.P. Completamiento y automatización de la información hidrogeológica de Cuba Oriental. Archivo Técnico. E.G.M.O.
- Golovkin, L., et al. 1981. Informe sobre los resultados del Levantamiento geológico a Escala 1: 100 000 realizado en la parte oeste de la Sierra Maestra durante los años 1976-1977 (2^{da} Etapa). Sierra Maestra III. Oficina Territorial Santiago de Cuba de Recursos Minerales.
- 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.
- Gyarmati, P., et al. 1990. Informe final sobre los trabajos de levantamiento geológico en escala 1: 50 000 y búsquedas acompañantes en el polígono V Guantánamo. Archivo Técnico. E.G.M.O.
- 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.
- Kuzovkov, G., et al. 1988. Informe sobre el Levantamiento geológico a escala 1: 50 000 y búsquedas acompañantes ejecutadas en el área de la Gran Piedra al Este de Santiago de Cuba en los años 1983-1987. Archivo Técnico. E.G.M.O.
- Méndez, I., et al. 1998. T.T.P. Estudio Petrológico de los A.I.V. de Cuba Oriental y algunas consideraciones de su metalogenia. Oficina Nacional de Recursos Minerales.
- 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.
- Núñez, A., et al. 1981. Informe geológico sobre los trabajos de levantamiento y búsqueda a escala 1: 100 000 y los resultados de los trabajos búsquedas a escala 1: 50 000 y 1: 25 000 ejecutados en la parte Este de la provincia de Guantánamo, Plancheta 5276 y 5376. Años 1977-1981. Archivo Técnico. E.G.M.O.

- Pentelenyi, L., et al. 1988. Informe sobre los resultados del levantamiento geológico complejo y búsquedas acompañantes a escala 1: 50 000 en el polígono IV CAME_HOLGUIN, 1983-1988. Archivo Técnico. E.G.M.O.
- Pérez, M., et al. 1997. Informe base de datos petrográfica, mineralógica y mineragráfica de las secuencias rocosas de Cuba Orienta. Archivo Técnico. E.G.M.O.
- Tapia, M.E., et al. 1995. Informe sobre la generalización de las investigaciones geólogo-tecnológicas sobre oro Endógeno y de placer en la región de Holguín. Archivo Técnico. E.G.M.O.

PROTECCION Y CONSERVACION DEL PATRIMONIO GEOLOGICO DEL TERRITORIO CAMAGÜEYANO

Enrique Piñero Pérez, Victoria González Pacheco, Israel Alemán Trotman.

Empresa Geominera Camagüey. Carretera Central Km 5 ½, Camagüey.

RESUMEN

Conociendo que para los estudiosos de las ciencias geológicas, la geología del territorio camagüeyano constituye una parte muy interesante del archipiélago cubano, dado al rico potencial natural y alto grado de estudio geológico producto de la gran cantidad de trabajos e investigaciones geológicas realizadas, que nos permiten disponer de numerosos sitios de interés geológico a proteger y la necesidad de garantizar un legado a la nueva generación. Pretendemos con el presente trabajo iniciar la promoción de la protección y conservación del patrimonio geológico de la provincia Camagüey, presentando las principales localidades de interés geológico y paleontológico. Utilizando para ello holoestratotipo y localidad tipo de algunas de las principales formaciones geológicas del Arco de Islas del Cretácico y sus rocas intrusivas con la descripción detallada de sus características y situación actual.

Acompañarán el presente trabajo mapa de micro y macrolocalización, fotos y gráficos, así como propuestas de medidas de conservación y protección en línea con las acciones que se realizan a favor de la conservación del patrimonio geológico. Además de que toda la información referente a estos sitios será almacenada en una base de datos digital soportada sobre una plataforma SIG que permitirá su actualización, selección y manejo de manera rápida y eficiente.

Proponemos además neoestratotipos para aquellas unidades estratigráficas en que por falta de protección su holoestratotipo o localidad tipo haya desaparecido por las acciones constructivas u otras razones. Siempre teniendo en cuenta además de su valor geológico, la facilidad de acceso a estas áreas.

También designamos localidades para las principales litologías de las rocas intrusivas que caracterizan los diferentes complejos presentes en nuestra región.

El presente trabajo se continuará enriqueciendo con los restantes sitios pertenecientes a los demás complejos rocosos.

ABSTRACT

Knowing that the geology of the territory of camagüeyano constitutes a very interesting part of the Cuban archipelago for the specialists of the geologic sciences and given to the rich natural potential and high degree of geologic study as product, great quantity of works and geologic investigations carried it that allow to have numerous places of geologic interest to protect and the necessity to guarantee a legacy to the new generation. The present work begins the promotion of the protection and conservation of the geologic patrimony of the Camagüey province, presenting the main localities of geologic and paleontological interest. Using for it holostratotype and locality type of some of the main geologic formations of the Cretaceous Arch of Islands and their intrusives rocks with the detailed description of their characteristics and current situation.

It will accompany the present work micro map and macrolocalization, pictures and graphics, as well as proposals of conservation actions and on-line protection with the actions that are carried out in favor of the conservation of the geologic patrimony. Besides all the information with respect to these places will be stored in a digital database supported on a EIS platform that will allow it's bring up to date, selection and handling in a quick and efficient way.

We also propose neostratotypes for those stratigrafic units when holostratotype or locality type has disappeared in case of lack of protection for the constructive actions or other reasons. Keeping always in mind besides their geologic value, the accessibility to these areas. We also designate localities for the main litologies of the intrusives rocks that characterize the different present complexes in our region.

The present work will continue getting rich with the remaining places belonging to other rocky complex.

INTRODUCCIÓN

Los trabajos de protección de la naturaleza en la actualidad, cada vez adquieren mayor interés. Conocido es que a escala mundial existen programas creados con el objetivo de conservar y proteger las áreas naturales con características geológicas relevantes.

Teniendo en cuenta lo antes expresado y conociendo que para los estudiosos de las ciencias geológicas, la geología del territorio camagüeyano constituye una parte muy interesante del archipiélago cubano. Dado al rico potencial natural y alto grado de estudio geológico producto de la gran cantidad de trabajos e investigaciones geológicas realizadas, que nos permiten disponer de numerosos sitios de interés geológico a proteger y la necesidad de garantizar un legado a la nueva generación. Es que pretendemos con el presente trabajo iniciar la promoción de la protección y conservación del patrimonio geológico de las provincias Camagüey, presentando las principales localidades de interés geológico y paleontológico. Utilizando para ello holoestratotipos y localidad tipo de algunas de las principales formaciones geológicas del Arco de Islas del Cretácico Superior y sus rocas intrusivas con la descripción detallada de sus características y situación actual..

Acompañarán el presente trabajos mapa de macro localización y fotos, así como propuestas de medidas de conservación y protección en línea con las acciones que se realizan a favor de la conservación del patrimonio geológico. Además de que toda la información referente a estos sitios será almacenada en una base de datos digital sobre una plataforma SIG que permitirá su actualización, selección y manejo de manera rápida y eficiente.

Proponemos además neoestratotipos para aquellas unidades estratigráficas en que por falta de protección su holoestratotipo o localidad tipo haya desaparecido por las acciones constructivas u otras razones. Siempre teniendo en cuenta además de su valor geológico, la facilidad de acceso a estas áreas.

También designamos localidades para las principales litologías de las rocas intrusivas que caracterizan los diferentes complejos presentes en nuestra región.

El presente trabajo se continuara enriqueciendo con las restantes sitios pertenecientes a las demás complejos rocosos.

MATERIALES Y METODOS

Para la realización de este trabajo se utilizo información generada por las investigaciones geológicas a escala 1:50000 en la provincia de Camagüey realizadas entre los años 1980- 1992 por la Empresa Geominera Camagüey y la colaboración Alemana en el cual los autores tuvieron una participación activa. Así como fotos realizadas en la actualidad de las diferentes localidades, además de consultar la literatura actualizada sobre el tema.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En nuestro territorio se encuentran bien desarrolladas y representadas las dos unidades del cinturón plegado:

Unidad continental representada por la plataforma mesozoica de las Bahamas y los depósitos de sus taludes cubiertos por sedimentos del Paleoceno-Eoceno Tardío propios de las cuencas de antepaís.

Unidad oceánica que incluye Ofiolitas las cuales en nuestra región se encuentran bien preservadas, aflorando todos sus componentes y abundantes yacimientos de cromita y Arco Volcánico del Cretácico (Aptiano-Campaniano). Todos cubiertos por depósitos sedimentarios que abarcan desde el Campaniano Tardío-Maestrichtiano hasta el Eoceno Superior, caracterizando una cuenca de piggy back. Ambas cubiertas por un neoaútctono bien desarrollado constituido por sedimentos poco plegados del Eoceno Superior Tardío al Reciente, que cubren discordantemente todos los complejos del cinturón plegado.

Por todo lo antes expuesto, con el presente trabajo pretendemos iniciar la promoción de la protección y conservación del patrimonio geológico de las provincias Camagüey, presentando las principales localidades de interés geológico y paleontológico. Utilizando para ello holoestratotipo y localidad tipo de algunas de las principales formaciones geológicas del Arco de Islas del Cretácico Superior y sus rocas intrusitas con la descripción detallada de sus características y situación actual.

PROPUESTAS DE LOCALIDADES A PROTEGER

Las Margaritas: Cúpulas lávicas bien conservadas, ubicadas a 4 Km al NW del pueblo de Sibanicú, hoja topográfica a escala 1:50000 Sibanicú. Con coordenada X. 426500 y Y. 291000. Localidad tipo de la Formación La Sierra. Lava riolítica fluidal, (Ver Figuras No.1 y No.2) evidencia del vulcanismo más joven mejor dato del cretácico superior campaniano en el territorio camagüeyano.



Figura No.1. Afloramiento bien conservado de Lava riolítica fluidal.



Figura No.2. Lava riolítica fluidal (vista detallada donde se observan los pliegues que forman los flujos de lavas)

Loma de Caballeros. Situada en la hoja topográfica a escala 1:50000 Sibanicú. Con coordenada X. 420500 y Y. 285000. (Ver Figura No.3.) Uno de los sitios exclusivos donde se observa aflorando la relación o contacto entre la Formación Camujiro y Formación Piragua. Además de constituir un punto de interés paleontológico por la presencia de Barretia monolífera que nos permite datar las calizas de la Formación Piragua del Santoniano –campaniano. (Ver Figura No.4.)



Figura No.3. Loma Caballero. Afloramiento bien conservado de Calizas grises con Barretia monolifera.



Figura No.4. Ladera de Loma Caballero donde se observa contacto entre las formaciones Piragua y Camujiro.

La Eugenia: Ubicada en la hoja topográfica Vidot a escala 1:50000 en una antigua cantera. Con coordenada X. 405000 y Y. 286500. Neoestratotipo de la Formación Piragua. Se observa Toba cinerítica estratificada (Ver Figura No.5.), cortada por Neck Basáltico (Ver Figura No.6.)



Figura No.5. Afloramiento bien conservado de toba cinerítica estratificada.



Figura No.6 Secuencia de tobas cineríticas estratificada cortada por neck basáltico

Santa Clara. Antigua cantera, ubicada en la hoja tográfica Vidot a escala 150000. Con coordenada X. 40500 y Y. 284500. (Ver Figura No.7.) Presencia de excelente Toba litocristalóclástica psamítica-psefítica de composición media. Se puede observar además la intercalación con tobas finas. (Ver Figura No.8.)



Figura No.7. Afloramiento bien conservado de toba litocristalóclástica psamítica-psefítica de composición media.



Figura No.8 Excelente observación de la transición de la granulometría en una secuencia tobácea.

Jimaguayú: Ubicada inmediatamente al Sur de la comunidad de Jimaguayú, en la hoja topográfica Vidot a escala 1:50000. Con coordenada X. 396600 y Y. 287700. .Conforma grandes promontorios, constituye la localidad tipo de la Formación Camujiro. Se encuentra bien conservada. Caracterizada por Lava Brecha Andesítica – Basáltica aglomerática hasta de bloques. Roca perivolcánica. Evidencia del vulcanismo Cenomaniano – Turoniano del Cretácico Superior. (Ver Figura No.9.).



Figura No.9. Lava Brecha Andesítica – Basáltica aglomerática hasta de bloques

El Castillo: Elevación ubicada a unos 4 Km del pueblo de Coscorro por el camino antiguo rumbo a Loma Deseada, Con coordenada X. 440000 y Y. 281000 hoja topográfica a escala 1:50000 Coscorro.

(Ver Figura No.10.) Afloramiento excelente de Granito biotítico horbléndico, pertenecientes al complejo granodiorítico del maciso intrusivo Sibanicú – Las tunas de edad cretácico superior campaniano. (Ver Figura No.11.)



Figura No.10. Afloramiento bien conservado de granito biotítico horbléndico



Figura No.11. Granito biotítico horbléndico (vista detallada)

La Caridad: Elevación ubicada en la salida del pueblo de Sibanicú rumbo a Las Tunas hoja topográfica a escala 1:50000 Sibanicú. Con coordenada X. 430500 y Y. 285000. (Ver Figura No.12.) Afloramiento excelente de Granodiorita pertenecientes al Complejo Granodiorítico del maciso Sibanicú- las Tunas de edad cretácico superior campaniano. (Ver Figura No.13.)



Figura No.12. Afloramiento bien conservado de granodiorita.



Figura No.13. Granodiorita (vista detallada)

Ignacio: Elevación situada en la parte norte del elevado de igual nombre., hoja topográfica a escala 1:50000 Sibanicú. Con coordenada X. 407500 y Y. 292000. (Ver Figura No.14.) Afloramiento excelente de roca de alteración cuarzo micáceo, (Ver Figura No.15.)



Figura No.14. Afloramiento bien conservado de roca cuarzo micácea cloritizada.



Figura No.15. Roca cuarzo micácea cloritizada (vista detallada)

CONCLUSIONES

- El presente trabajo demuestra la existencia de un importante, variado e interesante patrimonio geológico en el territorio camagüeyano, que necesita urgente la divulgación del conocimiento de su existencia para que la actual y las nuevas generaciones influya en su protección y conservación, lo que permitirá además de preservar tan importantes evidencias geológicas, aumentar el nivel de conocimiento geológico a los estudiosos e interesados en esta ciencia. Además de estar contribuyendo a la protección de los recursos renovables y no renovables que nos brinda la naturaleza tarea tan importante en que nos encontramos en la actualidad enfrascado la humanidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Iturralde-Vinent M., Tchounev D., Cabrera R. y otros; 1981. Geología del territorio de Ciego –Camagüey-Las Tunas. Resultados de las investigaciones y del levantamiento geológico a escala 1:250000. Oficina Nacional de Recursos Minerales. MINBAS
- Iturralde-Vinent M., Ticket U., E. Piñero y otros; 1986. Informe final sobre el resultado del levantamiento geológico complejo y búsquedas acompañantes a escala 1:50000 en el polígono CAME III. Camagüey 1981-1987. Oficina Nacional de Recursos Minerales. MINBAS (Inédito).
- Piñero E., Rojas R., Iturralde-Vinent M y otros; 1990. Informe sobre los resultados del levantamiento geológico complejo y búsquedas acompañantes a escala 1:50000 en el polígono CAME III. Camagüey. Sectores Ciego de Avila-Vertientes. Oficina Nacional de Recursos Minerales. MINBAS. (Inédito).
- Piñero E., Rojas R., Iturralde-Vinent M y otros; 1992. Informe sobre los resultados del levantamiento geológico complejo y búsquedas acompañantes a escala 1:50000 en el polígono CAME III. Camagüey. Sector Loma

- Jacinto. Oficina Nacional de Recursos Minerales. MINBAS. (Inédito).
- Piñero E., Quintana M.E., Mari T.; 1997. Caracterización geológica de los depósitos vulcanógeno – sedimentarios de la región de Ciego-Camagüey-Las Tunas en: Estudios sobre geología de Cuba. pág. 346-356.
- Piñero E; 2006. Fotos geológicas del territorio Camagüeyano. (Inédito)



PROPUESTA DE METODOLOGIA A EMPLEAR PARA LAS ACCIONES DE PROTECCION Y CONSERVACION DEL PATRIMONIO GEOLOGICO

Roberto Gutiérrez Domech, Arsenio Barrientos, Evelio Balado, Leonardo Flores, Gustavo Furrázola. Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca 1002, SMP, Ciudad de la Habana. e mail rgdomech@igp.gms.minbas.cu

RESUMEN

La protección y conservación de sitios y objetos patrimoniales en Cuba se ha dirigido, casi exclusivamente a preservar edificios, obras de arte y también sitios históricos.

Existe, también, una legislación que establece diversas categorías de manejo para determinadas áreas donde existen especies de animales y plantas necesitadas de protección

Se consideran como herencia geológica cubana:

- * Localidades tipo y estratotipos de unidades lito y bioestratigráficas
- * Holotipos y paratipos de especies de animales y plantas fósiles
- * Yacimientos fosilíferos donde se han recuperado holotipos y paratipos
- * Minas reconocidas y minas representativas de una explotación importante
- * Estructuras geológicas de interés por su exclusividad o desarrollo
- * Informes originales de personalidades del trabajo científico, en el campo geológico, concernientes al hallazgo de minas, yacimientos de petróleo, fósiles importantes; manantiales de aguas minero medicinales, etc.
- * Otros bienes creados por esfuerzo propio en función del trabajo geológico

En un proyecto aprobado, en el Programa Ramal de Geología y Minería, ha comenzado el trabajo en la región occidental, que brindara apoyo oficial a los esfuerzos de realizar un diagnóstico de cada localidad de interés.

Para elaborar dicho diagnóstico se elaboró una metodología que comprende los parámetros: Estado físico del geosito, Representatividad y Valor científico del geosito, Valor histórico, Importancia didáctica, Valor estético para el turismo, Rareza, Irrepetibilidad, Vulnerabilidad, Tamaño y Accesibilidad.

La información de la situación actual de cada geosito estará acompañada de una exhaustiva explicación a las autoridades locales y provinciales administrativas y técnicas, sobre la importancia del lugar, también de sugerencias de señalización, formas de protección y conservación; promoción en los medios del territorio y finalmente propuestas de manejo o de otorgamiento de una categoría patrimonial, que formalizaría el tratamiento a la herencia geológica.

ABSTRACT

The patrimonial sites or objects protection and conservation in Cuba, have been pointed, almost exclusively to preserve buildings, art Works and also historical sites.

There's also a law to establish a diversity of management categories for areas where animals and plant species need protection.

There are considerate as Cuban geology heritage:

- * Type localities and stratotypes of lito and biostratigraphics units
- * Holotypes y paratypes of fossils animals and plants.
- * Fossil deposits where holotypes and paratypes had been recovered
- * Recognited ores and mines representatives of important operation
- * Interesting geological structures because it exclusivity or development .
- * Original reports from personalities of the scientific work on the geological field, concerning to the , mines discovery, oil fields, important fossils; mineral waters springs, etc.
- * Another commonweal created with self effort about the geological work

In a scientific project approved among the Geology and Mining Branch Program the work had began on the western region in order to support efforts to diagnose the physical situation of every interesting locality..

To make possible such a diagnose of the geological heritage localities (geosites) a methodology was created. This include the parameter : Physical situation of site: Representativity and Scientific value , Historic value, Didactic significance, Aesthetic value for tourism , Rareness, Irepeatibility, Vulnerability, Size and Accessibility.



The information of the nowadays situation of every geosite shall be together with a large explanation about the locality significance of each one to the local and territorial authorities, also suggestions of signals, also ways of protection y preservation; promotion at the local media and finally suggestions of management or patrimonial categories in order to obtain a special treatment for the geological heritage.

INTRODUCCION

Patrimonio, según el Diccionario Manual de la Lengua Española: Cervantes, son los Bienes de distinto tipo que existen producto del esfuerzo propio y de la educación recibida y también la Hacienda heredada de sus ascendientes. En ambas acepciones se evidencia el valor que tiene la preservación de esta herencia para todas las generaciones.

El patrimonio puede dividirse en natural, cuando se refiere a los paisajes, objetos y formas creadas por la naturaleza y no natural (o artificial), cuando comprende los bienes creados por el hombre.

Es frecuente la identificación de cuadros, esculturas, obras arquitectónicas y otros bienes materiales como patrimonio de una nación, un territorio, una localidad, una familia e incluso un individuo.

El patrimonio natural es, por su carácter, necesariamente colectivo, pero por no poder enmarcarse o resguardarse como un objeto, requiere de una conciencia, una educación y una legislación que lo proteja.

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 son parte de ese patrimonio natural. Dichas investigaciones han 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 de la conciencia por la conservación del medio ambiente y a avance de la globalización del conocimiento gracias, sobre todo, a los triunfos tecnológicos en las comunicaciones, ha sido posible conocer el tratamiento que se concede a los lugares más importantes de la herencia geológica del planeta, denominados: *geositos*, así como proponer y obtener de los organismos nacionales y las organizaciones internacionales, gubernamentales y no gubernamentales, distintas categorías y denominaciones de dichos *geositos* y ayuda para su preservación.

A nivel internacional se consideran como patrimonio geológico:

- * Localidades tipo y estratotipos de unidades lito y bioestratigráficas
- * Holotipos y paratipos de especies de animales y plantas fósiles
- * Yacimientos fosilíferos donde se han recuperado holotipos y paratipos
- * Minas reconocidas y minas representativas de una explotación importante
- * Testigos de perforación y muestras superficiales de sitios importantes que deben conservarse
- * Estructuras geológicas de interés
- * Informes originales de personalidades del trabajo científico en el campo geológico, o concernientes al hallazgo de minas, yacimientos de petróleo, fósiles importantes; manantiales de aguas minero medicinales, etc.
- * Otros bienes creados por esfuerzo propio en función del trabajo geológico



La existencia de estos sitios y áreas necesita de 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.

Para crear esta conciencia, debe establecerse contacto con las delegaciones del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente y las direcciones provinciales de Planificación Física de cada territorio y de conjunto presentar diagnósticos y propuestas de solución a los Consejos de la Administración municipales y provinciales.

La comisión nacional de patrimonio conoce de los propósitos de este proyecto y debe pronunciarse sobre las propuestas que se realice.

Un proyecto, sobre la conservación y protección del patrimonio geológico, ha comenzado para hacer un diagnóstico de la situación en las provincias occidentales de Cuba. La necesidad de evaluar cualitativamente las características de las localidades consideradas de interés patrimonial determinó que los autores elaboraran una metodología que permite categorizar las mismos y proponer su tratamiento correspondiente.

MATERIALES Y METODOS

Metodología para evaluar los geositos: Parámetros que deben considerarse:

- 1) Estado físico del geosito. Atiende a si se encuentra libre de malezas, residuales sólidos o líquidos o si se encuentra utilizado para un uso no investigativo.
 - Apropiado. Está libre de malezas residuales u de otras circunstancias que lo altere o perjudique.
 - Poco apropiado. Está cubierto ligeramente por malezas, está ocupado temporal y ligeramente por residuales o elementos que no causen daño definitivo, o utilizado con objetivos no investigativos.
 - Inapropiado. Está cubierto fuertemente por malezas o está en un área de cultivo. Está siendo utilizado para verter residuales sólidos o líquidos en o a través del mismo. Está ocupado de forma permanente por alguna edificación.
- 2) Representatividad y valor científico.
 - Alta(o). En caso de ser una localidad tipo original, un lectoestratotipo, un neoestratotipo, o un geosito donde han sido descritas holotipos de macro y microfósiles, o han sido halladas grandes poblaciones de dichas especies, por lo cual constituyen lugares verdaderamente representativos de una época geológica determinada desarrollo geológico específico. También localidades de formas del relieve con características singulares y distintivas.
 - Media(o). En caso de paraestratotipos y otros cortes representativos, pero que tienen homólogos o similares en mejores condiciones en otras partes. Localidades donde han sido descritas especies de fauna o flora fósil característica, pero que no son localidades tipo. También pueden incluirse en esta categoría sitios donde se encuentran formas y estructuras que evidencian procesos representativos de un momento específico del desarrollo geológico.
- 3) Valor histórico.
 - Alto. Si está relacionado con el trabajo de los precursores o representa un punto de inflexión en el desarrollo de las geociencias.



- Medio. Si solo representa un geositio donde se ha descrito una unidad lito o bioestratigráfica, se ha identificado una especie, género o grupo de fósiles o se ha señalado la existencia de un fenómeno geológico.
- 4) Importancia didáctica para la enseñanza o promoción de las geociencias.
 - Alta. Si presenta, prácticamente por si solo, lo que quiere enfatizarse o varios fenómenos, que en conjunto definen determinada estructura o fenómeno que quiere explicarse, o muestra claramente la fauna y/o flora fósil que identifica una edad o un proceso.
 - Media. Si la presencia de las formas y procesos geológicos no son tan representativos y para explicar un fenómeno o estructura deben utilizarse otros medios.
- 5) Valor estético para la enseñanza y el turismo
 - Alto. Si presenta estructuras, cristalizaciones, dislocaciones etc., espectaculares; que puedan mostrarse a visitantes calificados o no y que llamen su atención e interés.
 - Bajo. Si no presentan formas espectaculares que sean atractivas para el visitante neófito.
- 6) Rareza, por la dificultad en encontrar algún geositio con estas características.
 - Notable. Si el fenómeno o forma que presenta el geositio no se conoce en otro lugar del territorio nacional o de la región o del mundo.
 - Escaso. Si el hecho geológico que presenta se encuentra raramente en el territorio nacional o fuera del mismo, de acuerdo al nivel de conocimientos del colectivo del proyecto y la literatura disponible.
 - Común. Si se conocen otros sitios similares en el territorio nacional y fuera del mismo.
- 7) Irrepetibilidad, relacionada con la rareza pero también con las afectaciones o desaparición que puedan haber sufrido geositos similares, que son irrecuperables.
 - Irrepetible. Si constituye el único lugar donde se ha descrito la unidad lito o bioestratigráfica, si es la única localidad donde se ha encontrado una especie determinada o si el o los otros lugares que se conocían han sido dañados o destruidos de forma irrecuperable.
 - Repetible. Si pueden designarse otros lugares que tengan características similares y que representen iguales situaciones, estructuras, formas o fenómenos que lo definen como un geositio de importancia.
- 8) Vulnerabilidad. Este parámetro está relacionado con la situación física del geositio.
 - Muy vulnerable. Si es un lugar muy expuesto a la acción antrópica y natural y las características y condiciones del lugar determinan que debe protegerse de ambos agentes, con alguna medida especial.
 - Vulnerable. Si es un lugar expuesto a la acción antrópica o de la naturaleza, y debe protegerse de alguno de estos agentes.
 - Poco vulnerable. Si tiene buenas condiciones o características físicas y está protegido de la acción del hombre o puede protegerse mediante medidas simples.
- 9) Tamaño. Atendiendo al área que abarca.
 - Grande. Si abarca más de una hectárea, en área ó tiene una longitud mayor de 500 m, en el caso de un área donde se haya descrito una formación geológica. En el caso de la localidad de un holotipo, debe considerarse la totalidad del área.
 - Medio. Si abarca menos de una hectárea y/o tiene una longitud menor de 500 m y mayor de 100 m
 - Pequeño. Si está en el entorno de 100 m de longitud o 100 m² (si es un corte o afloramiento)
- 10) Accesibilidad. Atendiendo a las posibilidades de aproximación
 - Muy accesible. Si existe camino para vehículos hasta el geositio
 - Accesible. Si existen caminos para bestias o personas hasta el geositio
 - Poco accesibles. Si existen solo veredas o rutas intrincadas hasta el geositio.



- Inaccesibles. Si no existen caminos trazados hasta el geosítio y hay que abrirlos cuando quiera visitarse.

Ponderación de los parámetros

Los parámetros de Representatividad y Valor científico, Valor histórico, Importancia didáctica, Valor estético, Rareza e Irrepetibilidad, representan la verdadera importancia científica del geosítio, y las razones por las cuales debe considerarse patrimonio o herencia geológica; mientras que los de Estado físico, Vulnerabilidad, Accesibilidad y Tamaño resultan de mayor peso durante el diagnóstico para apreciar en que medida debe protegerse el lugar y para las propuestas que deben elaborarse con vistas a su conservación, por lo cual en la tabla de valores ponderados elaborada, sobre la base de 100 puntos, éstos reciben la mayor puntuación.

No.	Parámetro		Puntos
1	Estado físico del geosítio	Apropiado	3
		Poco apropiado	4
		Inapropiado	5
2	Representatividad y valor científico	Alta	15
		Media	10
3	Valor histórico	Alto	10
		Medio	7
4	Importancia didáctica	Alta	12
		Media	8
5	Valor estético	Alto	10
		Bajo	7
6	Rareza	Notable	12
		Escasa	8
		Común	4
7	Irrepetibilidad	Irrepetible	12
		Repetible	8
8	Vulnerabilidad	Muy vulnerable	12
		Vulnerable	8
		Poco vulnerable	2
9	Tamaño	Grande	2
		Medio	4
		Pequeño	6
10	Accesibilidad	Muy accesible	6
		Accesible	5
		Poco accesible	4
		Inaccesible	2

En el resto de los parámetros se considera que las situaciones más graves, son las de mayor acceso, vulnerabilidad, menor tamaño y peor estado físico.

Para una puntuación entre 85 y 100 puntos los geosítios se consideran de categoría ó clase A deben tener una mayor protección y si fuera posible una categoría patrimonial nacional.



Entre 70 y 84 puntos los geositos se consideran de clase B y debe establecerse para los mismos una forma de manejo y si resultara factible una categoría patrimonial local.

Entre 50 y 69 puntos los geositos se catalogan como de clase C y deben recibir algún tratamiento por las autoridades locales.

Según el artículo 5, del Decreto Ley 201/99, los geositos pudieran declararse:

- Parque Nacional
- Reserva Natural
- Reserva Ecológica
- Elemento Natural
- Paisaje Natural Protegido

Y según el artículo 3:

- Areas protegidas de significación nacional
- Areas protegidas de significación local

Todos los sitios de importancia para la herencia geológica deben ser convenientemente señalizados y los de pequeñas y medianas dimensiones con alta vulnerabilidad, delimitados.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- | | | | |
|---|------|---|---|
| Acevedo González, M. | 1967 | <i>Estudio Espeleológico de la Cueva del Vaho o Bao, Boca de Jaruco, Habana</i> | Memorias de la Facultad de Ciencias. Vol. 1, No. 5, pp.33-54, Univ. de La Habana |
| Acevedo, Manuel., Arredondo, Oscar y González, Noel | 1975 | <i>La Cueva del Túnel</i> | Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 74 pp. |
| Albear Fránquiz, J.F. e Iturralde Vinent, M.A. | 1985 | <i>Estratigrafía de las provincias de La Habana, en Contribución a la Geología de las provincias de La Habana y Ciudad de la Habana</i> | Instituto de Geología y Paleontología. Editorial Científico-Técnica, La Habana, pp. 12-54 |
| Bermúdez, P.J. | 1937 | <i>Nuevas especies del Eoceno de las cercanías de Guanajay, provincia de Pinar del Río, Cuba</i> | . Mem. Soc. Cubana Hist. Nat., 11(4):237-248. La Habana |
| Bermúdez, P.J. | 1950 | <i>Contribución al estudio del Cenozoico cubano</i> | Mem. Soc. Cubana Hist. Nat., vol 19 (3), pp. 204-375 |
| Bermúdez, P.J. | 1961 | <i>Las Formaciones Geológicas de Cuba</i> | 177 pp., ICRM, Ministerio de Industrias, La Habana |
| Bermúdez, P.J: y R. Hoffstetter | 1959 | <i>Léxico Estratigráfico de Cuba</i> | Lexique Stratigraphique International, vol. 5, Amerique Central, Fasc. 2c, Cuba et iles adjacents, 140 pp.. |
| Ducloz, Charles | 1963 | <i>Etude geomorphologique de la region de Matanzas, Cuba. Avec une contribution a létude des depots quaternaries de la zona Habana-Matanzas</i> | Arch. Geneve, 16 (2): 351-402 |
| Díaz O., Consuelo, et al | 2002 | <i>Léxico Estratigráfico de Cuba</i> | Instituto de Geología y Paleontología, La Habana (inédito) |



Franco, G. et. al.	1992	<i>Léxico Estratigráfico de Cuba</i>	Instituto de Geología y Paleontología, La Habana (inédito)
Furrazola, Gustavo; G. Hernández y S. Blanco	1976	<i>Comprobación de un horizonte Daniano en Cuba</i>	Revista <i>La Minería en Cuba</i> 2 (1): 47-53, La Habana
Furrazola, Gustavo	1985	<i>Nuevos datos sobre la Formación Mercedes, del Daniano. en Contribución a la Geología de las provincias de La Habana y Ciudad de la Habana</i>	Instituto de Geología y Paleontología. Editorial Científico-Técnica, La Habana, pp. 55-58
Gutiérrez Domech, M.R. y F. A. Rivero Reyes	1975	<i>Estudio geólogo-geomorfológico de la zona de Cayajabos, Madruga.</i>	Academia de Ciencias de Cuba. Serie Geográfica 12: 1-34. La Habana
Gutiérrez Domech., M.R. y M.Rivero Glean.	1997	<i>Minigeografía de Cuba</i>	Editorial Científico-Técnica, La Habana: 1-158
Gutiérrez D., M.R. y M.Rivero G.	1999	<i>Regiones naturales de la isla de Cuba</i>	Editorial Científico-Técnica, La Habana: 1-145
Gutiérrez Domech, M.R., et. al	1998	<i>Vertebrados fósiles de Cuba</i>	Atlas de los fósiles índices de Cuba. III Etapa. Instituto de Geología y Paleontología (inédito)
Gutiérrez Domech, M.R., et. al	2005	<i>Protección y conservación del patrimonio geológico cubano</i>	CD Memorias I Convención de Ciencias de la Tierra. GEO 10-8
Humboldt, A. von	1826	<i>Voyage aux régions équinoxiales du Nouveau Continent fait in 1799, 1800, 1801, 1802, 1803 et 1804</i>	. Gide, Paris, 2:229-231.
Iturralde, M., , C.L. Mora, R. Rojas y M.R. Gutiérrez	1998	<i>Myliobatidae (Elasmobranchii: Batomorphii) del Terciario de Cuba</i>	Rev. Soc. Mex. Paleontología. Vol. 8, No.2, p. 135-145 México
Kartashov, y otros	1996	<i>Descripción de algunas formaciones geológicas del Sistema Cuaternario de Cuba, reconocidas recientemente</i>	Inst. Geol. Paleont., Acad. Cienc. Cuba, La Habana, Ser. Geol., 26:1-6.
Lewis, J.W.	1932	<i>Geology of Cuba</i>	American Ass. Petr. Geol.. Bull. 16: 533-555
Núñez Jiménez, A.	1990	<i>Medio Siglo Explorando a Cuba. Tomo II</i>	Imprenta Central de las FAR La Habana, p.424-433
Richardson	1932	<i>Reporte sobre la geología y posibilidades de petróleo en el área de Bahía de Cabañas, Pinar del Río.</i>	Ofic. Nac. Rec. Min., Minist. Indust. Bas., La Habana. (Inédito).
Truitt	1956	<i>Geology of Pinar del Río and Isla de Pinos, Cuba.</i>	Oficina Nac. Rec. Minl., Minist. Indust. Bas., La Habana. (Inédito). fide Léxico Estratigráfico de Cuba
Weisbord, N.E.	1932	<i>Report 84. Proposed well location - Mariel Area - Pinar</i>	Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La.



del Río

Habana (inédito). fide Léxico
Estratigráfico de Cuba

PROPUESTA DE RUTA GEOTURÍSTICA EN EL TERRITORIO DE EL COBRE

Maricela Ramírez Alá¹, Antia Luna Vázquez¹, Rubén Ruiz Sánchez¹, Miguel Wilson¹.

⁽¹⁾ Empresa Geominera de Oriente, Carretera de Siboney Km. 2¹/₂ Alturas de San Juan. Santiago de Cuba.
E-mail: (¹): mr Ramirez@geominera.co.cu

RESUMEN

El postulado del presente trabajo, proponer una ruta turística, la que además, considera que una actividad ligada al turismo beneficiaría no tan sólo al sector, sino también a la comunidad en general. Sería además, la presencia de un turismo muy distinto al que la mayoría de las personas están acostumbradas, que es el de "sol y playa". En este caso, se hace referencia a una vertiente de turismo "cultural", orientado a transmitir aquellos aspectos de la naturaleza del lugar y dar a conocer las raíces históricas culturales y los sitios geológicos que por su valor patrimonial constituyen huellas de la evolución geológica del territorio, única de su tipo en Cuba, además de los procesos mineros, la estructura y los métodos entorno a la actividad de extracción y a todos los procedimientos que indica la explotación. Esta actividad turística, también llamada de "intereses especiales", según estadísticas mundiales, deja muchísimo más ganancias que la tradicional, debido al tipo de consumidor: clientes dispuestos a pagar por lo distinto. Esta oferta generará nuevas fuentes de trabajo, en la que pueden participar las comunidades locales que habitan alrededor de la mina ya clausurada.

Visitaríamos la cantera de la antigua mina convertida en un hermoso lago, galerías que fueron explotadas, afloramientos típicos de las secuencias geológicas presentes en la zona, las escombreras en fases de rehabilitación, restos de las instalaciones de la planta de beneficio, esculturas que simbolizan la lucha contra la esclavitud, así como la visita al Santuario de la Virgen de la Caridad.

ABSTRACT

The postulate of the present work, to propose a tourist route, the one that also, it considers that a bound activity to the tourism would not only benefit to the sector, but also to the community in general. It would be also, the presence of a tourism very different to the one that most of people are accustomed that is the one of "sun and beach." In this case, reference is made to a kind of tourism "cultural", guided to transmit those aspects of the nature of the place and to give to know the cultural historical roots and the geologic places that constitute prints of the geologic evolution of the territory for its patrimonial value, unique of its type in Cuba, besides the mining processes, the structure and the methods of the extraction activity and all the procedures of the exploitation. This tourist activity, also called as "of special interests", according to world statistics, gives much more earnings than the traditional one, due to the type of consumer: clients willing to pay for the different thing. This offer will generate new work sources, in which the local communities that already inhabit around the mine can closely participate.

We would visit the quarry of the old mine transformed into a beautiful lake, galleries that were exploited, typical outcrops of the present geologic sequences in the area, the overburden piles in rehabilitation phases, remnants of the facilities of the plant of benefit, sculptures that symbolize the fight against the slavery, as well as the visit to the Sanctuary of the Virgin of the Charity.

INTRODUCCIÓN

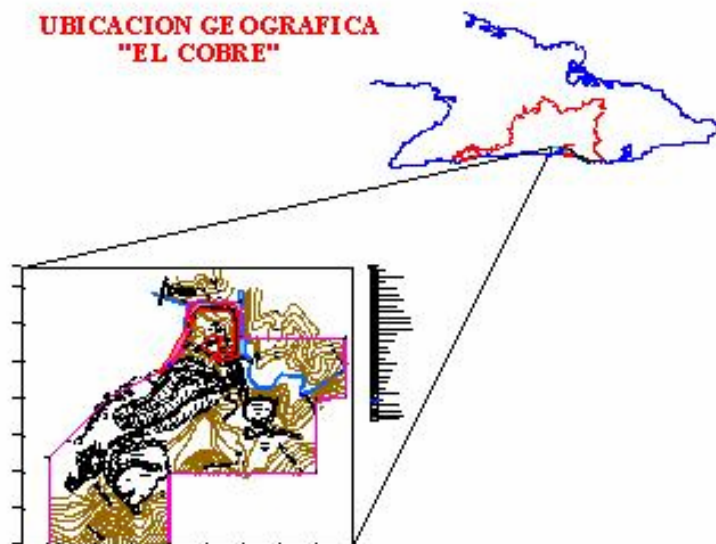
El presente trabajo consiste en una propuesta para desarrollar un geoturismo en la zona minera del Yacimiento El Cobre, que atesora un patrimonio cultural muy rico y presenta bellezas naturales, históricas y culturales.

Este turismo "cultural", orientado a transmitir aquellos aspectos de la naturaleza del lugar y dará a conocer las raíces históricas culturales y los sitios geológicos que por su valor patrimonial constituyen huellas de la evolución geológica del territorio.

Se propone un recorrido geoturístico que permitirá desarrollar un turismo de naturaleza para satisfacer a diferentes grupos generacionales que se dedican a esta actividad.

MATERIALES Y METODOS

Proponer una ruta geoturística en el territorio El Cobre, donde resalte el valor patrimonial con que



cuenta el territorio: Patrimonio natural, geominero y cultural.

DEFINICIONES

- ❖ Patrimonio Natural
- ❖ Patrimonio Minero
- ❖ Patrimonio Cultural
- ❖ Ruta Turística
- ❖ Interpretación del Patrimonio

Ruta:

Es un itinerario que permite reconocer y disfrutar de forma organizada del patrimonio cultural (en el medio urbano o rural), como expresión de la identidad cultural de la región.

Propuesta metodológica de la ruta geoturística:

- ❖ Sistematización y análisis de la información disponible existente.
- ❖ Recorrido por el territorio minero.
- ❖ Integración de la información con el recorrido.
- ❖ Propuesta de la ruta turística.

POTENCIALIDADES DEFINIDAS SEGÚN INTERPRETACIÓN DEL PATRIMONIO

Natural: Debido a su patrimonio geominero.

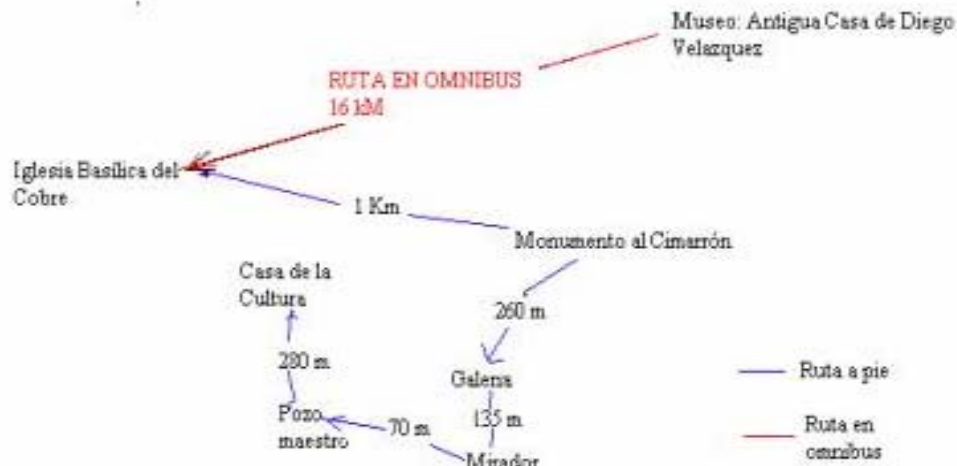
Sociocultural: Como símbolo de identidad de la comunidad local.

Económica: Como valor turístico

Científica: Porque serviría de centro de investigaciones

Salud: Existencia de una cantera rellena de aguas, a la cual se le debe prestar mucha atención teniendo en cuenta su composición mineralógica y química.

Croquis de la Ruta:



Punto 1: La Iglesia Basílica del Cobre



Punto Cero: Museo de Ambiente Histórico



Punto 2: Monumento al Cimarrón



Punto 5: Pozo Minero

CONCLUSIONES

Con este trabajo se propone una ruta geoturística que de aplicarse permitiría:

- Comprender y acercarse al patrimonio cultural y natural del territorio El Cobre desde una óptica amplia, abierta y en constante evolución.
- Manejar las posibilidades que existen de aprovechar los recursos culturales y naturales de las comunidades como medio de generación de divisas, siempre en el marco del desarrollo sostenible y la conservación tanto del patrimonio como de las identidades culturales locales.
- Promover actividades de interpretación y presentación del patrimonio natural y cultural dirigidas a las comunidades locales y a los visitantes.

RECOMENDACIONES

- ❖ Esta ruta pudiera servir en un futuro para orientar trabajos similares encaminados a promover y promocionar nuestro rico patrimonio cultural en el surtido de las ofertas de turismo de naturaleza.
- ❖ Participación e implicación de la comunidad conjuntamente con las organizaciones turísticas, mineras, patrimoniales y el gobierno tanto local como provincial.

BIBLIOGRAFÍA

- Douriet, D., Ileana, Yasell. A A, otros,(2001) – Proyecto de Rehabilitación de la mina del Cobre. Santiago de Cuba.
- Fdez, G., Guzmán Ramos, A. (2003).- Interpretación del patrimonio cultural, España. P. (34-45)
- Garrido,R., Gonzáles A. (2004) - El Patrimonio geológico: Bases para su conservación, valoración, protección y su catalogación, España, P.11-17
- Portuondo, Z,Olga (2001).- La virgen de la caridad del Cobre: Un símbolo de cubanía.
- PALOL, P. de et al (1968).- Notas sobre las basílicas de Manacor, en Mallorca. Trabajos del Museo de Mallorca, 5.
- PINYA, B. (1953).- El museo arqueológico y la basílica primitiva de Manacor. Panorama Balear, 28.
- Serrano, R.A (2004): El patrimonio natural y cultural en una ordenación del territorio para una mayor sostenibilidad del desarrollo.
- UNESCO (2000). «Monumentos del Patrimonio de la Humanidad en España», Ed. Planeta de Agostini S. A., Barcelona.
- Vitier B, C. (1992). – “Cuba: Su identidad cubana y caribeña”. La Gaceta de Cuba. La Habana. P: 2-7.
- Web grafía: www.lasherrerias.com/eabfc0953c0f3920d/index.html. Turismo rural, 2005.
- Web grafía: www.carm.es. Plan de dinamización turística de la Sierra Minera de la Unión y Cartagena. España, 2002.

PRINCIPALES PROBLEMATICAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIO LAS CASAS. ACCIONES PARA SU MITIGACION

Miguel Florentino Bosch Díaz⁽¹⁾ y Amada Tenenbaum Costa⁽²⁾

(1) *Especialista en Inversiones Empresa Integral de Recursos Hidráulicos Isla de la Juventud, Calle 36 e/ 51 y 53, Nueva Gerona, isla de la Juventud, Cuba*

(2) *Jefe del Grupo Técnico Acueducto y Alcantarillado Empresa Integral de Recursos Hidráulicos Isla de la Juventud, Calle 36 e/ 51 y 53, Nueva Gerona, isla de la Juventud, Cuba*

RESUMEN

La Cuenca Las Casas abarca un área de 70 Km².

El río principal Las Casas corre de sur a norte por una llanura ondulada, su origen esta a 20 m sobre el nivel del mar, tiene una longitud de 16,68 Km y sus principales afluentes son El Arroyo Ocuje (Represado) y El arroyo asiento Viejo (Micro presa El Abra).

En la cuenca Río Las Casas se emplaza la Ciudad Nueva Gerona Cabecera del territorio pinero y principal centro poblacional, cultural, socio político y económico industrial. En el área de la cuenca se encuentran los mejores suelos e industrias más importantes del territorio lo cual provoca las mayores acciones antropogénicas negativas sobre el medio ambiente.

Mediante el trabajo se pudo definir las principales problemáticas ambientales que aparecen en la Cuenca como es el caso de la contaminación de las aguas interiores y marinas, las fuentes contaminantes por la actividad doméstica, los residuales sólidos, las fuentes contaminantes por la actividad industrial, las fuentes contaminantes de la actividad agrícola, cuerpo de agua subterráneo afectado, las fuentes contaminantes producidas por la actividad de los servicios, el deterioro del saneamiento ambiental, la degradación de los suelos y daños estéticos provocados por la actividad minera.

Los métodos investigativos que se utilizaron para la realización del mismo son:

- Revisión y búsqueda bibliográfica
- Observación
- Encuesta
- Información de más de 20 especialistas de diferentes organismos del territorio.
- Guía Nacional del Diagnóstico de las Cuencas Hidrográficas.

Como resultado del trabajo logramos determinar los aspectos medulares de interés y que constituyen los principales problemas ambientales de la Cuenca los cuales relacionamos a continuación:

- ♦ Contaminación de las aguas interiores y marinas
- ♦ Deterioro del saneamiento ambiental
- ♦ Degradación de los suelos
- ♦ Deforestación

En el trabajo se propone un plan de acción para mitigar de forma priorizada los problemas ambientales, de mayor relevancia.

ABSTRACT

Title: Principal environmental Problematics in the basin of Las Casas River: Action to its mitigation.

Authors: Ing Miguel Florentino Bosch Díaz (1)

Ing. Amada Tenenbaum Costa (2)

(1) Investment Specialist in the Integral Enterprise of Hydraulic Resources in the Isle of Youth.

(2) Technical Group Chief of Aqueduct and Sewered in the Integral Enterprise of Hydraulic Resources in the Isle of Youth.

The basin Las Casas surround an area of 70 Km².

The Principal river Las Casas runs from the south to the north by a wavy Plain Its Origin is on 20 m over the level of the sea, Its Principal Flowing are: "El Arroyo Ocuje" (dammed) and "El Arroyo Asiento" (micro dam "El Abra").

In the basin Las Casas river Is Placed New Gerona City Country seat of the Isle of Youth Territory and Principal Population Center, Cultural, Political and economic Industrialist. In the area of the basin can be found the best land sand more important Industries of the territory which provokes the biggest antropogenic negative actions on the environment.

According to this work It could be defined the main environment problematics which appear in the interior and sea water, the origin of contamination by the industrial activity, the contaminant fountains of agricultural activity, affected subterranean water, the contaminant fountains produce by the activities of services, the deterioration of the environment drainage the degradation of the soils and stetic damages provoked by the miner activity.

The researching methods which were used to the fulfilment of this word are:

- Revision and bibliographic search.
- Observation.
- Inquiry.
- Information for more than 20 specialists from different organisms of the territory.
- National guide of diagnosis of the Hidrographic river basin.

As the result of this work we got to determinate the medular aspects which constitute the Principal evironmetal problems of the river basin which We relate below.

- Contamination of interior and the sea water.
- Deterioration of environmetal drainage.
- Degradation of the soils.
- Deforestation.

This work itself proposes an action plan to mitigate of highest priority the oustanding environmetal problems.

INTRODUCCION

Teniendo en cuenta que en la cuenca Río Las Casas se emplaza la Ciudad Nueva Gerona Cabecera del territorio pinero y principal centro poblacional, cultural, socio político y económico industrial. Considerando además que en el área de la cuenca se encuentran los mejores suelos e industrias más importantes del territorio, lo cual provoca las mayores acciones antropogénicas negativas sobre el medio ambiente, se decidió realizar el presente trabajo que tubo como objetivo definir las principales problemáticas ambientales que aparecen en dicha Cuenca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos que se emplearon en la realización del trabajo fueron los siguientes:

- Revisión y búsqueda bibliográfica.
- Observación.
- Encuesta.
- Información de más de 20 especialistas de diferentes organismos del territorio.
- Guía Nacional del Diagnóstico de la Cuencas Hidrográficas.

RESULTADOS

Como resultados del trabajo se pudieron definir las problemáticas ambientales fundamentales presentes en el área de la cuenca, lo cual exponemos a continuación:

PRINCIPALES PROBLEMATICAS AMBIENTALES

I.- CONTAMINACIÓNB DE LAS AGUAS TERRESTRES Y MARINAS.

La contaminación de los cuerpos de agua marinos, superficiales y subterráneas de la cuenca tienen como causa común, el estado deficiente de las redes del sistema de alcantarillado, el estado crítico de las plantas de tratamiento, el inoperante funcionamiento depurador de un elevado número de lagunas de oxidación, debido a la falta de mantenimiento y vertimientos de residuales no tratados.



Las pequeñas industrias que se desarrollan en la ciudad de Nueva Gerona no cuentan con los sistemas de tratamiento a sus residuales con eficiencia y agravan condiciones ambientales de los ríos Las Casas y Los Muertos, aumentando el contenido de materia orgánica, incremento de la contaminación bacteriológica y el desarrollo excesivo de la vegetación acuática.

Según su origen la contaminación se puede clasificar en cuatro categorías :

- la actividad agrícola
- la actividad industrial
- los servicios
- la actividad doméstica

La contaminación de las aguas es producida por las cuatro categorías mencionadas anteriormente y según el grado de contaminación los mayores impactos son producidos por:

FUENTES CONTAMINANTES POR LA ACTIVIDAD DOMESTICA

RESIDUALES LIQUIDOS

- ◆ Zanja La Magnesia
- ◆ Aliviadero de la planta de bombeo de residuales
- ◆ Emisario Submarino playa Gerona Beach
- ◆ Residuales del reparto Nazareno
- ◆ Zanja de calle 18
- ◆ Residuales con salida detrás de la fábrica de Conservas
- ◆ Residuales que descargan en calle 28 (caseta custodio del Combinado Pesquero)
- ◆ Residuales con salida en calle 30 y 33 ubicado dentro del combinado pesquero
- ◆ Reparto MICONS no posee sistema de alcantarillado, cuenta con sistema convencional
- ◆ Rpto Sierra Caballos
- ◆ Motel Gaviota
- ◆ Escuela Formatur
- ◆ Rpto José Martí
- ◆ ESBEC 58
- ◆ ESBEC 59
- ◆ Sede Universitaria
- ◆ Taller PCC
- ◆ otros puntos de vertimientos albañales pertenecientes a organismos

RESIDUALES SOLIDOS

Como consecuencia de la actividad diaria se generan residuos sólidos que constituyen un serio problema desde el punto de vista sanitario ambiental y económico, ya que los costos de su recolección, transformación y/o eliminación son cada vez mayores.

- ◆ Vertedero Gerona Norte
- ◆ Vertedero Sierra Caballo
- ◆ Vertedero de Patria

FUENTES CONTAMINANTES POR LA ACTIVIDAD INDUSTRIAL:

La contaminación industrial se traduce por la dispersión de compuestos minerales y compuestos orgánicos bajo la forma de humo, gas, aerosoles y efluentes líquidos. Para evaluar el efecto de las actividades industriales de la cuenca sobre el medio ambiente fue necesario realizar un inventario de las siguientes actividades económicas:

- ◆ Combinado Pesquero
- ◆ Fábrica de Refresco

- ♦ Naviera Cubana Caribeña(Muelle y barcos)
- ♦ Fábrica de conservas
- ♦ Envasadero Alexis Rodríguez
- ♦ Conserva Cítrica
- ♦ Combinado Cárnico
- ♦ Cerámica
- ♦ Empresa Eléctrica
- ♦ Taller de Agregados
- ♦ Lavandería El Abra
- ♦ Panificadora Mártires de Girón
- ♦ El Lavatín
- ♦ Frigorífico
- ♦ Poligráfico

FUENTES CONTAMINANTES POR LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA:

La actividad agrícola tiene 3 fuentes de contaminación (los pesticidas, los fertilizantes, y la cría de cerdos)

- ♦ Cochiquera 26 de Julio
- ♦ Cochiquera PCC
- ♦ Cochiquera " El Refugio "
- ♦ Cochiquera Rpto José Martí
- ♦ Cochiquera Rpto Sierra Caballos
- ♦ UBPC Capitán Lawton
- ♦ UBPC Sierra Maestra
- ♦ Cochiquera Micro 70
- ♦ Laboratorio Labiofam

Cuerpo de agua subterráneo afectado:

Nombre de la Zona	Causas de la Afectación	Organismo responsable
Acueducto Gerona (El Abra)	Fertilización inorgánica	MINAGRI (UBPC Cap. Lawton)
Acueducto Sierra Caballo	Fertilización inorgánica	MINAGRI (UBPC La Caoba)

FUENTES DE AGUA CONTAMINANTES PRODUCIDAS POR LA ACTIVIDAD DE LOS SERVICIOS:

- ♦ Taller agregados
- ♦ Hospital Héroes del Baire
- ♦ CHEM
- ♦ Laboratorio Veterinaria
- ♦ Laboratorio Suelos y sanidad
- ♦ Taller 13 de Marzo
- ♦ Taller Servicios locales Nueva Gerona

II.- DETERIORO DEL SANEAMIENTO AMBIENTAL

El deterioro de las condiciones higiénico sanitarias se localiza en los núcleos urbanos de Nueva Gerona y el Reparto José Martí, donde la interacción socioeconómica tiene una mayor incidencia. Se



ha observado también la disminución de la calidad del servicio de agua potable, siendo sus principales causas:

- └ Deficiente estado técnico de las redes de distribución.
 - └ Suministro discontinuo de agua en los Acueductos bajo control.
 - └ Roturas de equipos hipocloradores, así como deficientes dosificaciones y control de estas por parte de la entidad encargada
 - └ Frecuentes roturas en redes de distribución y continuo vertimiento de residuales líquidos.
- Según datos de la Empresa de Acueductos y Alcantarillado el tratamiento a las aguas suministrada es del 99.5 %.

El cuadro epidemiológico que refleja las tasas de comportamientos de enfermedades diarreicas agudas, infecciones respiratorias agudas, hepatitis viral (A y B) se muestra a continuación:

A.- ABASTO DE AGUA. CALIDAD SANITARIA:

La calidad bacteriológica del agua de consumo en la red de distribución fue superior en el año 1998 (76%) con respecto a igual período del 1997 (72%) . El cloro se comportó de la siguiente manera: de 72% de muestras con cloro en el 1998 contra el 80% en 1997.

Las principales causas que influyeron en la mala calidad sanitaria del agua de consumo se resumen en:

- Deficiente estado técnico de las redes de distribución de los acueductos existentes.
- Suministro discontinuo de agua en los 4 acueductos.
- Roturas de equipos hipocloradores, así como deficientes dosificaciones.
- Frecuente rotura en redes de distribución y continuos desbordamientos de residuales líquidos.

B.- RESIDUALES LÍQUIDOS:

Durante el primer semestre de 1998 se reportaron 238 obstrucciones en Nueva Gerona solucionándose 215 para el 90,3%.

Los principales problemas radicarón en:

1. Persistencia de obstrucciones y / o desbordamientos de residuales líquidos en el C/P de Gerona Centro (Rpto 26 de Julio), los cuales requieren de inversiones
2. Vertimiento sin tratamiento previo de las aguas residuales sociales e industriales al río Las Casas.

C.- DESECHOS SÓLIDOS:

En el período analizado se ha agudizado la disposición final de basura en el vertedero municipal debido en lo fundamental a:

1. Limitaciones con los equipos bulldozers.
2. La no existencia de depósitos colectivos.
3. Interrupciones en el servicio de recogida, lo que ha propiciado la aparición de continuos cúmulos de basura que se prolongan por más de tres días antes de su recolección, trayendo consigo la proliferación de todo tipo de vectores (moscas, mosquitos y roedores); situación esta más significativa en los C/P de Gerona Norte, Gerona Centro).

D.- HIGIENIZACIÓN AMBIENTAL:

Todos los indicadores evaluados dentro del Programa Integral de Higienización Ambiental fueron superiores en 1998.

Indicadores	1997	1er.semestre 98
Muestras con cloro en la red de distribución	1595	864
Porcentaje de muestras con cloro	80	72
Muestras bacteriológicas en las redes	873	414

Muestras satisfactorias en redes de distribución
Porcentaje de muestras satisfactorias

628
72

316
76

Tabla # 2 Indicadores del Programa Integral de Higienización Ambiental. 1^{er} Semestre 1997 - 1998.

Indicadores	Reportados		Solución		Porcentaje	
	1997	1998	1997	1998	1997	1998
Salideros de agua en la red	547	187	309	160	56	86
Obstrucciones y desbordamientos de residuales líquidos	406	238	230	215	57	90
Limpieza de fosas	371	117	219	174	59	149
Lagunas con problemas sanitarios	23	10	13	5	57	50
Microvertederos clandestinos	3	0	3	0	100	0
Consejos populares saneados	4	4	2	2	50	50

ZOONOSIS.

INCIDENCIAS. PROGRAMA DE CONTROL DE LA LEPTOSPIROSIS.

En este primer semestre de 1998 se han realizado 607 investigaciones (resultando 1 positiva), de ellas 466 corresponden a grupos de riesgos y 15 a casos clínicos sospechosos de la enfermedad, donde fue diagnosticado el caso afectado; se realizaron 126 investigaciones a otras muestras remitidas al CHEM. Se mantiene el aumento de personal expuesto a riesgo en el territorio, así como el índice de infestación de roedores.

PRINCIPALES DEFICIENCIAS DEL PROGRAMA:

- No se dispone de vacunas para inmunizar a los grupos de riesgos.
- No se dispone en el laboratorio del CHEM microscopio de campo oscuro para el diagnóstico de la enfermedad.
- Falta de medidas de protección al personal expuesto a riesgo.
- Deficiente diagnóstico en la masa animal por parte del IMV (no se realiza el mismo).
- Falta de rodenticida en este período.
- Alto índice de infestación de roedores (63 %).
- Falta de tratamiento de residuales en las viviendas pecuarias.
- Falta de funcionamiento de la Comisión de Control de Roedores del Territorio.
- Deficiente recogida de los residuales sólidos en el territorio en sentido general por parte de Servicios comunales.

ENFERMEDADES DIARREICAS AGUDAS.

Durante el primer semestre de 1998 hubo una disminución de los casos por EDA comparado con 1997.

En 1997 se atendieron 6859 casos para una tasa de 1406,9/ 10000 hb. y en el semestre de 1998 se atendieron 1739 para una tasa de 3

INFECCIONES RESPIRATORIAS AGUDAS

Durante el primer semestre del 98 se atendieron 3431 casos (tasa de 703,7/10000 hb) superior a 1997(16430 casos con tasa de 337).

BROTES PRODUCIDOS POR AGUA:

Durante los dos periodos analizados en la zona correspondiente a la cuenca Río Las Casas no se han producido brotes de enfermedades transmitido por el agua.

HEPATITIS VIRAL.

En el semestre de 1998 se notificaron un total de 14 Hepatitis Vírales. Se produce una reducción de 10 casos con relación a igual período del año anterior;

III.- DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS

La Cuenca del Río Las Casas está representada por suelos de textura de arena a loam arenoso en su primer horizonte, donde en los últimos años se ha incrementado su explotación debido a que posee los suelos de mejor aptitud para la obtención de viandas, vegetales y cítricos.

La zona estudiada presenta suelos Ferralítico Rojo lixiviado, típico en los alrededores del Río Las Casas, Sierra El Abrita y Sierra Caballo, con buenas características físicas, donde incluye buena permeabilidad y drenaje, la compactación natural oscila entre los 25 y los 45 cm la cual se acentúa cuando se seca el suelo y por la acción del hombre, son suelos muy resecentes y de baja fertilidad natural, aunque productivos. Desde el punto de vista de la erosión abundan áreas con poca y mediana erosión como se presenta en la siguiente tabla:

TABLA CON AREAS AFECTADAS POR LA EROSIÓN

Intensidad de Erosión	ha	cab
Muy fuerte	36,26	2,70
Fuerte	284,42	21,19
Mediana	3248,48	242,06
Poca	2874,59	214,21
Total General	6443,75	480,16

Para la prevención o detección de los efectos de la erosión se han ejecutado y se ejecutan proyectos de conservación de suelo, aunque los mismos no están al nivel que requiere la agricultura por problemas en las maquinarias; además se orienta planes de medidas de conservación de suelos a los productores para que atenúen los efectos erosivos.

Las afectaciones por la salinidad se manifiestan fundamentalmente en las áreas cercanas a la costa, esto mismo sucede con la sodicidad. En el área que ocupa la cuenca aparecen 636 ha con problemas de drenaje. No existe un programa específico para atenuar los efectos de este factor limitante sino que va aparejado al plan de medidas de conservación de los suelos.

Las causas fundamentales de la erosión de los suelos son:

- Tipo de suelo, textura arenosa.
- Relieve ligeramente ondulado y la práctica de muchos productores de orientar los surcos a favor de la pendiente.
- Comenzar la explotación agrícola antes de que se instrumente las medidas antierosivas y las obras de conservación.
- La preparación de los suelos basada en el empleo masivo y continuado de la grada lo que afecta la estructura de los suelos y forma una capa de compactación a los 15- 25 cm de profundidad disminuyendo la capacidad de infiltración.
- El empleo de técnicas de riego inadecuadas.
- Tecnologías empíricas de preparación de los suelos, aplicadas sin ningún estudio, utilizándose como único criterio de su implementación la factibilidad económica.
- Incorrecta explotación de los pastos en los agrosistemas ganaderos, unido a la invasión del marabú.

IV.- DEFORESTACIÓN

Las márgenes del río Las Casas y sus tributarios son las formaciones que más afectaciones ha tenido en los últimos tiempos.

El estrato arbóreo original de esta formación ha sido alterado en casi su totalidad, observándose en algunos de sus sectores el predominio de las yagrumas como exponentes de una sucesión secundaria y en otros el del marabú y la pomarrosa.

Existen lugares que aún conservan algunos de los elementos naturales donde resaltan las Palmas Reales en el paisaje. Solo en el sector detrás del Rancho del Tesoro puede observarse un sector que aun conserva valores naturales.

Las afectaciones a esta formación están motivadas por:

1. La utilización de las márgenes del río las Casas para la agricultura por parceleros individuales, utilizando prácticas no sostenibles.
2. La deforestación de sus márgenes con fines constructivos,
3. Los incendios
4. Inadecuado manejo agrícola en las áreas aledañas.

La cuenca del Río las Casas no tiene proyecto de reforestación definido, lo que no ha impedido que se realice la actividad según las necesidades y posibilidades de los planes técnicos económicos de la Empresa Forestal y el Plan Manatí donde se destacan la Empresa de Acopio y la ECI-4 que han contribuido en la protección de la faja hidroreguladora del embalse Casas II.

En los que se refiere a dendroenergía en el área forestal se cuenta con 8 ha de Casuarina y 8,1 ha de Eucaliptus. No obstante según los proyectos de Reforestación se plantea culminar la siembra del área para el presente año con 362 ha de ellas:

Aserrío	222.0 ha	PC y Teca
Energéticos	60.0 ha	Eucaliptus
Cujes para tabaco	20.0 ha	Eucalipto
Fajas verdes	60.0 ha	Ocuje
Total	362.0 ha	

V.- DAÑOS ESTÉTICOS

Se observa la degradación del paisaje producto a la explotación minera de las elevaciones de Sierra de Casas, las cuales se realizan con el objetivo de obtener roca ornamental y la construcción.

ACCIONES PARA MINIMIZAR LOS PRINCIPALES IMPACTOS EN LA CUENCA

1.- Para la contaminación de las aguas terrestres y marinas:

- Lograr un efectivo funcionamiento y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de los residuales construidos en los principales objetivos económicos y sociales, no sólo en la planta de residuales de Nueva Gerona sino también en las lagunas de estabilización creadas con estos fines, y su obligatoria construcción en las nuevas inversiones.
- Concretar la realización del proyecto del sistema de tratamiento y la ampliación del emisario de los residuales del poblado de Nueva Gerona y el funcionamiento efectivo y la instalación al sistema de la comunidad del Reparto José Martí.
- Aprovechamiento de los residuales industriales, agrícolas y domésticos en la alimentación animal, mejoramiento de suelo y producción de energía alternativa.

2.- Para el deterioro del saneamiento de las condiciones ambientales:

- Priorizar las inversiones necesarias en la rehabilitación, ampliación, reconstrucción y modernización de las redes de acueducto y alcantarillado y sus correspondiente sistema de tratamiento, con el fin de brindar agua en la cantidad y calidad necesaria a la población y lograr



una disposición efectiva de los residuales líquidos ya tratados y coadyuvar a una disminución de la morbilidad por enfermedades de origen hídrico.

- Realizar el adecuado financiamiento, localización y mejoramiento organizativo de la recolección y disposición de los residuales sólidos para disminuir la aparición de vectores y problemas higiénico sanitario.
- Incrementar las áreas verdes urbanas
- Mantener un monitoreo sistemático de la calidad del agua.

3.- Para la degradación de los suelos

- Para la prevención o detección de los efectos de la erosión se han ejecutado y se ejecutan proyectos de conservación de suelo, aunque los mismos no están al nivel que requiere la agricultura por problemas en las maquinarias; además se orienta planes de medidas de conservación de suelos a los productores para que atenúen los efectos erosivos.
- Fortalecer el manejo integrado de plagas, el control de éstas y las enfermedades, con productos naturales alternativos, disminuyendo paulatinamente el uso de plaguicidas.
- Controlar de forma estricta la cantidad y calidad del agua utilizada para el riego y el estado de las fuentes.
- Aplicar de forma consecuente el policultivo y una adecuada rotación de los mismos que logre enriquecer el suelo.
- Adecuada utilización de las labores aerotécnica y la aplicación de cambios en los modelos de labranza y cultivo, el ordenamiento de los suelos por su fertilidad o agroproductividad con un adecuado balance de la fertilización inorgánica y orgánica en la cantidad y calidad necesaria.

4.- Para la deforestación

- Reforestar la franja hidroreguladora del río y sus tributarios según lo establecido en las normas actuales.
- Mantener en los proyectos de desarrollo agrícola y forestales la conservación de los lugares donde se desarrollan el bambú y las distintas especies de palmas por los valores que estas plantas tienen como ornamentales, melíferas y en la agricultura.
- Reforestar las áreas que no tienen vocación para los cultivos con especies como el pino macho y el hembra (en caso de lugares con condiciones extremas), por ser estas muy afín con las características del suelo sin menos precio de otras especies que puedan utilizarse, así como el desarrollo de prácticas forestales integrales.
- Brindarle especial protección a la zona menos degradada del río. Dedicándole medidas especiales a la protección de la **Pimienta dioica**, por su singularidad en el territorio.

En trabajos posteriores se deberá realizar estudios de campo para obtener el inventario detallado de la flora, con vistas a determinar el potencial de los recursos vegetales de la cuenca y la conservación de los principales valores. Con respecto a la vegetación deberá priorizarse lo concerniente a la cobertura vegetal y su relación con los suelos y los problemas que estos presentan.

5.- Para los daños estéticos

- Impulsar el obligatorio cumplimiento de la restauración de las áreas afectadas por explotaciones mineras, canteras y otras que provoquen la degradación de los suelos

DISCUSION

Fueron casos de análisis y discusión lo referente a la contaminación de las aguas interiores y marinas, las fuentes contaminantes por la actividad doméstica, los residuales sólidos, las fuentes contaminantes por la actividad industrial, las fuentes contaminantes de la actividad agrícola, cuerpo de agua subterráneo afectado, las fuentes contaminantes producidas por la actividad de los servicios



,el deterioro del saneamiento ambiental, la degradación de los suelos y daños estéticos provocados por la actividad minera.

CONCLUSIONES

Como resultado del trabajo logramos determinar los aspectos medulares de interés y que constituyen los principales problemas ambientales de la Cuenca los cuales relacionamos a continuación:

- ♦ Contaminación de las aguas interiores y marinas
- ♦ Deterioro del saneamiento ambiental
- ♦ Degradación de los suelos
- ♦ Deforestación

El trabajo propone un plan de acción para mitigar de forma priorizada los problemas ambientales, de mayor relevancia.

BIBLIOGRAFÍA

- Oficina Regional de FAO para América Latina y el Caribe. 1990 Informe del Taller Internacional sobre Areas protegidas en la Cuenca del Amazonas.
- Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Marzo.1991. Informe final y memorias de las comisiones de trabajo, Primer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas. Santiago, Chile.
- Hernández Becerra Edgar. 1993. Monitoreo y Evaluación de logros en proyectos de ordenación de cuencas hidrográficas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 1993. Memorias del Taller Latinoamericano de Extensión en Cuencas Hidrográficas. Santiago Chile,
- CIDEA. Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo. 1995. CITMA, WWF Primera Edición Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 1996. Ponencias de los Plenarios del II Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Santiago, Chile,
- Facetti Fernández Juan Prof. Dr. 1995. Estudio de la Contaminación industrial y urbana en el Paraguay. ENANPRENA. Asunción, Paraguay,
- Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 1995. Informe Consulta de Expertos en Manejo de Cuencas Hidrográficas en zonas áridas y semiáridas de América Latina. PNUMA. Santiago, Chile,

INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y LA EVOLUCIÓN GEÓLOGO-GEOMORFOLÓGICA SOBRE LA DIVERSIDAD Y EL ENDEMISMO DE LA BIOTA DEL PARQUE NACIONAL ALEJANDRO HUMBOLDT, CUBA

Hilda M. Alfonso de Anta

Instituto de Geografía Tropical. Calle F 302 esq F. Vedado. Código 10400 Ciudad de la Habana. Email hildamdeanta@yahoo.com

Resumen

El Parque Nacional Alejandro Humboldt, forma parte del principal centro de biodiversidad y endemismo de Cuba y del Caribe insular



Los ecosistemas en este territorio son refugio de animales endémicos valiosos como el almiquí, el carpintero real y otros. A partir de las informaciones precedentes, se analiza la influencia ejercida por las características y evolución geólogo-geomorfológica sobre la diversidad y el endemismo de la biota del Parque Humboldt. De forma complementaria, se estudian algunos procesos naturales activos que pueden afectar el propósito conservacionista de este Parque Nacional. La evolución geólogo-geomorfológica del territorio originó la diversidad litológica y geomorfológica, así como la presencia de concentraciones minerales. Los ascensos neotectónicos y recientes elevaron mesetas y montañas y favorecieron su aislamiento durante largos períodos de tiempo con el consecuente desarrollo de especies endémicas. Sobre este mosaico rocoso se formaron montañas abruptas, mesetas, terrazas marinas y otras morfologías las cuales han durado a pesar de su fragilidad. La presencia y explotación de yacimientos minerales atenta contra la conservación del territorio. Por lo cual se recomienda valorar en el análisis la fragilidad de estas formas de relieve que forman parte de importantes ecosistemas y al ser transformarlas pueden ser erosionadas y afectadas por otros procesos activos

ABSTRACT

Alejandro Humboldt National Parks are de principal center of diversity and endemic in Cuba and Carbine island. This ecosystem has valuable endemics animals such as almiquí, a sparrow hawk caguarero and another species.

It is used precedent report's to analyze the influences exercised on the diversity and the endemic of Humboldt's Park Biota by the geologic and geomorphologic evolution and characteristic. Some is also presented actives geomorphologic process that they can affect the park conservation and other hazards.

The geologic geomorphologic evolution has conditioned the litologic and geomorphologic diversity and minerals deposits. The large and complicate evolution had got motivated great litologic variety from igneous and metamorphic to sedimentary pliocuaternary rocks. The litologic diversity expresses in different kinds of reliefs including abrupt mountain and plateaus to marine terraces and carsic form. The neotectonic and recently uplift favoured the isolation of plants in this places for a log time and the endemic as in Toldo's Plateau. The geologic



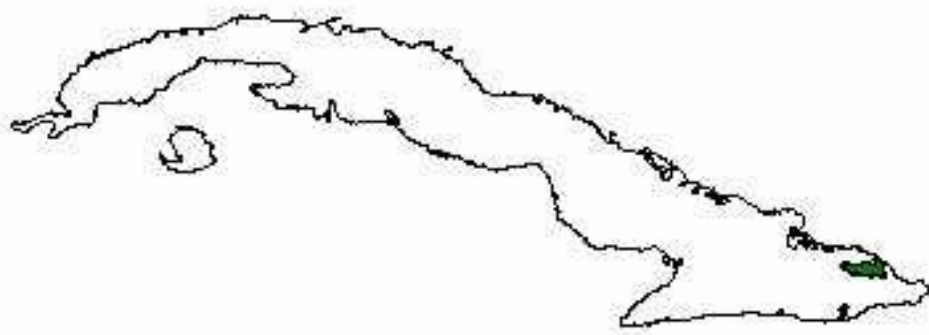
evolution has also propitiated minerals deposits such as La Melba crom mine, the lateritic and another minerals deposit are considerate hazards for park's conservation.

Nevertheless it should be kept in mind that this resistant mountain systems in the time have very fragile relief forms elaborated on fractured and frail rocks and it were intensified the erosion and other active processes to the being transformed with plenty rain.

These elements should be kept in mind to always respect the sustainable development of the territory.

INTRODUCCIÓN

El Parque Nacional Alejandro de Humboldt (PNAH) ubicado al noreste de Cuba posee una gran riqueza florística y una de las zonas de mayor endemismo del mundo. Se encuentra dentro de las montañas de Sagua Baracoa, las cuales constituyen el principal centro de diversidad y endemismo de



Cuba y el Caribe insular. Es de interés reflexionar sobre la influencia ejercida por las características y la evolución geólogo- geomorfológicas en la diversidad y el endemismo. Además se presentan algunos de los procesos naturales activos que pueden afectar el propósito conservacionista del Parque así como otras amenazas.

II Materiales y Métodos.

Se realiza una síntesis de trabajos precedentes Furrázola Bermúdez, G y Nuñez Cambra, K (1997) e incluyendo la información digital de la Unidad de Protección del Sistema de Áreas Protegidas (UPSA) teniendo en cuenta que estos materiales contienen los materiales precedentes de mayor importancia. A partir de ellos se elabora un esquema geomorfológico y un mapa de agrupaciones litológicas en base a las propiedades físico mecánicas de las rocas y su expresión en el relieve.

En el esquema geomorfológico se presentan los complejos de formas y formas principales a escala media, diferenciándose las formas erosivas tectónicas, erosivo denudativas petrogénicas y tectónicas, así como las formas fluviales. Además se cartografiaron superficies residuales y restos de superficies así como formas fluviales.

En el mapa de agrupaciones litológicas se diferencian las rocas ultramáficas serpentinizadas, las rocas volcánicas sedimentarias y las rocas intrusivas como los gabros, se representan también las fallas y alineamientos geomorfológicos.

Se analiza la influencia de las características y la evolución geólogo- geomorfológica en la diversidad de la flora y la fauna del territorio, así como los procesos geomorfológicos activos y otras amenazas que pueden afectar la biota del territorio y sus hábitat.

Características geológicas

La gran heterogeneidad del substrato geológico se expresa en diferencias litológicas, estratigráficas y estructurales. En el territorio coexisten rocas ígneas básicas y ultrabásicas del substrato plegado provenientes de antiguas cortezas oceánicas Cretácicas emergidas hace más de 40 millones de años, (datan del Triásico al Jurásico) junto a rocas carbonatadas y sedimentarias miocénicas y cuaternarias de la cobertura platafórmica. Esta compleja estructura condiciona la gran heterogeneidad del substrato litológico a la cual se ha hecho referencia, así como diferencias estructurales y genéticas

Con respecto a la estructura el substrato plegado es predominante en el territorio y está representado por el complejo ofiolítico y los arcos volcánicos del cretácico y del paleógeno. Las rocas de los mismos están plegadas y fracturadas contrastando con la cobertura de rocas más jóvenes que en ocasiones las cubren. Las ofiolitas ocupan la mayor parte del territorio y en especial en la zona occidental y central y sobre ellas se han elaborado superficies de planación que han sido elevadas. Están representadas por ultramafitas serpentinizadas, harzburguitas, dunitas, cúmulos ultramáficos, peridotitas, gabros, rocas efusivas como lavas y diques de diabasas, muy tectonizadas y se hallan en contacto tectónico con gabros.

El substrato plegado contiene además rocas volcánicas e intrusivas plegadas y fracturadas de los arcos volcánicos del cretácico y del Paleógeno en la zona sur oriental y rocas carbonatadas más jóvenes. Se encuentran tobas, tufitas, argilitas, aleurolitas, lavas basálticas, calizas macrocristalinas así como rocas metamorfizadas, andesitas, basaltos, tobas y lava brechas, andesito-dacitas y areniscas aleurolíticas vulcanomícticas, gabros sieníticos, sienitas y otras rocas carbonatadas. Estas rocas a veces subyacen y otras veces sobreyacen a las ofiolitas debido a los plegamientos y fracturas tectónicas. Por lo general se hallan en cotas de menor altura que las ofiolitas. En general las rocas del substrato plegado son resistentes, aunque algunas son mas deleznales, están muy tectonizadas y plegadas.

Las rocas de la cobertura citada predominan hacia el este y noreste del territorio en elevaciones relacionadas con niveles de terrazas marinas fósiles. Dentro de ellas se encuentran los estratos de las fm Yateras del Mioceno medio, fm Maya del Pliopleistoceno y fm Jutía del Holoceno. En general se hallan conformadas por rocas sedimentarias carbonatadas y terrígenas como calizas, margas, arcillas, areniscas y otras.

En el macizo Moa - Baracoa presenta cromitas masivas y densamente diseminadas en cuerpos concordantes situados en bandas estrechas a varios niveles de la zona de transición. Dentro de los extensos cuerpos minerales de dunitas se encuentran cromitas podiformes, diques de microgabros, piroxenitas, cuerpos de iherzolitas y dunitas pullapart en harzburguitas asociadas a la parte baja de la zona de transición. Se han reportado alrededor de 100 ocurrencias de cromitas, muchas de ellas asociadas a diques en la zona de transición y en contacto tectónico con los gabros durante las investigaciones de prospección y exploración realizadas en esta zona mineral. Entre los campos minerales estudiados se encuentran Merceditas, Yarey – Amores -Buenavista y Cromita – Cayo Guam. Estas manifestaciones minerales de cuerpos minerales de cromitas dentro de las serpentinitas en el territorio y en zonas aledañas, representa una amenaza para la conservación del Parque, ya que genera conflictos por el uso del suelo y la presión económica ejercida sobre los decisores es elevada.

Características geomorfológicas

El relieve del territorio se caracteriza por estar muy diseccionado y accidentado además presenta desde montañas bajas y pequeñas de horst y montañas pequeñas y bajas de bloques masivos en plegamientos complejos hasta llanuras marinas aterrazadas y otras formas fluviales. Las cotas mayores se encuentran en la parte central norte, en las montañas bajas del Alto de la Calinga y disminuyen las cotas hacia el este. Existen superficies de planación y terrazas así como cimas estrechas. En general se puede evidenciar que predominan las montañas de horst y bloques, así como las montañas bajas con respecto a las pequeñas, sobretudo hacia las cercanías con la gran zona de fracturación tectónica N-S Moa- San Antonio del Sur, donde se encuentra la parte más elevada del territorio y los bloques de plegamientos complejos son cortados en su curso medio por el río Toa, en la parte central y sur occidental del Parque.

El relieve puede ser diferenciado en tres tipos: al primero pertenecen las formas erosivas tectónicas, al segundo formas erosivo denudativas petrogénicas tectónicas y en el tercero se agrupan las formas marinas y fluviales.

Las montañas bajas pertenecen al primer grupo, tienen algunas cimas aplanadas profundamente diseccionadas en cuchillas, con alturas entre 800 y 1100 metros (snm) y una disección de 500 a 700 metros. Las mismas fueron elaboradas sobre rocas vulcanógenas, gabroides, y diabasas y calizas. Las montañas pequeñas aplanadas, pertenecen en su mayor parte al segundo grupo. Presentan cotas entre 500 y 800 metros y disección entre 400 y 500 metros, como las cuchillas del Toa, elaboradas sobre rocas sedimentarias del Cretácico inferior al superior y cuerpos de andesitas.

Se presentan los diferentes niveles geomorfológicos como testigos de antiguas superficies de nivelación originadas por las oscilaciones glacioeustáticas, los movimientos neotectónicos y recientes. Los niveles superiores presentan cimas aplanadas en mesetas (altiplanicies), como el bloque hórstico del Toldo de 1000 metros sobre peridotitas serpentinizadas, y diques de diabasas y las montañas con cimas estrechas en forma de cuchillas y pendientes abruptas, como las cuchillas del Toa y las cuchillas de Moa. Dichos niveles superiores se encuentran esculpidos sobre rocas antiguas como las ofiolitas y rocas más jóvenes como las calizas, debido a los ascensos neotectónicos, los pliegues y a la erosión diferencial. El resto de las rocas volcánicas menos resistentes y las rocas carbonatadas más jóvenes, ocupan la parte baja.

La superficie de mayor altura, se encuentra en la parte septentrional central y forma la Meseta del Toldo con cimas de hasta 1175 m. Sus laderas tienen gradientes de más de 40 grados, la ladera occidental y la meridional son más abruptas que la oriental, debido a un mayor ascenso de los movimientos neotectónicos y recientes, y la inclinación de la superficie hacia el este. Estas laderas constituyen morfoalineamientos orientados en las direcciones NO-SE, N-S, NE-SO, al parecer controladas estructuralmente por la gran zona de fallas Moa – San Antonio del Sur.

El resto de las superficies se encuentran hacia la parte central nororiental en cotas y extensión menores a los niveles de 600-700 metros, 800 a 900 y de 900 a 1000 metros (snm). Estas superficies también presentan laderas abruptas. En su mayor parte se halla diseccionada por el río Toa y sus afluentes. Estos cauces presentan numerosos meandros, valles y cañones fluviales encajados y algunos tramos rectos coincidiendo con las direcciones NE-SO, NO-SE y E-O. Hacia la costa existen llanuras litorales aterrazadas.

Los datos de nivelaciones geodésicas precisas e informaciones sísmicas señalan a esta zona como una de las de mayor velocidad de los movimientos recientes relativos para Cuba (Arango, comun. pers.).



Como se evidencia en lo expresado con anterioridad el accidentado relieve del territorio con predominio de cotas mayores de 500 m se halla elaborado sobre diferentes litologías dentro de ellas predominan las rocas ultrabásicas serpentinizadas y las volcánicas que ocupan la parte central oriental y central septentrional. Estas viejas rocas del Jurásico al cretácico han sido sometidas a grandes procesos tectónicos y metamórficos elevadas por los movimientos neotectónicos ascendentes, por lo que estos pisos estructurales antiguos constituyen niveles geomorfológicos con alta energía potencial gravitatoria, grandes desniveles hipsométricos y pendientes abruptas sobre rocas plegadas y fracturadas en una zona caracterizada por una alta pluviosidad lo cual favorece la erosión del territorio en laderas desnudas o de escasa vegetación.

En el territorio se encuentra el interfluvio que separa los ríos de la vertiente norte y la este formando un arco. Entre los primeros se encuentran afluentes de los ríos Moa y Sagua de Tánamo. Entre los ríos y arroyos que corren hacia la vertiente están Yamanigüey, Jiguaní y Santa Marta. La vertiente norte es representada por los afluentes de los ríos Sagua de Tánamo, Moa, Cayo Guam y Quesigüa, que desembocan en la costa norte. Los arroyos de los ríos y arroyos: Cupey, Yamanigüey, Santa Marta, Taco y Nibujón desembocan hacia el noreste y este.

El río Toa nace en la parte central norte del Parque, corre de oeste a este sobre rocas vulcanógenas y calizas, elabora cañones y algunas cascadas como El Saltador, con 17 m de altura, siendo un reflejo de los movimientos tectónicos recientes en el territorio. Este río es el más caudaloso de Cuba, posee 71 arroyos, su cuenca ocupa la mayor parte del territorio y gran parte de sus afluentes se encuentran en el área de estudio. Uno de sus afluentes, el Yarey, nace en la parte central occidental de las cuchillas del Toa, que separa las cuencas de Sagua y Moa de la del Toa; ese parteaguas se encuentra muy erosionado y el arroyo Yarey tiene tendencia a capturar al afluente Ojo del Agua del río Sagua, al parecer por encontrarse en una zona de mayor velocidad de los movimientos recientes ascendentes. Este arroyo se une al afluente Jaguaní, uno de los más extensos del Toa y que drena parte de sus montañas denominadas "cuchillas" por sus laderas abruptas y cimas estrechas.

El territorio en general y en especial la parte central septentrional y oriental tiene precipitaciones más abundantes, así como una gran actividad neotectónica y reciente. El sistema montañoso que ha resistido en el tiempo posee formas de relieves muy frágiles como las laderas abruptas susceptibles de ser erosionados y una transformación de las mismas, intensificaría la erosión y otros procesos activos que destruirían estos ecosistemas refugio de animales valiosos como el almiquí, el gavilán caguarero y otras. Por otra parte los factores citados intensifican la carsificación y el pseudo carso o carso sobre las serpentinitas observado en los Farallones de Moa, proceso muy peculiar de este territorio. La abrasión marina se evidencia tanto en las terrazas costeras actuales como en los niveles de terrazas fósiles.

Se evidencia una gran actividad de los procesos erosivos dada por la poca acumulación de sedimentos y terrazas acumulativas actuales, la casi total destrucción de los parteaguas y la tendencia a capturas fluviales como el afluente del Toa Yarey, con tendencia a capturar al afluente Ojo del Agua del río Sagua, debido a los movimientos recientes ascendentes. Por otra parte existen derrumbes y evidencias de movimientos de laderas en algunas laderas.

Estos factores propician e intensifican procesos exógenos además de la erosión y los movimientos de laderas a los cuales se les debe prestar una extrema atención en la reforestación de las laderas de las montañas y premontañas y evitar los cortes de caminos, terraplenes y carreteras, ya que pueden favorecer dichos procesos en estas zonas vulnerables.



Influencia de la evolución geólogo-geomorfológica en la diversidad y el endemismo de la biota

La coexistencia de diferentes tipos de rocas desde rocas ígneas básicas y ultrabásicas del substrato plegado procedentes de antiguas cortezas oceánicas emergidas hace más de 40 millones de años junto a rocas carbonatadas y sedimentarias miocénicas y cuaternarias de la cobertura platefórmica más jóvenes origina las diferencias litológicas y estratigráficas señaladas. Estas rocas más viejas se encuentran mas plegadas, fracturadas y elevadas por la tectónica que la cubierta sedimentaria más joven.

Dicha diversidad geológica ha condicionado la diversidad de formas del relieve muy diseccionado y accidentado que contiene desde montañas bajas y pequeñas de horst con cimas planas, montañas pequeñas y bajas de bloques masivos en plegamientos complejos y cimas estrechas hasta llanuras marinas aterrazadas y otras formas fluviales. Coexisten superficies de planación y terrazas con montañas de cimas estrechas.

Algunas superficies de nivelación como la meseta del Toldo han sido elaboradas sobre rocas ultrabásicas e intrusivas muy viejas resistentes a la erosión y han sido elevadas hasta miles de metros por los movimientos neotectónicos y recientes. En el Oligoceno se forman, como señala Finko en López (1998) las cortezas lateríticas sobre las superficies de planación de las serpentinitas. Dichas cortezas presentan condiciones extremas para la vida de las plantas ya debido a las abundantes precipitaciones del territorio se lavan y erosionan frecuentemente las mismas, el suelo es escaso y por otra parte las montañas de serpentinitas y otras originan suelos ricos en elementos nocivos como el hierro y el magnesio. Las plantas que habitan las mesetas y montañas han evolucionado aisladamente en las condiciones extremas mencionadas y en condiciones de aislamiento ya que estas formas de relieve han sido elevadas por los movimientos neotectónicos y recientes y están rodeadas por laderas abruptas con bosques latifolios densos lo cual ha impedido la migración y colonización por otras especies. Las especies de plantas que habitan estos territorios en el transcurso de su evolución han sido afectadas por diferentes eventos geológicos, han resistido inundaciones, fuertes vientos por lo tanto muchas de estas plantas constituyen fósiles vivientes muy valiosos que es necesario preservar.

Por lo anterior se puede afirmar que la diversidad litológica y geológica así como las peculiaridades de la evolución geólogo-geomorfológica con determinadas superficies y cimas en condiciones de aislamiento ha favorecido la diversidad biológica y el endemismo de la biota del territorio.

CONCLUSIONES

- La coexistencia de diferentes tipos de rocas desde rocas ígneas básicas y ultrabásicas de antiguas cortezas oceánicas junto a rocas carbonatadas y sedimentarias miocénicas y cuaternarias origina las diferencias litológicas y estratigráficas.
- La diversidad geológica ha condicionado un relieve diverso muy diseccionado y accidentado conformado por montañas bajas y pequeñas de horst con cimas planas y montañas pequeñas y bajas de bloques masivos con cimas estrechas hasta llanuras marinas aterrazadas y otras formas fluviales.
- El accidentado relieve del territorio donde predominan cotas mayores de 500 m se halla elaborado sobre diferentes litologías con predominio de ofiolitas y rocas volcánicas que ocupan la parte central oriental y central septentrional

- La evolución geológica geomorfológica del territorio ha condicionado la gran densidad de drenaje, la diversidad litológica, geomorfológica y biológica del mismo, así como la presencia de concentraciones minerales
- Los pisos estructurales antiguos constituyen niveles geomorfológicos con alta energía potencial gravitatoria, grandes desniveles hipsométricos y pendientes abruptas sobre rocas viejas plegadas y fracturadas en una zona caracterizada por una alta pluviosidad lo cual favorece la erosión del territorio en laderas desnudas o de escasa vegetación.
- Las precipitaciones abundantes así como movimientos neotectónicos y recientes ascendentes y la presencia de rocas deleznales y solubles han favorecido e intensificado procesos exógenos como la erosión, los movimientos de laderas, la carsificación, la pseudocarsificación y la abrasión marina.
- La gran actividad de los movimientos recientes y la presencia de rocas alteradas deleznales favorece la presencia de morfologías frágiles y la intensificación de los procesos activos, por lo cual se deben extremar las medidas de protección de las mismas.

RECOMENDACIONES

- La diversidad geomorfológica y biológica del Parque Alejandro Humboldt, uno de sus principales valores se ve amenazada por la presencia de zonas con gran contenido de minerales de cromo, níquel y cobalto principalmente y el interés minero en su explotación.
- La fragilidad de las formas del relieve y en especial de las laderas con grandes gradientes de pendientes se debe tener en cuenta ante cualquier transformación del territorio.

BIBLIOGRAFÍA:

- Furrazola Bermúdez, G y Nuñez Cambra, K, (1997): ESTUDIOS SOBRE GEOLOGÍA DE CUBA. Instituto de Geología y Paleontología Centro de Información Geológica. Centro Iberoamericano de Investigación y Desarrollo de la Comunicación Gráfica (CIDGRAF) Ciudad de La Habana. ISBN (959-243-002-0).527 páginas. P.P (198-205)
- Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía,1978: Atlas de Cuba XX Aniversario del triunfo de la Revolución Cubana
- Instituto Geográfico Nacional de España, Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba, 1983: Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Sección III y Sección IV
- Zabala Lahitte, 2000: Diagnóstico Ambiental del Parque Nacional Alejandro de Humboldt. Tesis de Maestría. Facultad de Geografía. Universidad de la Habana (inédito).
- (Inédito)
- López, A (1998): Origen probable de la flora cubana. En la diversidad biológica de Iberoamérica II. Volumen Especial, Acta Zoológica Mexicana, Nueva Serie. Ed Gonzalo Halffter. Instituto de Ecología, Xalapa, 83-108 pp,

ENFOQUE ACTUALIZADO POR GEOLOGÍA Y GEOQUÍMICA AMBIENTAL DE TERRITORIOS MANGANIFEROS

Aldo Fernández Montero(1), Isabel Sosa Rojas(1).

(1). *Empresa Geominera de Oriente, Carretera de Siboney Km 2¹/₂ Alturas de San Juan. Santiago de Cuba. ZP: Santiago 8, CP: 90800. Teléfono: 641603, 643836. Fax: (53-22) 87130.*

RESUMEN

La presentación de una problemática estatal en el año 2003, constituyó un asunto resuelto entonces por trabajos de campo y por evaluación preliminar de los resultados de laboratorio.

Por medio de este trabajo se propone la continuidad de ese tratamiento en gabinete.

El problema imprevisto, perseguía la "profundización por posibles implicaciones de la existencia y acumulación de recursos minerales en el Área de la Cuenca del Río Cauto".

Se ejemplifica la metodología por la existencia de terrenos (campos) meníferos metálicos del tipo manganíferos.

El trabajo esboza todo el procedimiento desde su concepción y su secuencia.

1._ Se presenta un territorio estimado patrón (Área Guisa – Los Negros) para continuar investigaciones geológicas y geoquímicas medioambientales por su carácter preferencial (muy significativo) y factible a constituir modelo de área de posible asignación minera y zona de reserva geológica medioambiental manganisífera.

Esta área muestra por sus caracteres un alto potencial mineral; que van en detrimento de su participación en otras esferas económicas y sociales de la vida humana.

2._ Estos terrenos constituyen sectores de riesgos de contaminación geominera y de preocupación toxicológica para la salud humana.

3._ Se aplican procedimientos actuales de las materias y disciplinas nombradas Geología y Geoquímica Ambiental y se proponen problemáticas de Geofísica Ambiental hasta lograr Planos Temáticos por Variables, y el Mapa de Riesgo Geominero – Contaminación.

4._ Incentivar con la presentación de esta propuesta a la participación del REORDENAMIENTO TERRITORIAL y la señalización inicial de estas áreas meníferas potencialmente contaminantes, al indicarse los perímetros como "Focos Metalogénicos Anómalos de Manganeso".

ABSTRACT

The presentation of a state problem in the year 2003, constituted a resolved matter then for field works and for preliminary evaluation of the laboratory results.

The continuity of that treatment in cabinet is proposed by this work.

The accidental problem, pursued for possible implications of the existence and accumulation of mineral resources in the Area of the Basin of the Cauto River."

The methodology is exemplified by the existence of lands (fields) metallic ore of the type manganiferous.

The work sketches the whole procedure from its conception and its sequence.

1._ Are presented a territory highly patron (Guisa – Los Negros Area) to continue geologic investigation and environmental geochemistry for its preferential character (very significant) and feasible to constitute a model of area of possible mining assignment and area of environmental geologic reservation manganiferous.

This area shows for its characters a high mineral potential; that they go in detriment of their participation in other economic and social spheres of the human life.

2._ These lands constitute sectors of risks of mining contamination and of toxicological concern for the human health.

3._ Are applied current procedures of the matters and disciplines noted Geology and Environmental Geochemistry and they intend problematic of Environmental Geophysics until achieving Thematic Planes for Variables, and Risk Mining's Map - Contamination.

4._ To incentivate with the presentation from this proposal to the participation of the TERRITORIAL REORGANIZATION and the initial signaling of these ore areas potentially pollutants, when being indicated the perimeters like Anomalous Metalogenic Focuses of Manganese."

INTRODUCCION

En este trabajo se presenta un esbozo actual y futuro de la Geología y Geoquímica Ambientales de un terreno favorecido por su utilidad mineral.

Constituye un perímetro aspirante a "PATRON" para investigaciones geológicas y geoquímicas medioambientales por su carácter preferencial (muy significativo) para constituir modelo de áreas de posible asignación minera y zona de reservas geológicas manganesíferas. Esta área muestra un alto potencial mineral y perspectivas económicas que resultarán siempre atractivas para el sector minero.

Estos terrenos amparados en sus características geomineras naturales favorables, pueden considerarse dispuestos a inversiones para minas (factibles licitaciones), que en parte ya lo constituyen para la Industria de los Materiales de la Construcción con la explotación y tratamiento de las calizas Charco Redondo, como piedra para la construcción.

Por tanto, se consideran todas las demás actividades medioambientales propensas a vincularse con las derivaciones de intereses geólogo – mineros que por naturaleza existen en esa región Guisa – Los Negros a tomarse como ejemplo.

MATERIALES Y METODOS

Los materiales antecedentes que motivaron estos planteamientos están presentados en el "Levantamiento Hidro – Geoquímico Ambiental de la Cuenca del Cauto".

Valoración de los trabajos anteriores.

Impactos ambientales debido a cambios del suelo según macrocomponentes. Emisión de agentes contaminantes señalados por microcomponentes.

1.- Medio Ambiente susceptible a daños, por la exposición de dosis (aunque sean) muy débiles, se sustancias de origen antrópico, como los residuos de plaguicidas, por presentar las mayores anomalías de su entorno. Se debe presentar un orden de afectación de mayor a menor, por alteración del Quimismo, al superar los contenidos de elementos químicos nocivos As, Sb, Cd, Hg, Ba, Be, Pb, (Al, Ti) los valores promedios (clarkes de la litosfera o fondos geoquímicos locales) del suelo en la corteza terrestre:

2.- Respecto al riesgo de exposición de los medios estudiados, a compuestos genotóxicos por presentar además otras anomalías geoquímicas, dadas por presencia de acumulaciones minerales naturales (mineralizaciones metálicas).

Los planteamientos anteriores, colaboraron en la delimitación de los sectores sensibles o con riesgos por "preocupaciones de salud", en el plano final de interpretación.

CARACTERIZACIÓN DEL TERRITORIO OBJETO DE ESTUDIO DESDE EL PUNTO DE VISTA MEDIOAMBIENTAL. VALORACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL.

Ubicación geográfica del sector propuesto a "Modelo Medioambiental – Geominero". Provincia Granma. Municipio Patrón Guisa, Área Guisa – Los Negros.

Singularidades urbanas, suburbanas y rurales._ Invasión por parte de las poblaciones de estos terrenos designados por la naturaleza como fuentes abastecedoras de minerales metálicos, altamente difundidos en las áreas indicadas anteriormente.

Urbanas (altamente pobladas): Guisa, Santa Rita, Charco Redondo y Los Negros.

Suburbanas (densidad poblacional media): Diamante, Tamarindo, Bombón y Palma del Perro.

Rurales (pobremente poblada)

Valores Hídricos._ Existen tres cuencas hidrográficas divididas por los ríos afluentes del Cauto: Brazo Seco – Mogote (abastece la presa Carlos Manuel de Céspedes), Cautillo y Guisa – Aguacate.

Valores Agrícolas: Cultivos de café, café y cítricos; cultivos de pastos; cultivos de tabaco, tabaco y varios; huertos de hortalizas y legumbres, cultivos varios, semilleros y huertos en preparación.

Paisaje: Valle premontañoso.

Recursos naturales mineros

Se ponderan y agregan los valores y los recursos naturales:

Exploración y Explotación de recursos minerales metálicos contaminantes.

Depósitos de manganeso del distrito minero Guisa – Los Negros y sus geoambientes:

Potencial Menífero: 66 Puntos Minerales.

34 Manifestaciones

1 Prospecto Mineral

- 1) Mineral estratificado en calizas. Ej: Charco Redondo, Taratana.
- 2) Mineral estratificado en tobas no asociados con bayates. Ej: Casualidad, Montenegro, Lucía.
- 3) Mineral estratificado en tobas asociados con bayates. Ej: Santa Ana, La Justa.
- 4) Mineral no estratificado en calizas. Ej: La Unica, Cádiz, Pozo Prieto, Progreso.
- 5) Mineral no estratificado en tobas. Ej: Yeya, Effic, Arroyo.
- 6) Mineral Granzón. Ej: San Alberto.
- 7) Mineral en cavidades. Ej: Antonio.

CONFECCIÓN DE MAPAS GEOAMBIENTALES. PLANOS TEMÁTICOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL TERRITORIO.

Selección y presentación de los elementos y criterios para este proyecto temático. (Componentes utilizados de los mapas –bases).

Mapa Base Geográfica de los Geoambientes. (Tomado de las Hojas del I.C.G.C. escala 1: 100 000; 4876 Yara y 4976 Contramaestre).

Mapa Base Geominera de los Geoambientes. (Tomado del Mapa Geológico Esquemático del Campo Mineral “Guisa – Los Negros”).

RESULTADOS

Establecimiento de unidades geoambientales, atendiendo a las siguientes variables, factibles de reforzamiento por los elementos singulares :

Tipos de Variables: A) Físicas, B) Ambientales y C) Territoriales.

Elementos singulares: a) Inducción de riesgos naturales.
b) Efectos geofísicos e
Interferencia en los procesos naturales

La presentación de los planos por temáticas debe contener:

A) Variables Físicas: Potencial Geominero

Topográficos Desniveles–Parte aguas)

B) Variables Ambientales: Geológicas
Hidrogeológicas superficiales
Geotectónicos

C) Variables Territoriales: Tipos de suelo.

a) INDUCCIÓN DE RIESGOS NATURALES.

Consideraciones medioambientales potenciales.

Los tipos de eventos geomineros potenciales de preocupación, asociados con depósitos manganésíferos incluyen:

(1) el polvo rico en manganeso.

(2) las abundancias elevadas de manganeso (de los depósitos de la facies carbonato en ambientes de pH bajo o en la facies de óxido depositado en ambientes del pH y Eh bajos) por aguas que lavan estos depósitos.

(3) las propiedades electroquímicas de la tierra (suelo – subsuelo) mineralizada asociada con depósitos tipo “batería – activos”; el manganeso depositado es un componente usado en la fabricación de baterías y produce en su entorno un efecto como de baterías “pilas” en la tierra.

(4) todo el óxido se deposita e incluye partes expuestas de depósitos no minados, son fuentes potenciales de polvo rico en manganeso que también es producido por oxidación a ciertas temperaturas como plantas de sinterización, más asociados con algunos depósitos de la facies carbonato.

(5) la acción del agua beneficiada en manganeso y en depósitos de la facies carbonato produce abundancias elevadas de manganeso disuelto.

(6) los depósitos batería-activos presentan sustitución de los minerales de óxidos por otros que están asociados con campos de potencial electroquímicos y magnéticos distintivos como el hierro.

(7) Depósitos de facies de óxido diagenético son caracterizados por la elevación de elementos menores como el bario o dañinos accesorios como el Hg, Pb, Sb.

(8) Facies de carbonatos con manganeso combinadas con flancos de depósitos de minerales sulfurosos productivos, pueden producir abundancias elevadas de otros metales trazas.

b) Efectos Geofísicos Presentes. (Fenómenos geofísicos posibles en esta área geominera).

Interferencia en los procesos naturales.

1._ Estos depósitos con relaciones geológicas similares proporcionan analogías con depósitos "Tipo baterías - activas" son fuentes electroquímicas activas; el campo potencial asociado es distintivo.

2._ Efectos magnéticos pueden usarse para definir bastos terrenos para estos tipos de depósitos debido a una asociación entre el manganeso depositado y la formación férrica; la mayoría de las formaciones férricas tienen un contraste magnético, positivo con las rocas encajantes.

3._ Minerales de mena de manganeso, incluso la manganita, el psilomelano y la pirolusita, son densos ($3.3-7.9 \text{ g/cm}^3$). Los depósitos de manganeso sedimentario pobremente consolidados, o sumamente delgados pueden limitar la utilidad de estudios de gravedad.

4._ En casos donde los estratos están mínimamente deformados y sus características sísmicas son de refracción conocida el método sísmico puede delinear los cuerpos minerales. Todos los minerales del manganeso excepto el psilomelano son conductivos (Keller, 1989); el psilomelano va de conductivo a resistivo. Así, los depósitos de manganeso macizo pueden estar asociados a resistividad baja que puede ser descubierto por este método o por métodos electromagnéticos. Estos depósitos también pueden ser identificados por estudios de polarización inducida. La presencia de carbono elemental en rocas circundantes aumenta la resistividad. No se han documentado estudios eléctricos encima de los depósitos del manganeso.

5._ Particularidades radioactivas propias de trazas ampliamente representadas en ambientes metálicos, pueden ser las responsables de las más serias preocupaciones.

DISCUSION

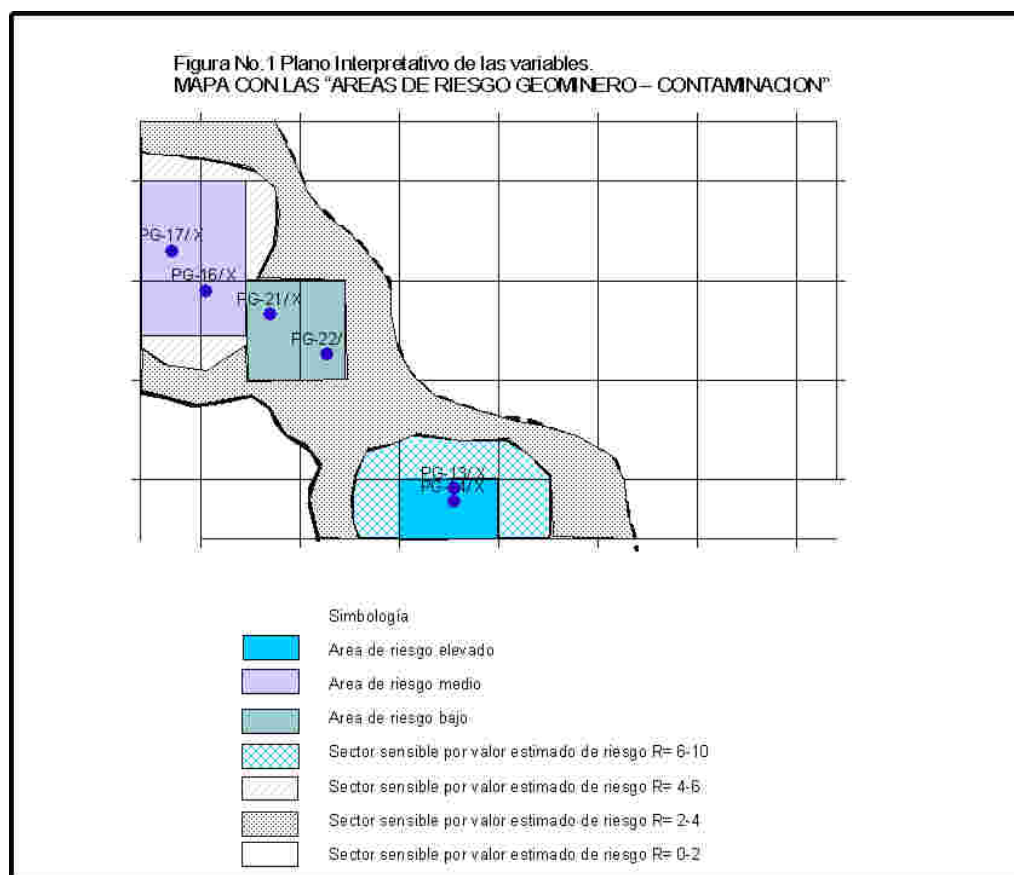
PRESENTACION DEL MAPA CON LAS "AREAS DE RIESGO GEOMINERO – CONTAMINACION.
Figura No 1.

Areas de Riesgos Geomineros Bajos. (Efectos relacionados a cada uno de estos tipos de impacto potencial pueden ser manifestados por depósitos no minados).
Sector sensible por valor estimado de riesgo $R= 2-4$.

Areas de Riesgos Geomineros Medios.(Efectos relacionados a cada uno de estos tipos de impacto potencial pueden ser manifestados por depósitos no minados que al minarse pueden extenderse tanto como el área de los depósitos mismo; sin preocupaciones de salud).
Sector sensible por valor estimado de riesgo $R= 4-6$.

Areas de Riesgos Geomineros Elevados. (Efectos relacionados con depósitos no minados que al minarse pueden extenderse tanto como el área de los depósitos mismo; con preocupaciones de salud).
Sector sensible por valor estimado de riesgo $R= 6-10$.

Nota.- El potencial para el impacto medioambiental de los primeros dos tipos se refuerza con la apertura de la minería; estos impactos mantendrían preocupaciones de salud.



CONCLUSIONES

1. Se presentan los caracteres medio ambientales básicos del sector, sus rasgos geológico – geográficos naturales actuales.
2. Se confeccionaron los Planos Temáticos de Variables Físicas, Ambientales y Territoriales.
3. Se exponen las problemáticas de Geofísica Ambiental esperadas en el territorio.
4. Se evalúa el territorio a través de un Mapa de Riesgo – Contaminación.
5. Se efectuó la delimitación de los niveles y rangos de riesgos vinculados con las preocupaciones de salud.

Todo lo anterior, en creación y defensa de los terrenos patrimonios geomineros en el REORDENAMIENTO territorial y reocupación de la tierra.

BIBLIOGRAFÍA

- J. A. Airosa. 2004. Tratamiento de sistematización de la información geológica, para creación de los Modelos Geo – Ambientales. Manuscritos de Tesis de Doctorado.
- Mosier Dan L. y David L. Campbell. Deposit Mineral Profiles de la British Columbia. (Grupos de Depósitos y presentación de los Modelos de Depósitos (Sumario de Relevancias) según Información de Medio Ambiente, Geofísica y Geología.
- Pérez, M, A, Norman. 2006. Curso Geología y Geoquímica Ambiental. (Sede Universitaria José A. Echeverría, La Habana).

Propuestas Promocionales de las gerencias del sector geominero:

Evaluación de Proyectos Mineros.

Documentación Técnica.

Consejo de Recursos Minerales de México y la Dirección General de Minas. I Convención de la Tierra. Palacio de las Convenciones. La Habana. 2005.

ESTUDIO GEOAMBIENTAL DE ZONA LA ESTRELLA. CAYO SANTAMARIA

Miguel Silverio Navarrina

Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas. Unidad de Investigaciones para las Construcciones. Villa Clara. CUBA

RESUMEN

Con el objetivo de aprovechar las zonas vírgenes de la Cayería Norte de Villa Clara como ofertas al turismo internacional, se proyectaron una serie de edificaciones en las áreas de interés turístico.

Tal es el caso del complejo de hoteles planificados para construir en la zona de "La Estrella" en la parte central de Cayo Santa María, la cual presenta características tanto de la parte occidental del cayo como de la parte oriental del mismo.

Atendiendo a que por sus características naturales, toda esta área es considerada como un ecosistema sensible, fue necesario realizar un estudio geológico ambiental de la misma que permitiera conocer diversos aspectos sobre la geología, las propiedades físico mecánicas de los litotipos presentes, evaluación de las condiciones sismológicas, delimitación de zonas cársicas y análisis de los principales riesgos Geológicos que pueden tener lugar en el área que puedan influir negativamente sobre las construcciones proyectadas.

Por otra parte, resultó imprescindible analizar las afectaciones ambientales que provocarían las construcciones al medio natural por lo que fue necesario confeccionar mapas que delimitaran el área desde el punto de vista geomorfológico, desarrollo de la flora y la fauna, tipos de suelos y unidades Geoespaciales.

En el presente trabajo se abordan los aspectos anteriores haciendo énfasis en el aporte brindado por la Geofísica en esta investigación.

ABSTRACT

With the objective of taking advantage of the virgin areas of the North Cayería of Villa Clara like offers to the international tourism, they were projected a series of constructions in the areas of tourist interest.

Such it is the case of the complex of hotels planned to build in area La Estrella in the central part of Key Santa María, which presents characteristics both of the western part of the key and the oriental part of the same one.

Because of their natural characteristics, this whole area is considered as a sensitive ecosystem, and for that reason was necessary to carry out an environmental geologic study that allowed to know diverse aspects on the geology, the properties physique mechanics of the rocks and present soils, evaluation of the conditions seismological, delimitation of areas cársicas and analysis of the main Geologic risks that can take place in the area that can influence negatively on the projected constructions.

On the other hand, it was indispensable to analyze the environmental affectations that would cause the constructions and for that reason was necessary to make maps that defined the area from the point of view geomorphologic, development of the flora and the fauna, types of soils and units according to the landscape.

In this paper we can analyze this aspect making emphasis in the contribution by the Geophysics in this investigation.

INTRODUCCION

El Cayo Santa María constituye un área de alta sensibilidad ecológica pero a su vez de gran interés para el desarrollo turístico de la región central, o sea, el desarrollo económico que Cuba demanda, ha propiciado que este ecosistema se encuentre sometido a un fuerte estrés, provocado por la infraestructura que dicho desarrollo conlleva, la actividad pesquera, los impactos en la zona costera, y los efectos antrópicos de las actividades que se realizan en tierra firme y en las cuencas vinculadas a la cayería.

Dadas las características del suelo, la geomorfología, la fauna, la erosión, la flora y el desarrollo de las dunas y el carso, todos los cuales sufrirán serios cambios producto de las actividades constructivas que se requieren en la zona central de dicho cayo denominada “La Estrella”, se planificó un estudio de geología ambiental que permitiera esclarecer los siguientes aspectos:

- Delimitar las zonas del área de acuerdo al desarrollo cársico.
- Diferenciar las zonas de acuerdo al espesor de arena.
- Caracterizar los tipos de suelos de acuerdo a su remoción o no de la zona de las construcciones.
- Delimitación de la intrusión salina.
- Precisar las especies maderables que no deben ser removidas bajo ningún concepto.
- Delimitar el área de acuerdo al paisajismo
- Ubicar las zonas afectadas por el agrietamiento y por el tectonismo.
- Determinar el grado sísmico de la zona.
- Precisar el tipo de construcciones que se deben recomendar en cada punto del área.

Para lograr una afectación mínima del medio ambiente, se decidió acometer un estudio preliminar mediante levantamiento geológico del área y el empleo de métodos geofísicos, que precisaran la mayor cantidad de información para evaluar el área con los propósitos descritos.

En el presente trabajo se expone un resumen de los resultados obtenidos en esta investigación inicial la cual dará al estudio definitivo.

I.-UBICACIÓN DEL AREA DE INTERES

El Cayo Santa María está ubicado en el Archipiélago Sabana - Camagüey, el cual se encuentra en la zona del Norte Cubano, dentro del sector central de la isla. Dicho Archipiélago se asienta a lo largo de unos 250 km. de longitud, frente al Canal Viejo de Bahamas, en el océano Atlántico, y pertenece a las provincias de Villa Clara, Ciego de Ávila y Camagüey.



Imagen satelital de los cayos unidos a través del pedraplén al Norte de Villa Clara y ampliación de Cayo Santa María

En la zona central de Cayo Santa María se encuentra el límite entre los espesores de arena mayores de 5.0 m y la zona de desarrollo cársico intenso que se extiende en toda la porción Este del Cayo. A esta zona central se le denomina como “La Estrella” y en la misma se pretende construir el Complejo de Hoteles más grande de toda la cayería Norte de Villa Clara. El área presenta dimensiones de 1000 m de longitud y 200 m de ancho.

II.-CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

La Geología es caracterizada por depósitos del cuaternario, típico de los bloques de graben donde predominan los movimientos de descensos, de tal manera que aparecen importantes espesores de sedimentos de cobertura y no aparecen afloramientos del sustrato plegado.

Las secuencias que aparecen en el territorio del cayo se enmarcan en la edad cuaternaria, siendo estos depósitos del Pleistoceno Superior y el Holoceno.

II.1.-ESTRATIGRAFÍA

Sedimentos del Pleistoceno Superior

La formación Jaimanitas se extiende por todo el paleofondo de la plataforma marina y aflora en gran parte del cayo, fundamentalmente en la zona central y hacia el Este, formando las mayores elevaciones que llegan a alcanzar los 16,0 m snm. Está representada por calcarenitas y biocalcarenitas, las cuales están recrystalizadas localmente. El color de la roca es blanco y crema amarillo o grisáceo debido a la meteorización. En esta formación se ha desarrollado un carso muy joven y vigoroso con abundantes lapies, dolinas de disolución y cavernas.

Sedimentos del Holoceno Temprano

La formación Los Pinos aflora en la mayor parte de la mitad Oeste del cayo, así como su extremo Este y en pequeños acantilados que se forman en la costa Norte. Se compone de barras de arena de playa, que forman colinas de hasta 5-7 m de altura y decenas de metros de largo, constituidas por calcarenitas y arenas con granos subangulares a redondeados, de color blanco amarillento y rosáceo.

Están débilmente litificadas y presentan laminación cruzada y una incipiente carsificación. La formación Los Pinos yace sobre la formación Jaimanitas.

Sedimentos del Holoceno Tardío

Estos depósitos están desarrollados sobre las formaciones antes descritas con espesores de 15-20 cm., en la zona de contacto se desarrolla una pequeña corteza de meteorización.

Depósitos lacuno-palustres

A lo largo del borde meridional del cayo, el suelo se caracteriza por una cubierta de suelos y caliche, limos, arcillas y turbas de origen palustre y brechas de marea. La zona de La no presenta estos tipos de depósitos.

Depósitos marinos

Por el frente septentrional se desarrollan los complejos de playas – dunas recientes, representadas por arenas calcáreas bioclásticas de grano medio. Los complejos de playas – dunas alcanzan una anchura de 40 a 50 m. Las formas acumulativas reciben el material de las zonas abrasivas vecinas, lo cual se expresa en el derrubio de las dunas y las barras de arena litificada, el desplazamiento de las barreras y bancos y el avance del mar hacia el interior del cayo.

II.2.-TECTÓNICA

Tectónicamente la zona no es muy activa, aunque hay indicios neotectónicos que indican actividad reciente. Se determinaron a través de las bases topográficas en escalas 1: 10 000 y las fotos aéreas diferentes morfoalinamientos asociados a esta última actividad.

Se considera que la actividad neotectónica ha influido en la conformación actual de la superficie de la plataforma y los cayos, conformando varios bloques, pero resulta difícil definirlos bien.

II.3.-SISMOLOGÍA

Aunque dadas las características de la estructura tectónica de Cuba Central, esta región de la cayería noreste de Villa Clara se considera de baja actividad sísmica, con una frecuencia baja de ocurrencia de sismos importantes y con predominio de eventos de fuerza moderada a baja, no se exceptúa al territorio de la ocurrencia de un sismo de mayor acción por ser esta una zona sismogeneradora.

II.4.-HIDROGEOLOGÍA

En la zona debido a la presencia de sedimentos calcáreos carsificados y arenas de diferentes granulometrías, prácticamente no existe el escurrimiento superficial.

El agua proveniente de las precipitaciones se infiltra rápidamente, a pesar de esto, la estructura geológica del cayo no favorece la formación de lentes acuíferos con aguas condicionales potentes que puedan constituir una solución definitiva de abasto de agua al cayo.

De forma general se puede decir que los niveles estáticos coinciden con el nivel medio del mar y las aguas presentan altas mineralizaciones y no se consideran perspectivas para el abasto de agua.

II.5.-GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología del territorio es muy reciente, no es abrupta y la vegetación abundante, todo correspondiente al paisaje de costa típico., toda la zona comienza a emerger durante el Holoceno, a partir del cual comienzan a actuar diferentes procesos con predominio de los abrasivos, abrasivos-acumulativos. Todos los tipos y formas del relieve están en franco proceso de formación, sin alcanzar aún su etapa de estabilización.

Llanuras tectónico-abrasivas

Todo este sistema de llanuras aterrazadas se conforman sobre basamentos litológicos de calcarenitas y biocalcarenitas de la formación Jaimanitas, con diferentes grados de litificación, las biocalcarenitas son más friables y forma las llanuras más bajas y las más elevadas están constituidas por calcarenitas muy consolidadas con gran desarrollo de los procesos cárscicos. Este tipo de relieve es eminentemente colector de aguas superficiales y subterráneas.

Llanuras abrasivo-acumulativas

Este tipo de relieve está asociado a la acumulación en diferentes sectores del cayo de potentes capas de arenas de origen marino. Estas barras de arenas con cierto grado de litificación, pertenecen a la formación Los Pinos, y en ellas se observa una perfecta alineación de crestas y valles con un incipiente grado de carsificación en sus capas superficiales. La costa actual de playas del Norte pertenece a las llanuras abrasivo-acumulativas.

Depósitos sedimentarios de cobertura

Se caracterizan por las protorendzinas las cuales están asociadas a los afloramientos rocosos de la formación Jaimanitas, son poco profundos, con una media de unos 15 cm. de potencia. En ocasiones se encuentra rellenando las oquedades y grietas de las rocas. La textura es loam arenoso, con predominio de salinidad media.

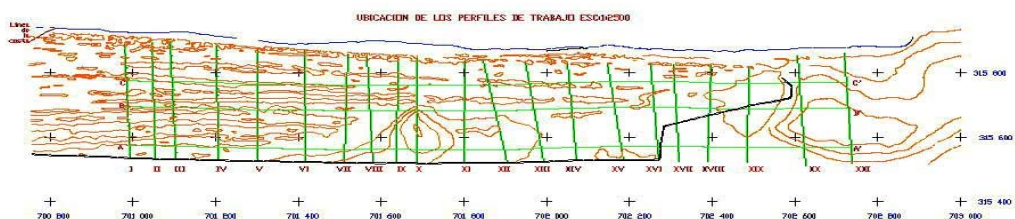
Depósitos marino-eólicos

Se localizan en la parte centro-occidental del área. Está conformado por potentes capas de arena parcialmente endurecida, que alcanzan hasta 10 m de potencia, son fuertemente salinos y con textura arenosa.

III.-TRABAJOS GEOFISICOS REALIZADOS

Los trabajos Geofísicos se realizaron en 21 perfiles con distancia no uniforme entre los mismos, ya que uno de los criterios para su ubicación fue el de afectar en grado mínimo la vegetación autóctona de la zona situándose a una distancia aproximada de 30-45 m entre estos y 30 m entre los puntos de medición.

Los Métodos empleados fueron Sondeo Eléctrico Vertical con abertura máxima de 40 m en la línea de corriente, Sondeos Sísmicos de longitud 30 m. y mediciones con la metodología establecida para el Método de Imágenes Eléctricas.



IV.-RESULTADOS OBTENIDOS

Realizada la interpretación de las mediciones de campo de acuerdo a las normas establecidas para cada Método, se conformaron perfiles en profundidad donde se asocia el comportamiento de resistividad eléctrica de cada capa con la característica geológica correspondiente. Figura 2.

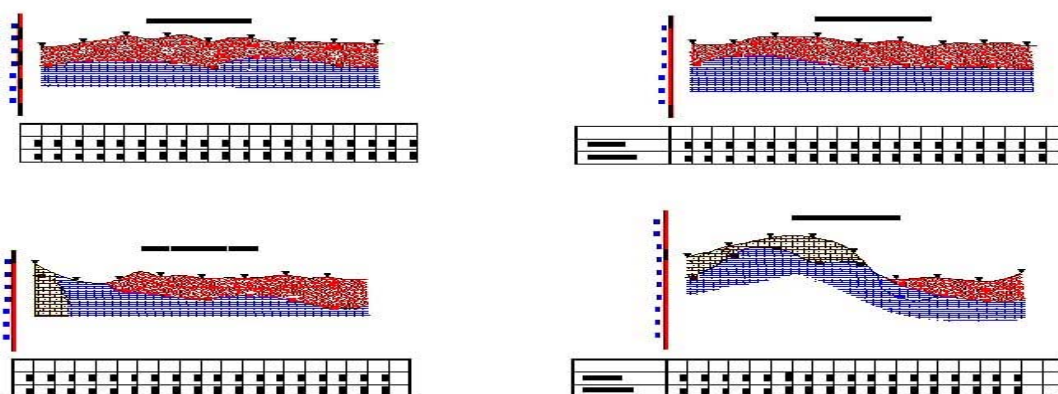


Figura 2. Perfiles geofísicos donde se observan las condiciones de yacencia de las arenas (color rojo); areniscas (color azul); calizas (color carmelita).

Por otra parte se confeccionaron planos de La Estrella regionalizando el área de acuerdo a:

- ❖ Los espesores de arena presente.
- ❖ Resistencia a Compresión determinada por los Métodos sísmicos.
- ❖ Fenómenos físico-geológicos.

IV.1.-PLANO DE “ESPESORES DE ARENA”

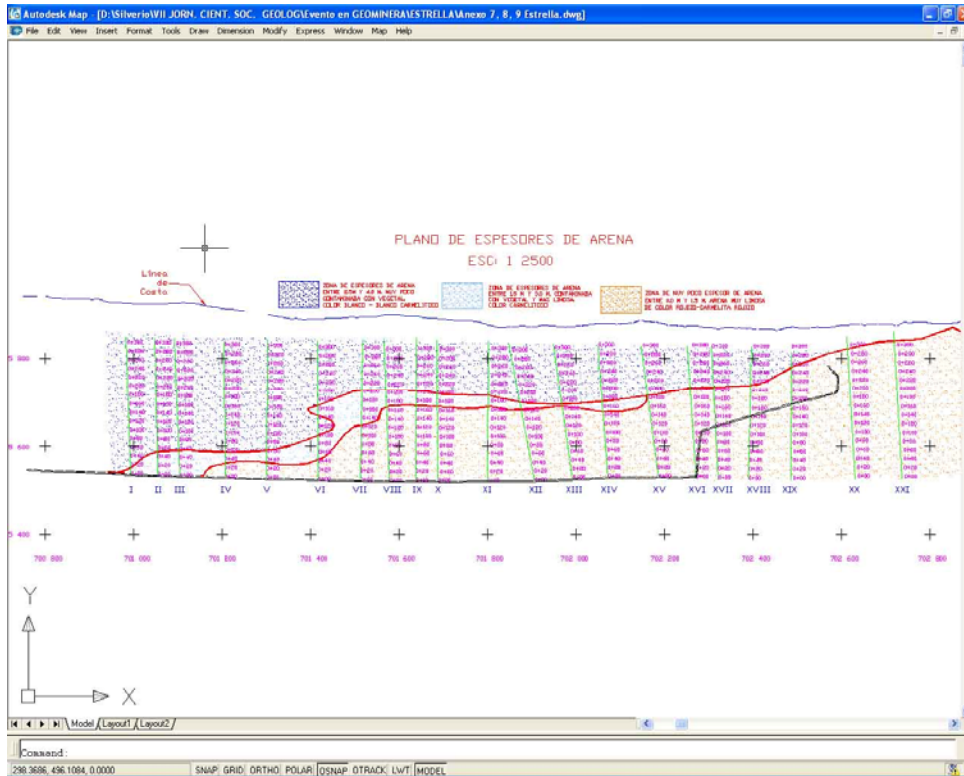


Figura 3. Se muestran las 3 zonas fundamentales en las que puede dividirse el área de acuerdo a los espesores de arena.

Una primera zona ocupa la parte Norte y Occidental del área donde los espesores oscilan entre 2.5 m y 4.0 m; la arena es de color blanco en ocasiones blanco-carmelitosa, muy fina y muy poco contaminada con vegetal.

Otra zona se extiende desde los Perfiles XX y XXI hasta los Perfiles IV y V ocupando la parte Central y Sur del área donde los espesores de arena son mínimos (no mayor a 1.5 m), desapareciendo prácticamente la arena en dirección a los últimos perfiles, La arena es mucho mas limosa en esta zona y el color que presenta es carmelitoso a rojizo.

Una tercera zona corresponde con una transición entre las 2 anteriores, donde la arena alcanza entre 1.5-3.0 m de espesor.

IV.2.-PLANO DE RESISTENCIA DE LAS ROCAS

Por medio de los estudios sísmicos realizados se obtuvo el valor de Resistencia a Compresión de los suelos y rocas, todo lo cual se resume en la Tabla I y se expone claramente en la Figura 4.

Sólo es necesario aclarar que independientemente a que los valores de la calcarenita compacta que aparece en el Centro-Norte del área y en los perfiles XX y XXI, pueden alcanzar hasta 16 MPa, no debe evaluarse el macizo en un sector determinado sin antes analizar el desarrollo del carso localmente.

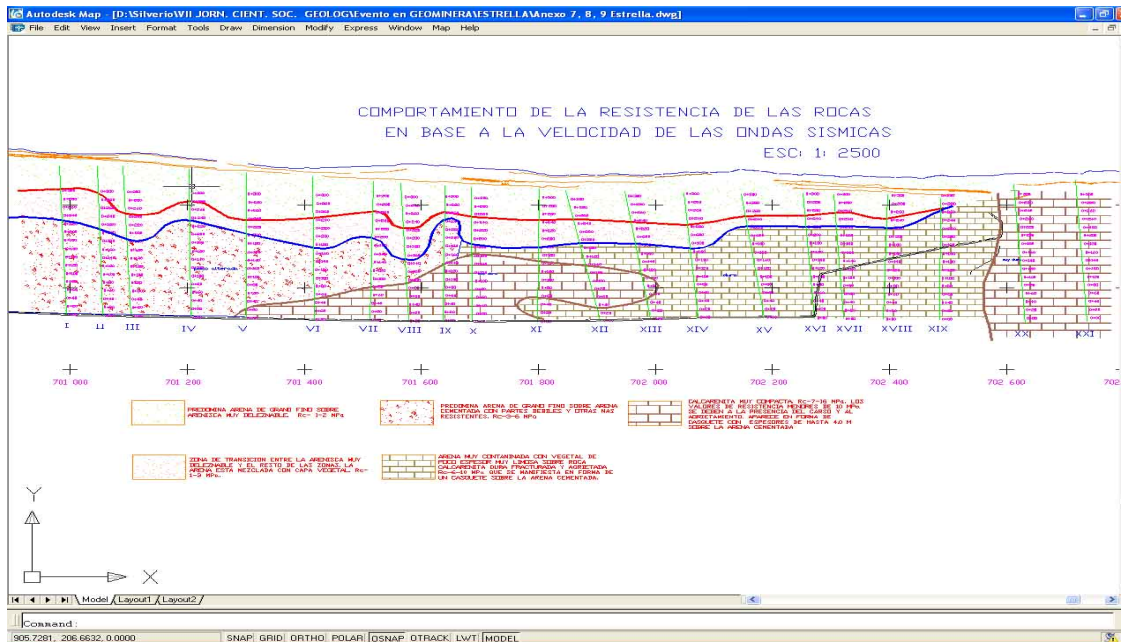


Figura 4. Plano de “Resistencia de suelos y rocas” en base a la velocidad de las ondas sísmicas.

IV.3.-FENÓMENOS FÍSICO-GEOLÓGICOS

En la Figura 5, se aprecia que los procesos cárscicos se desarrollan con mayor intensidad al Este del área, y en la porción centro-sur oriental el desarrollo cárscico es menos intenso pero debe considerarse como zona de carso en formación, o sea, es recomendable evaluar esta última parte cada cierto tiempo para obtener un pronóstico más acertado sobre este fenómeno.

En el resto del área los fenómenos cárscicos no se aprecian, probablemente debido a la poca dureza de los materiales.

El carso desarrollado en el área es de tipo “desnudo, o cubierto con pequeños espesores de arena, o sea, no se desarrolla en profundidades mayores a 3.0 m.

La forma del carso que más abunda en el área es la denominada “lapies” o “diente de perro”, lo cual resulta lógico atendiendo a la alta porosidad de las rocas en el área, aspecto que es aprovechado por los procesos de disolución al penetrar en el macizo y desintegrar los puntos de resistencia mínima.

La etapa final de destrucción de las “crestas” del diente perro, provoca la presencia de fragmentos de roca de 30-80 cm. con pequeñas zonas puntiagudas en toda el área cárscica, fundamentalmente entre los perfiles XVII al XXI.

En toda el área investigada sólo aparece el lapies cerca en la línea de costa en las inmediaciones de los Perfiles XX y XXI.

En el área que se muestra como de mayor desarrollo cárscico (Perfiles XX y XXI y extremo Norte de Perfiles XIII al XIX), los procesos químicos de disolución se combinan con mecánicos, observándose caídas y hundimientos de bloques condicionados fundamentalmente por la posición cercana del nivel freático (tanto por cota baja del terreno o por ascensión de las aguas) y su fluctuación entre el nivel

Autodesk Map - [D:\SilvioW17 JORN. CIENC. GEOLOGIA\ento en GEOMINERIA\TRELIA\Anexo 7, 8, 9 Estrella.dwg]

File Edit View Insert Format Tools Draw Dimension Modify Express Window Map Help

PRINCIPALES FENOMENOS FISICO GEOLOGICOS

ESC: 1: 2500

Legend:

- ZONA SE CARO EN FORMACION APARECE EL TENDIE FORMBY V LA ROSA EN FORMA DE BLOQUES PUT AGUJETA CON CAVERNAS Y OMEADES NO SUPERIORES A 30 CM SE DIAMETRO Y PROFUNDIDAD DE 0.5 M - 1.0 M
- ZONA SE FICIS DESARROLLA DEL CARO
- ZONA SE ALTO DESARROLLO DEL CARO PUEDEN ENCONTRARSE CAVERNAS DE HASTA 30 M DE DIAMETRO RELENAS CON MATERIAL ANEJO O VACIAS TIBASVA PUED CONSIDERARSE UN CARO EN FORMACION EN LA PARTE OCCIDENTAL PERFILES 13-19
- ZONA SE HAY POCO ESPESOR DE ARENA

Command:

472.9200 220.9990 0.0000

CHAD. GRIN. DTM. DOL. DOLAD. DTMAD. DTMACK. LUT. MODEL

En relación a las “zonas de agrietamiento”, se muestran los principales alineamientos asociados a este fenómeno (tienen más de 100m de longitud cada uno).

Las propiedades de los suelos y rocas del área en base a las mediciones sísmicas de resumen en la siguiente tabla.

Litología	Peso específico natural	Resistencia a Compresión	Resistividad eléctrica	Velocidad onda sísmica
	(kN/m ³)	(MPa)	(Ohm-m)	(m/s)
Arena de grano fino y medio (arena de playa y contaminada con vegetal mas limosa)	13.5-14.5		700-1200	350-480
Arenisca calcárea de grano fino a medio deleznable con algunas partes duras.	15.35-16.35	3-6	30-60	1200-1980

Arenisca calcárea dura con algunas partes que presentan oquedades y/o cavernas de diámetro no mayor a 20 cm.	16.35-17.55	8-16	80-180	2100-2700
Arenisca calcárea recristalizada.	17.8-19.5	16-22	150-200	2600-3300

VI.- ELEMENTOS INGENIERO GEOLÓGICOS

Utilizando todos los resultados anteriores en conjunto con los datos del levantamiento geológico y las investigaciones en zonas aledañas, diferencian

Elemento ingeniero geológico No. 1: Rocas friables no cohesivas.

Constituido por los depósitos marinos del complejo playa-duna reciente, representado por arenas calcáreas bioclásticas, generalmente de grano medio.

Elemento ingeniero geológico No. 2: Rocas friables no cohesivas en ocasiones semiduras.

Constituido por los depósitos de la formación Los Pinos, representado por barras de arena de la playa ligeramente litificadas (arena y calcarenitas blandas), con carsificación incipiente. Las arenas de este elemento ingeniero geológico según el sistema unificado de clasificación de suelos clasifican como SP-SM (arenas uniformes limosas).

Elemento ingeniero geológico No. 3: Rocas semiduras.

Constituido por los depósitos de la formación Jaimanitas, representado por calcarenitas y biocalcarenitas, las cuales están recristalizadas localmente. Las rocas están altamente carsificadas; el espesor máximo alrededor de los 16 m.

Establecidos los grupos anteriores se resumieron los aspectos fundamentales acerca de cómo se debe construir de acuerdo a la existencia de cada elemento, considerando la experiencia en que se tiene en otras zonas de similares características, reflejado esto en la Tabla 2.

Tabla No 2. Factibilidad constructiva para cada elemento ingeniero-geológico

Elemento ingeniero geológico	Características ingeniero geológicas y geotécnicas	Riesgos geológicos	Factibilidad constructiva	Susceptibilidad del medio y posibles impactos	Recomendaciones
Elemento 1: rocas friables no cohesivas	Arenas uniformes de grano medio	Pérdidas de arena por abrasión. Inundación	No admite construcciones	Muy alta. La construcción, deforestación u otra actividad desmedida aumentaría la abrasión	Los senderos peatonales sobre la duna deben ser transversales a su eje, y cercados. No debe confinarse la arena o mejorar con rocoso u otro material. Estudiar los sectores de pérdidas de arena
Elemento 2: rocas friables no cohesivas +	Arenas de granulometría media, ocasionalmente limosas y	Erosión. Inundación ocasionalmente	Construcción de viales y edificaciones	Alta. Las obras ingenieriles aumentan la erosionabilidad	Durante los movimientos de tierra y desbroce constructivo, conservar al máximo la cobertura vegetal por tratarse de

semiduras	calcarenitas blandas (semiropas)				una zona muy erosionable
Elemento 3: rocas semiduras	Calcarenitas y biocalcarenitas carsificadas, localmente recristalizadas con resistencia a la compresión variable.	Hundimiento de edificaciones y viales por derrumbes de zonas cársicas	Construcción de viales y edificaciones	Media-alta	No utilizar como material de construcción

Un elemento de gran importancia a tener en cuenta la hora de construir sobre la formación Jaimanitas, es que en la misma se desarrolla el carso como fenómeno físico geológico en distintas formas y por tanto la manera de manifestarse no es homogénea, por lo que las medidas constructivas deben ser tomadas localmente de acuerdo al aspecto anterior.

VII.-RIESGOS GEOLÓGICOS

Los principales riesgos geológicos de la región son los siguientes:

1. **Erosión:** Es un fenómeno muy difundido por toda la región y se origina por la acción erosiva del agua sobre las rocas blandas y poco compactas de la zona. Esta se manifiesta fundamentalmente en los límites de las zonas cársicas y es típico de la Formación Los Pinos.
2. **Inundaciones:** Este riesgo se presenta con mayor frecuencia en la zona sur del cayo, donde se encuentran las zonas bajas.
3. **Desplome de casimbas y de dolinas:** Se manifiesta con frecuencia en la formación Jaimanitas, en la zona central y oriental del área.
4. **Perdida de arenas por abrasión:** Típico de la zona norte donde se encuentran los mayores espesores de arena, representados por zonas de playas.
5. **Sismos o Terremotos:** En el epígrafe de sismicidad hemos descrito que la zona desde el punto de vista sismológico es moderada donde no se deben tomar medidas sismorresistentes, pero es apropiado destacar que en la región han ocurrido sismos de magnitud considerable, y que además la presencia del carso y la poca profundidad del nivel freático provocan localmente el incremento del grado sísmico.

VIII.-IMPACTO AMBIENTAL EN LA REGIÓN

Los impactos fundamentales que deben esperarse en el área son:

- Pérdida de la vegetación. Por el carácter cársico del cayo y la baja disponibilidad de agua y de nutrientes, el crecimiento de la vegetación es muy lento y difícil implantación. Por ello la devolución del carácter original a estas áreas es extremadamente dificultoso por la vía artificial sobre todo cuando se han alterado las propiedades del suelo.
- Transformación del paisaje natural del área.
- Cambios y afectaciones en la biodiversidad. Algunas transformaciones afectarán poblaciones de iguanas, moluscos terrestres, reptiles y aves y han propiciado la aparición de especies antropicas, como son: colonias de hormigas, gatos, perros.

- Acumulación de residuos sólidos en la zona de las dunas y los manglares.
- Derrame de combustibles u otros elementos durante las construcciones.

VIII.-CONCLUSIONES

- Los depósitos de arenas del Cuaternario poseen gran espesor desarrollándose en el borde de la costa Norte.
- Tectónicamente la zona de La Estrella no es muy activa, aunque se han detectado algunos morfo- alineamientos asociados al agrietamiento de la roca, con dirección predominante, SW- NE Y SE- NW.
- Geomorfológicamente el área está formada por llanuras típicas de origen marino siendo las principales las llanuras abrasivo-acumulativas planas y llanuras abrasivo-carsificadas ligeramente disecionadas. El primer tipo se origina debido a los procesos abrasivo-acumulativos que han formado al Norte del área diversas capas de hasta 3.0-6.0 m de espesor de origen coralino y oolítico, conformando dunas donde puede aflorar la roca calcarenita muy deleznable y las llanuras abrasivo-carsificadas se caracterizan por el desarrollo de las formas de relieve cársico, fundamentalmente el tipo lapies ("diente perro"), cubierto en algunos lugares por pequeños espesores de arena.
- El nivel freático promedio coincide con el nivel medio del mar. Debido a la presencia de arenas de diferente granulometría no existe prácticamente escurrimiento superficial y por tanto el agua proveniente de las precipitaciones se infiltra rápidamente hasta el manto freático el cual coincide con el nivel medio del mar. En las zonas de cotas del terreno de 1-2 m el nivel freático se detecta 10-30 cm. por encima del NMM en algunos sectores. En las zonas de calcarenita muy compacta la profundidad del manto oscila entre + 0.50 m y -0.50 m respecto al NMM, y localmente hasta 1.0 m por debajo de éste.
- Atendiendo a los procesos genéticos de las formas cársicas en el área, puede afirmarse que existe predominio de los procesos químicos, o sea, formación de oquedades y cavernas por disolución fundamentalmente. Los procesos cársicos debido a la disolución química de las rocas están altamente desarrollados en la parte oriental del área y entre los perfiles XIII al XIX en la porción Centro-Norte. En el extremo Norte de estos perfiles, incluyendo toda el área de los perfiles XX y XXI, la genética del carso incluye procesos de desplome o hundimientos de la roca, lo cual evidencia una zona de posibles peligros para las construcciones.
- Las secuencias que aparecen en el área de la Unidad La Estrella en Cayo Santa María se enmarcan en la edad Cuaternario, siendo depósitos del Pleistoceno Superior y el Holoceno, representados por la Formación Los Pinos, que incluye Arenas y calcarenitas blandas muy deleznales, y por la Formación Jaimanitas la cual la conforman calcarenitas recristalizadas de color blanco amarillento a grisáceo manifestándose en forma de "casquete" con potencias que oscilan entre 0.5 y 4.0 m. A su vez, en esta última formación aparece subyaciendo al "casquete" anterior un tipo de calcarenita más porosa, menos densa y menos compacta, la cual aflora en determinados sectores del área (parte Sur-Centro de los Perfiles XII al XIX).
- No se realizó un estudio riguroso de la sismicidad del área; no obstante con la velocidad de la onda sísmica obtenida en cada Perfil y los valores de peso específico de los materiales obtenidos

en áreas aledañas de similares características, se obtiene un valor del riesgo sísmico de 0.5 para la zona donde no existe carso y 1.0 para la parte oriental del área lo cual implica un valor de 7 grados en la escala MSK para esta última zona y 6.5 grados para el resto del área.

- La ejecución de un estudio geoambiental en la zona de La Estrella ha permitido que el empleo de los datos geoambientales contribuyan al ordenamiento territorial, y a la toma de decisiones en el uso óptimo de cada territorio, y esencialmente en la protección de los escasos recursos naturales producto de la explotación indiscriminada y desorganizada, contribuyendo a reducir los impactos ambientales inducidos por el hombre y muy en específico en zonas de alta sensibilidad ecológica.

BIBLIOGRAFIA

- Academia de Ciencias de Cuba. 1989. *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*. (La Habana).
- Academia de Ciencias de Cuba e ICGC. 1990. *Estudio de los grupos insulares y zonas litorales del archipiélago cubano con fines turísticos. Cayo Francés, Cobos, Las Brujas, Ensenachos y Santa María*. Editora Científico Técnica. (La Habana).
- Castañeda, I. 1990. *Mapa de vegetación de Cayo Santa María*. ICGC. Villa Clara.
- GEOCUBA. 1998. Estudio de la Línea Base Ambiental de Cayo Santa María a escala 1:10 000. (Villa Clara).
- Pérez R. 2002. *Estudio geotécnico de Cayo Santa María*. ENIA-UIC (Villa Clara).
- Silverio M. 1997. Estudio geofísico de Cayo Santa María. ENIA-UIC (Villa Clara).
- Trujillo, H. 1990. Mapa geomorfológico de cayo Santa María. ICGC. (Villa Clara).

“LA EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS MINERALES Y SU IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE PINERO”

Amada Tenenbaum Costa.

UEB Acueducto Isla. Calle 36 final S/N Nueva Gerona. Isla de la Juventud

RESUMEN

A través de esta investigación se determinó que los impactos sobre el medio ambiente se produjeron en todas las fases productivas de la actividad minera, desde la exploración hasta el abandono. La Isla de la Juventud siendo un territorio con varios recursos mineros no está exenta de estos impactos. El trabajo realizado comprende el estudio de las explotaciones de los minerales no metálicos y sus efectos, además de las medidas adoptadas y propuestas para su minimización.

Los métodos investigativos que se utilizaron para la realización del mismo son:

1. Software RIAM básico para la determinación de Impactos ambientales
2. Evaluación de los impactos utilizamos el Método de las Matrices de Leopold. 1971
3. Guía General y los indicadores definidos en esta guía específica según establece la resolución 77/99 Sobre la Evaluación de Impacto Ambiental.

Las conclusiones fueron que: Los impactos negativos del proceso de extracción minera se produjeron debido al desarrollo de la economía (las construcciones, el desarrollo hidráulico, la agricultura, la propia minería entre otras). Aunque las afectaciones no son críticas se observan impactos en el paisaje, en la flora y la fauna y contaminación de la atmósfera en las zonas de la explotación de estos recursos naturales.

Desde el punto de vista ambiental el país y el municipio especial de la Isla de la Juventud ha tomado medidas precisas para el aprovechamiento racional de los recursos y cuidados del medio ambiente, incrementando una política de educación ambiental, el desarrollo de estrategias ambientales sectoriales en las empresas extractivas con el objetivo de la explotación de forma racional de los recursos y minimizar las afectaciones del ecosistema natural pinero además del aprovechamiento de los desechos sólidos (escombreras).

ABSTRACT

The exploitation of mineral resources and its impact in the Isle of youth's environment.

According to this research it was brought out that the impacts on the environment were produced in all productive phases of mineral activities. Since the exploitation till the abandon of it. Being the Isle of youth a territory with several mineral resources, Its not free of the impact. The work made included the study of non metallic minerals exploitation and thier effects. Moreover of the taken cautions and proposals to their diminishing.

The researching methods which were used to the realization of them were:

- 1.- Software Riam basic to the determination of the environmental Impacts.
- 2.- To The evaluation of the impact We used Leopolds main methods. 1971.
- 3.- The general Guide according with the stablishment of the resolution 77/99.

About the evaluation environment impact.

The conclusions were that the negative impacts of the mineral process extraction were produced according with the economy development (the buildings, the hydraulic develop ment, the agriculture, the mining among others) although the affectations are not critical.

They area observed some impacts on the landscape, on the flora and fauna, and the contamination of the atmosphere in the exploitation zone of these natural resources.

From the environment point of view the country and the special municipality in the isla of youth have taken some necessary cautions to the rational advantagement of the resources and care of the environment increasing an environmetal political education, the development of sectorial strategical of the environmenta in the extractive enterprises with the object of rational exploitation of the resources and minimize the affectations to the natural ecology in the Isle of youth moreover of the soil remainders advantagement (rubbish)

INTRODUCCIÓN

La Isla de la Juventud es la más grande del grupo de pequeñas islas que rodean a Cuba, y se encuentra situada a unos 150 Kms. al suroeste de esta. Su posición geográfica está comprendida entre los paralelos 21° 28' y 21° 56' de latitud norte y los meridianos de 83° 15' y 82° 30' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich.

Tiene una extensión territorial de 2.205 km² (2397 km² incluyendo los cayos) y está dividida en dos grandes zonas por la Ciénaga de Lanier: La longitud de la costa norte es de 229 Km. y la sur de 98 km.

1. La zona Norte que ocupa el 80,6 % del territorio, es la parte más antigua geológicamente y donde existen los mejores suelos para la agricultura, desarrollándose también en ella la industria, la ganadería, la minería, la pesca, etc. y a su vez donde se desarrollan también los mayores núcleos poblacionales.
2. La otra porción del territorio pinero se conoce con el nombre del Sur, la cual se destaca por sus valores de la biodiversidad.

El relieve de la Isla es llano, pues sus alturas inferiores a los 40 m, cubren un área de 2009 km² lo que equivale a 91,5 % del total de su superficie. Las principales elevaciones son, Sierra La Cañada (310 m), Sierra Caballo (295 m), Sierra Las Casas (262 m) y Cerro La Daguilla (185 m). Su parte sur, separada por la depresión lacustre latitudinal Ciénaga del Lanier, representa una llanura abrasiva, con cotas absolutas no mayores de 10 m. La parte Norte es más elevada; aquí se distinguen en el relieve algunas elevaciones que tienen costas de altura hasta de 300 m

Alrededor de dos tercios de los mares que rodean la Isla son someros, desde Cabo Francés al Oeste, abarcando todo el litoral occidental, Norte y Oriental hasta la altura de Punta del Este, las profundidades raras veces superan los diez metros. Estos mares de escasa profundidad, se asientan sobre porciones sumergidas de la plataforma insular, donde históricamente han sido explotados económicamente los crustáceos, moluscos, peces y otras especies de gran valor alimentario.

Los recursos hídricos de la Isla no son grandes en capacidades pero sí muy numeroso. Entre ellos podemos citar: Río Las Casas, Júcaro, Las Nuevas, Guayabo, Mal País y otro número ilimitado de arroyos que enriquecen las cuencas fluviales de la Isla. Todos descargan sus aguas al mar o en lagunas costeras e interiores. Básicamente el suministro de sus aguas es de origen pluvial aumentando sus cauces en el período húmedo, secándose en los meses de período seco (noviembre - abril). Se distinguen (3) ríos, Las Nuevas (31 Km.), Río del Medio (22 Km.), Las Casas (17 Km.).

La mayoría de las corrientes fluviales se encuentran reguladas por embalses o presas, las cuales suministran el agua para las áreas de regadío de los diferentes cultivos. Se puede decir que la red de drenaje es radial, muy densa en su zona septentrional; el sector meridional ha sustituido el drenaje superficial por el drenaje subterráneo.

El clima es Tropical Húmedo siendo la temperatura media de 25,7°C, la máxima 29,7°C y la mínima 21,4°C, la precipitación media anual, según datos obtenidos en las estaciones meteorológicas indican que es de 1467,7 Mm.; y la humedad media relativa del 80%. Los vientos soplan generalmente entre 10-15 Km/h y la temporada más lluviosa es de mayo a octubre, siendo más frecuente en junio y septiembre.

La estructura geológica de la Isla esta condicionada en general por su posición en la estructura geológica del Caribe y por su desarrollo tectónico.

Sus partes Norte y Central se caracterizan por una estructura geológica compleja, aquí se encuentran desarrollados formaciones metamórficas dislocadas y de edad jurásica que ocupan aproximadamente 2/3 del territorio. En la parte Oeste las rocas están cortadas por intrusiones de composición básica y ácida de edad Cretácica.

Están ampliamente desarrolladas las cortezas marinas del cuaternario, que alcanzan potencias de hasta 50 m y raras veces hasta 100-150 m. En la parte sur las formaciones metamórficas están recubiertas por calizas neógeno- cuaternarias, con potencias de 40-60 m hasta 180 m.

Los recursos mineros como son los yacimientos minerales metálicos, y no metálicos, aguas y fangos mineromedicinales están representados por yacimientos de oro, mármol, arenas sílice, caolín, arcillas, turba etc.

Los suelos de la zona Norte son eminentemente arenosos, con más de 75 % de la fracción arenosa y dedicados en su mayoría al cultivo de cítricos, viandas, vegetales y pastos.

Desde el punto de vista ecológico en el Oeste, Centro y Sur de la Isla se encuentran zonas muy bien conservadas:

1- Sabana Los Indios- Itabo presentan suelos de arena sílice de color blanco, con vegetación y fauna típicas de este lugar y con un alto grado de endemismo.

2- Al centro existen elevaciones, entre las que se encuentra la Sierra de la Cañada (310 m de altura), zona de alto endemismo vegetal en la flora principalmente la asociada al bosque de pinos.

3- La Ciénaga de Lanier y Llanura Cársica del Sur. La primera constituye el segundo humedal de importancia del país, siendo además un área bien conservada ya que no ha sido antropizada, cubierta de herbazal de ciénaga y de manglares. La segunda esta constituida por una gran llanura sin drenaje fluvial superficial, cubierta por un bosque semideciduo mesófilo y matorrales, donde se destacan por su diversidad biológica. Posee además en sus costas, extensas playas de arenas blancas, arrecifes coralinos y bellos acantilados, donde se pueden observar cuevas con pictografías prehistóricas.

Indicadores socioeconómicos

Población:

La población creció en decenas de miles desde el triunfo de la Revolución, cuando solo había 10 mil habitantes y hoy son 86610 habitantes. La densidad de población es de 36,1 habitantes por kilómetros cuadrado. El 84,2% de la población reside en zonas urbanas.

Infraestructura: El municipio cuenta con 700 Km. de viales y de ellos 430 están asfaltados. Tiene 54 puentes y 2000 alcantarillas.

Las presas de mayor capacidad son Viet Nam Heroico y Río del Medio – Las Nuevas.

En la margen oeste de la desembocadura del río Las Casas existe un puerto con un calado promedio de 4.4m de profundidad, pueden operar 2 buques simultáneamente en 420 m de atraques.

Existen tres aeropuertos, el de Nueva Gerona "Rafael Cabrera Mustelier", ubicado al noreste de la isla, el de Sigüanea y el internacional "Vilo Acuña" en Cayo Largo del Sur.

Existe un Acueducto que suministra agua clorada. Este servicio le llega al 97 % de la población.

La Producción Mercantil finalizó el 2004 con un nivel ascendente a 162,1 millones de pesos, superando lo previsto para el año en un 3,7 %. El valor de la producción de los fondos exportables fue de 20,8 millones de pesos.

Dentro de los principales fondos exportables se encuentran los siguientes productos: jugos concentrados, aceite esencial, jugos simples de toronja y naranja, langosta, bonito y mármol elaborado.

La pesca cuenta con embarcaciones suficientes para el desarrollo de su actividad, entre ellas hay langosteras. Tiene una capacidad industrial para procesar 10 TN al día y 80 TN para el mantenimiento congelado.

Turismo:

El polo turístico principal se encuentra en Cayo Largo del Sur con 38 Km., 27 Km. de largo y 25 Km. de playa. Su parte más ancha mide 6.5 Km. y la más estrecha 400 m.

Otros atractivos centros turísticos se encuentran en el suroeste en el hotel " El Colony" con 77 habitaciones y en el norte Villa Isla de la Juventud " con 20 habitaciones y Rancho El Tesoro con 34 habitaciones.

Recursos naturales:

Los recursos naturales con que cuenta la Isla son varios, entre los que se destacan el caolín, mármol, arena, oro, cianita y turba.

El municipio durante los años de Revolución desarrolló su Industria de Materiales de la Construcción, teniendo capacidad instalada para producir en el año bloques, piedra, carbonato, arena sílice clasificada, ladrillones de cerámica roja, y mármol.

Agricultura.

Se cuenta con 12746 caballerías en la agricultura, concentrándose fundamentalmente en la Empresa Forestal (8 007 cab) y en la Pecuaria (2716 cab).

La producción de melón ha sido una actividad que por años se le ha asignado al territorio para producir la semilla del país y para consumo, siendo el record promedio de rendimiento de 1620qq/cab en el año 1993.

La Empresa de Cítricos cuenta con 2 224 hectáreas en producción y se lleva a cabo el fomento para su desarrollo perspectivo en los próximos años.

Transportación

Una característica fundamental del territorio es su dependencia del aire y del mar para la transportación de carga y pasajes.

Anualmente se transportan alrededor de 200 mil toneladas de carga y 325 mil pasajeros por mar, y 121 mil por vías aérea. Por la vía terrestre se transportan 8 millones de personas al año como promedio.

Electricidad

La generación de energía eléctrica se garantiza en lo fundamental con la planta de tecnología moderna GENPOWER con alto índice de eficiencia. La Isla está electrificada a un 99.6 %.

Comunicaciones.

Para garantizar las comunicaciones existe una planta digital con 8116 líneas con soporte de fibra

óptica, 380 canales digitales 270 canales analógicos. Entre los canales digitales y los analógicos pueden hablar a la vez 360 usuarios. La densidad telefónica es de 8,7 teléfonos por cada 100 habitantes y 4,2 servicios de Telefonía Pública por cada 1 000 habitantes

El municipio tiene 40 652 empleados en la economía. La tasa de desempleo se mantuvo en un 2,5 %.

Hay un médico por cada 196 habitantes y un estomatólogo por cada 931 habitantes. La tasa de mortalidad infantil cerró el 2004 con 1,8 por cada mil nacidos vivos, la más baja en la historia del municipio. La estructura de Salud Pública cuenta con un Hospital, 3 Policlínicos, 116 Consultorios de Médicos de Familia, 2 Hogares Maternos y 5 Hogares de Ancianos.

La matrícula en educación es de unos 20 000 estudiantes. Tenemos 3 Centros Universitarios. 24 Círculos Infantiles, 29 Seminternado de Primaria, 7 Escuelas Especiales, 12 Secundarias Básicas y 5 PRE Universitario. En todas las aulas se cuenta con un televisor y en cada escuela existe un laboratorio de Computación.

Existen 14 Consejos Populares. Hay 87 Circunscripciones, de ellas 82 subordinadas a Consejos Populares, las cuales conforman la estructura de gobierno donde el máximo Órgano es la Asamblea Municipal del Poder Popular.

El sistema municipal de asentamientos está estructurado de la siguiente forma:

JERARQUIA	CANTIDAD	ASENTAMIENTO
Centro Municipal	1	Nueva Gerona
Subcentro Municipal	1	Santa Fe
Centros locales de mayor importancia	3	La Victoria Chacón, La Demajagua
Centros locales de mediana importancia	6	Rpto. José Martí, Atanajildo, Argelia Libre, La reforma y el Batey Patria
Centros locales de menor importancia	12	Pino Alto, La Melvis, Playa Bibijagua, Los Colonos, Ciro Redondo, El Tronco, Cocodrilo, Mal País, La Caoba, La Isabel, Columbia, La Tumbita, y el Caolín.
Asentamientos sin carácter central	5	el resto

Los principales problemas ambientales que afectan los centros urbanos son el ineficiente abasto de agua potable, el inadecuado manejo (recepción, traslado, tratamiento y disposición final) de los residuales sólidos, los residuales albañales, y las cochiqueras populares lo que implica el deterioro de las condiciones higiénico sanitarias, la contaminación de los distintos cuerpos de agua (principalmente las aguas superficiales y subterránea), la degradación de los suelos, la pérdida de la diversidad biológica y la deforestación de las franjas hidroreguladoras de los ríos.

DESARROLLO

Hoy día, en todo el mundo, existe una real conciencia sobre el hecho que la actividad humana (en todas sus formas) y los desastres, denominados naturales, afectan en forma importante, al medio ambiente en que se desarrolla la vida en nuestro planeta. El continuo deterioro del medio ambiente, si no se detiene a tiempo, podría llegar a perturbar el equilibrio ecológico mundial en forma irreversible,

Esta situación ha conllevado a que los países tanto desarrollados, como subdesarrollados, han coincidido en señalar en las Naciones Unidas que “la protección y el mejoramiento del medio ambiente son cuestiones importantes que afectan el bienestar de los pueblos y al desarrollo económico de todo el mundo”, y decidieron detener e invertir los efectos de la degradación del medio ambiente, en el contexto de la intensificación de esfuerzos nacionales e internacionales hechos, para promover un desarrollo sostenible y ambientalmente racional en todos los países.

Los países desarrollados son los que han tomado mayores medidas de control y protección del medio ambiente; desde hace varias décadas han venido desarrollando e implementando tecnologías específicas para el control y protección ambiental, han realizado grandes proyectos de descontaminación, dictado leyes y han generado reglamentaciones, normativas, etc. Obviamente esto ha sido posible debido al gran desarrollo económico de estos países. Sin embargo debe señalarse que dicho desarrollo, fue logrado sin considerar el fuerte deterioro ambiental que causaron.

En definitiva, está claro que la visión del medio ambiente se integra a la del desarrollo económico del país. Esto también se puede ejemplarizar señalando que es muy distinto el enfoque sobre el medio ambiente en los países desarrollados y en los subdesarrollados. Los primeros están pensando en que hacer con el tiempo libre, si compran el tercer automóvil, etc. , mientras que los segundos piensan en la forma de elevar el bienestar material del pueblo, resolver los problemas de alimentación, salud, educación, etc.

Las tendencias actuales de protección del medio ambiente son:

- ♦ Mayores exigencias ambientales de los países desarrollados hacia los subdesarrollados.
- ♦ Buscar la formula 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”.

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

La comunidad económica estima que debe haber convergencia y no-conflicto entre el desarrollo económico y la protección del entorno.

La Constitución de la República de Cuba 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.

El Comité Ejecutivo del Consejo de Ministro otorgó al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) las funciones y atribuciones relativas a la protección del medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales.

En marzo de 1995 se aprueba la Resolución 168 del CITMA, en la cual se establece el Reglamento para la realización de las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) y el otorgamiento de las licencias ambientales. Es aprobada por la Asamblea Nacional la Ley No.81. Ley de Medio Ambiente con fecha de 11 de julio de 1997. Se deroga la resolución 168 y se prueba en 1999 la resolución 77 sobre **REGLAMENTO DEL PROCESO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL** .

La Ley 76. Ley de Minas, publicada en la gaceta oficial 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 dicho impacto derivados de sus actividades, a controlar en la etapa de explotación y procesamiento la efectividad del proceso de tratamiento de los residuales, a exigir por planificación de los trabajos necesarios para la restauración o acondicionamiento de las áreas explotadas, a la anulación de cualquier concesión



otorgada por la reincidencia en el incumplimiento de el programa de ejecución de las medidas que preserven en el medio ambiente, etc.

Breve reseña histórica. Investigaciones realizadas, explotación de los recursos.

La Isla de la Juventud, fue descubierta por Cristóbal Colón el martes 3 de Junio de 1494, durante su segundo viaje de América. Al estar alejada de las principales rutas oceánicas, permaneció olvidada durante cuatro siglos por las autoridades españolas. Por este motivo los piratas y corsarios se aprovecharon de ella y la convirtieron en su guarida para abastecerse de agua y alimentos, así como para utilizarla también como base para los asaltos a las flotas españolas que se dirigían a la Habana o a la Metrópoli, procedentes de los Virreinos de América.

Inglaterra se interesó posteriormente en ella e intentó poseerla, sin embargo, en 1830 España decidió fundar aquí la Colón de la Reina Amalia y su capital Nueva Gerona.

Por su posición con respecto a otras tierras más pobladas, España deportaba a ella, presos políticos y ya desde entonces fue esta la casi única razón del Sur de la Isla Pina, situación que se mantuvo hasta el Triunfo de la Revolución.

Finalizada la guerra Hispano-Cubana-Norteamericana en 1898 y liberada Cuba del yugo colonial, los Estados Unidos al ocuparla militarmente excluyeron a la Isla de Pinos de la soberanía nacional y comenzaron a colonizarla. Las reintegradas protestas de nuestro pueblo, encabezadas por el Comité Antiimperialista que dirigía Julio Antonio Mella, lograron su incorporación al territorio de la República de Cuba en 1925.

Los gobiernos que se sucedieron a partir de ese momento la mantuvieron en casi completo abandono y conservaron la costumbre de enviar presos políticos. Solo después de 1959, Isla de Pinos dejó de ser la Isla del Presidio, donde se comenzó a construir una nueva sociedad.

Se conocía la Isla como refugio para las personas enfermas mucho antes del año 1800, por las cualidades de sus aguas y por su aire.

En el año 1792 el Dr. Dionisio Franco, secretario del Virrey de Lima fue obligado a desembarcar en la Isla (8 de marzo – 15 de octubre) y se dedicó a conocerla y explorarla; años después en 1797 el Marqués de la Cañada, Juan Tirry y Lace; vino a la Isla como miembro de la comisión de Fomento “asegurándosele el trabajo de explorar y estudiar la Isla de Pinos y destacó la importancia de las aguas para curar enfermedades.

Ya en 1826 el Dr. José Labadía llamó la atención de las posibilidades de la Isla para exportar mármol entre otros; enviando muestras de mármol de la Sierra de las Casas y Sierra Caballos a la Habana. El y el Teniente Coronel Clemente Delgado y España Comandante en jefe de la Isla fueron los primeros en hacer un examen exhaustivo de la Costa Sur presentando además una descripción topográfica de la Isla de Pinos.

Irene Wrigth en su libro la Isla de Pinos nos relata que en 1834 el químico y geólogo M. Chucaux, explorando las Indias Orientales en busca de oro, fue atraído a Isla de Pinos por los informes de que los bucaneros tenían allí minas del deseado metal. Él descubrió la composición del monte Caballos y estimó su valor. La loma, por la forma de erguirse, le pareció más a una mina de oro que cualquier otra cosa que él había encontrado, abandonando más tarde la investigación. Logro del gobierno español el privilegio de establecer y operar una cantera de menos 1 milla de largo. Inició los trabajos, transportando los bloques en goletas que esperaban. Murió de fiebre amarilla en la Habana. Sus canteras y sus máquinas fueron olvidadas hasta 5 años más tarde cuando en 1844 el Capitán General Donnell, Gobernador de Cuba, compró una extensión similar de tierra y formó una compañía, para explotar la propiedad, se construyó un molino grande en las canteras que fue equipada con máquina norteamericana.

Los prisioneros del penal de Gerona hacían el trabajo a un sueldo de 10 centavos por día. Se edificó una calera para quemar el residuo, y se construyeron grandes muelles en la Bahía de Colombo. El primer bloque de mármol de la Compañía fue tallado para una fuente bautismal y regalada a la Iglesia Parroquial de Gerona. La compañía quebró en 1849.

Años más tardes el Mayor Sardá adquirió estas propiedades. El no siguió trabajando en la cantera de mármol, su maquinaria fue abandonada a enmohecerse y arruinarse. En su lugar, él fabricó ladrillos y losas. Las losas de Sardá enlosaron el piso del Castillo del Morro y el edificio público del Mercado de la Habana. Sin embargo, los tiempos difíciles paralizaron completamente el patio de losas y ladrillos. En 1901 el negocio pasa a manos del Sr. T. J. Keenan de Pittsburg, Pensilvania.

A través del libro “Memorias sobre la Salubridad en Isla de Pinos” el Dr. José de la Luz Hernández hizo saber al mundo de los milagros para la salud de los manantiales de Santa Fe.

En 1853 en el caserío de Santa Fe, una sociedad anónima se fomentó con el objetivo de utilizar sus manantiales de agua termales. La primera construcción del balneario sirvió de base al caserío que se estableció junto al río La Fe.

En 1860 se formó una nueva sociedad. “Fomento Pinero”, entre sus objetivos; establecer baños higiénicos y medicinales, y construir casas de salud para enfermos. En 1866 Samuel Hazard, artista enfermo y curado en Santa Fe realiza pinturas sobre el caserío.

Al cerrar la dominación española, las tropas de ocupación norteamericanas iniciaron de nuevo el estudio físico geográfico de la Isla, y los geólogos Hayes y Vau Ghan hicieron el primer informe moderno sobre esta materia.

Irene Wrigth en su libro Isla de Pinos escrito a comienzos del siglo XIX nos ubica sobre la situación de la explotación del mármol en aquella época y de las propiedades adquiridas por norteamericanos, de las riquezas minerales del territorio; además hace referencia a la existencia de la Sierra la Siguanea de esquistos silíceos que contienen “hematites carmelitas muy puros”, de depósito de manganeso en Santa Fe y el Valle del río de Mal País.

También es a principios de siglo cuando las sociedades científicas cubanas renovaron la tradición de organizar excursiones a Isla de Pinos: Viaje a Santa Fe – Felipe Poey Monografía Geográfica e historia – Andrés Poey 1913 – Jenrriigs – importantes contribuciones a la GEO – edafológica de la Isla.

Los estudios del ingeniero Broderman, los geógrafos Núñez Jiménez, Triquez, Isalgué, Massip, Levy Marrero.

Pablo Llaguno y de Cárdenas, Ingeniero en minas, realizó un viaje a la Isla en 1912 y 1914. Refiere en su libro que “económicamente estudiada La Isla, bajo el punto de su explotación ofrece gran interés por las riquezas naturales del suelo, en aprovechamientos forestales, potreros y campos de agricultura, yacimientos minerales, canteras de mármol y aguas minerales”.

En octubre de 1952 el Banco de Fomento Agrícola Industrial de Cuba encarga a los ingenieros Miguel A. Monzón y Eduardo Santos Ríos, un estudio económico – social de la Isla, donde se reproducen los estudios de los edafólogos norteamericanos Bennety Allison (Loils of Cuba) y ofrecen resúmenes prácticos y útiles de las aguas minero medicinales de Isla de Pinos.

En el libro Excerta de una Isla Mágica (1959) ya se habla de las riquezas mineras e incluyen los yacimientos de turba de la Ciénaga de Lanier, concreciones de hierro y cuarzo.

La casi totalidad de los yacimientos minerales que se localizaron en el territorio fueron explotados en una etapa inicial, por empresarios norteamericanos, quienes hicieron uso de las minas de más alta ley, para luego abandonar las explotaciones.

A partir de 1961 - 1963 se realizaron los estudios de la turba en la Ciénaga de Lanier.

En 1961 - 1962 – los del Caolín Km 13.

En 1962 – Caolín Mac Kinley.

En 1963 - 1967 – Río del Callejón (Colín).

En 1963 – Arena Cuarzosa - Cantera de Mármol.

En 1966 - 1967 – Yacimiento de Fe (hierro) Santa Fe, Cuchilla Alta y San Francisco.

En 1968 – Arena cuarzosa Buena Vista.

En 1969 - 1970 – Complejo Metamórfico Isla de la Juventud.

En 1971 - 1974 – Levantamiento Geológico 1:100 000

En 1973 – Trabajos geoquímicos. Posibilidades metalíferas.

En 1973 - 1976 – Búsqueda de Oro Delita.

En 1977 - 1983 – Búsqueda de W, Ar, Lela, Revolución, Buena vista.
En 1977 - 1984 – Oro Delita.
En 1984 – Oro Delita Bloque Experimental.
En 1983 - 1984 – Levantamiento Aéreo geofísico 1:25000
En 1983 – Piedra La Fe y Punta Colombo.
En 1983 – Arcilla Roja Sabana Grande.
En 1983 – W, Ar, Búsqueda.
En 1984 – Arcilla desgrasante. Los Colonos.
En 1985 – Caolín. Revolución.
En 1986 – Wolframio. Lela
En 1984 - 1987 – Cuarzo.
En 1983 - 1987 – Búsqueda de Cuarzo Isla de la Juventud.
En 1985 - 1987 – Mármol - Sierra Las Casas, Guanábana I y II.
En 1980 - 1987 – Caolín Río del Callejón.
En 1985 - 1987 – Caolín Mac Kinley Norte y Sur.
En 1983 - 1988 – W, Ar, Sb Sabana Grande 1:25000
En 1985 - 1990 – Levantamiento Geológico - Geofísico CAME 1:50 000.

El grado de estudio geológico de la Isla con la ayuda de los asesores soviéticos se elevó al 100% del territorio.

Se realizaron en el año 2000 estudios económicos para demostrar la rentabilidad de la explotación del yacimiento Delita, para la explotación conjunta del yacimiento entre cubanos y canadienses.

Los yacimientos no metálicos como son el mármol, las arenas sílices, las arcillas, los caolines, la turba, las calizas, la piedra para la construcción etc. son explotados por empresas del territorio: Combinado del Mármol, Empresa de Materiales y Construcción y la Cerámica fundamentalmente.

Las aguas minero - medicinales comenzaron a explotarse a finales del año 1994 y su venta para la población a partir del año 1995 por la Empresa de Bebidas y Licores, en tiempos más recientes por la Dirección territorial de Salud la cual ha venido desarrollando el rescate de las mismas.

Inspecciones y auditorías ambientales.

Los objetivos globales y específico de las inspecciones y auditorías medioambientales pueden resumirse en:

- Conocer la situación ambiental.
- Establecer las necesidades ambientales y determinar las medidas correctoras a aplicar con un determinado orden de prioridad.
- Poder explicar a terceros las actividades de la empresa referente a la protección del medio ambiente.
- Conocimiento real y diagnóstico de las actividades de la empresa (legislación medioambiental que la afecta y grado de cumplimiento, requerimientos medioambientales y riesgos derivados de su situación y responsabilidad jurídica.
- Detectar puntos fuertes de la política ambiental que pueden ser resaltados en comunicaciones públicas, así como los puntos débiles que es preciso mejorar.
- Proporcionar una identificación de las soluciones técnicas y económicas que permitan cumplir con la normativa vigente y mejoren la rentabilidad de la empresa.
- Mejorar el conocimiento del método de explotación en la mina y el tratamiento en planta (producción, equipos y materiales empleados, producto obtenido y costos, etc.).
- Conocer los efluentes y residuos que se generan (tipo, cantidad, composición, fuente, causa de generación, etc.).
- Definir las medidas correctoras, precautorias y compensatorias del programa de vigilancia medioambiental.
- Prevenir incidentes con graves repercusiones y mejorar el plan de seguridad e higiene del trabajo.
- Cuantificar los progresos en materia de medio ambiente.

- Aumentar la rentabilidad económico-financiera de la empresa (optimizando el uso de los recursos y del ciclo productivo, así como reduciendo el volumen de los residuos).
- Mejorar el sistema de gestión de riesgos ambientales y la relación entre la empresa y las autoridades.

SITUACIÓN AMBIENTAL ACTUAL DE LA MINERÍA EN LA ISLA

Dada la estructura económica deformada anterior a 1959, y debido a la poca atención que se le brindaron a los asuntos medio ambientales en aquella época, la Revolución Cubana heredó un medio ambiente impactado negativamente por la actividad antrópica.

En el caso de la Isla de la Juventud, como se explicaba anteriormente, por el abandono a que fue sometida durante cuatro siglos por las autoridades españolas y posteriormente a 1901 por los gobiernos que se sucedieron la conservaron para enviar presos políticos; el medio ambiente pinero se vio afectado principalmente por un proceso de deforestación, además de la mala calidad de los servicios de salud, la educación, deposición incorrecta de albañales, entre otras, pero la explotación minera no trajo cambios en el paisaje, ni contaminó la atmósfera.

Es a partir de 1959, que a pesar de dictar las medidas correspondientes a la explotación minera que ha afectado el medio ambiente, que si no es crítico en algunos casos casi llega a serlo, como es el caso de la explotación de turba.

En gran medida el aumento de la población, la ampliación y crecimiento de las ciudades (Nueva Gerona, La Fe, La Demajagua); el desarrollo de la agricultura, las construcciones, los viales, el desarrollo de la economía, traen aparejados el incremento de la demanda de los recursos mineros y sus riquezas en el territorio.

Es importante mencionar que en el desarrollo hidráulico del territorio a comienzo de la época del 70, por la ausencia de coordinación entre entidades o desconocimiento, se efectuaron algunos yacimientos de minerales como es por ejemplo el yacimiento de Caolín Mc Kinley, estudiado en 1963 y calculándose reservas en el orden de 1 500 000 T en categorías C1 y C2 actualmente se encuentra bajo la presa "Las Nuevas". En el caso de las aguas minero medicinales se encuentran afectadas en su mayoría por presas, aguas residuales, obras civiles, industriales, etc.

Turba:

Según el informe de la Empresa de desmonte y Constricción del Ministerio de la Agricultura, la extracción de turba desde 1989 es la siguiente:

Fecha	Cantidad
1989	26 500 m ³
1990	19 700 m ³
1991	18 700 m ³
1992	9000 m ³
Total	73 900 m ³

RELLENO:

Fecha	Cantidad
1989	36 400 m ³
1990	29 600 m ³
1991	27 430 m ³
1992	11 130 m ³
Total	104 560 m ³

Para extraer esta cantidad de relleno fue necesario explotar 26,84 ha.

En carta de Ronaldo Goteras González – Presidente de la Comisión de Medio Ambiente a Miguel Álvarez Sanz – Presidente de la Asamblea Municipal del Poder Popular en 1992 plantea la necesidad

de aplicar las medidas que amortigüen las afectaciones del medio ambiente (afectaciones del área boscosa) = 5 m² de bosque por m³ de turba en el sur pinero.

En 1993 se realiza el proyecto Reconformación y reforestación del área boscosa Los Monos por J. R. Martínez, donde se analiza la posibilidad de cambiar la tecnología de extracción de turba para evitar el avance de la deforestación de la zona. Sin embargo no fue aplicado.

En 1993 no se realizaron extracciones de turbas pero en 1994 y 1995 en pequeñas cantidades con el objetivo de incrementarse en el futuro. La turba se utiliza para elevar el contenido de materia orgánica en los suelos del territorio, pero existen otras técnicas que se pueden utilizar para este fin y que aquí se aplican en menor escala como son la larvicultura, agricultura sostenible, entre otras.

Recurso Mineral: Oro

Oro Delita: El As posee una marcada afinidad geoquímica por el oro (Au), por tanto, el mal manejo de los residuos de la actividad minera de este último constituye una importante fuente antrópica de contaminación que ha acelerado la disponibilidad del primero hacia el medio acuático en diversas regiones del mundo como Taiwán, India, Tailandia entre otras.

Los estudios sobre aguas y suelos en Delita relacionados con la salud humana se han limitado a su utilización como aguas minero medicinales y al uso de fangos medicinales.

Estudios de Bustamante et al. (1985) indican por sus propiedades (T= 28 ° C, Fe = 33 mg.L⁻¹, mineralización: 0.7-1.0 g.L⁻¹ y As = 5 000-7 000 µg L⁻¹) las aguas del pozo Mina Delita como idóneas para tratamientos diversos. Consideradas del tipo arseniaca – ferrosa son indicadas para el tratamiento de enfermedades respiratorias en niños, enfermedades musculares y nerviosas, problemas de raquitismo y de crecimiento en niños .

Otros autores como Rodríguez y Bosh (2000) han indicado el uso de los fangos del Playazo El Soldado (Fig.2) para el tratamiento de patologías en la piel . Aunque no fueron analizados en estos el comportamiento del As y otros metales, actualmente son utilizados con buenos resultados en pacientes con afectaciones en la piel, artropatías y algunos casos de inflamación pélvica. Los principales clientes de estos tratamientos son los pacientes de los policlínicos No.1 y No.2 de Nueva Gerona.

Recurso Mineral: Mármol (Empresa de Mármoles en la Isla de la Juventud):

La extracción del mármol se realiza a través de canteras que en el Cerro Las Casas, la acumulación de material, el desbroce de la vegetación, entre otros ha dado otro aspecto al paisaje a pesar que desde 1985 existe la resolución 1181 del Ministerio del MINBAS donde se toman las medidas de la protección del medio ambiente conjuntamente con la explotación. Además en este ecosistema viven especies de moluscos terrestres endémicas del territorio.

Recurso Mineral: Caolines:

Yacimiento Río del Callejón, debido a la explotación del caolín de este yacimiento se ha perdido la capa vegetal, además de los escombros que forman elevaciones en el área, lagunas entre otras afectaciones como las cantidades de polvo que afectan a las poblaciones del lugar.

Estas minas problemáticas se observan en los yacimientos del Km. 13, Revolución, Siguanea,



Explotación del Yacimiento Río del Callejón Sector 3: EMPRESA DE MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN

Aspectos generales del medio natural y socioeconómico del área donde se desarrolla la actividad.

El área forma parte del yacimiento de río del Callejón, ubicado en la parte Noroeste de la Isla de la Juventud, a una distancia de 20 Km. al Suroeste de Nueva Gerona y a dos kilómetros al noroeste del poblado de la Demajagua.

Las coordenadas Lambert de los límites del área son las siguientes:

COORDENADAS		
Punto No.	X	Y
1	299 935	223 865
2	299 895	223 885
3	299 845	223 825
4	299 830	223 825
5	299 810	223 920
6	299 815	223 965
7	299 855	224 000
8	299 855	224 010
9	300 100	224 040
10	300 100	223 800
11	300 00	223 800
1	299 935	223 865

Se ubica en el área de desarrollo de la formación Ceiba, perteneciente al Jurásico Medio, según el informe geológico esta representado por dos paquetes de rocas: Carbonato Esquistos y esquistos. Esta representado en su totalidad por caolines grises claros: En parte grafitizados de color gris oscuro a negro con tonalidades violáceas, pardeas y rojizas, y en menor medida por caolines blancos con una abundante mineralización (pirita) y caolines abigarrados pardos rojizos

Las características principales del mineral del yacimiento son expresadas a continuación:

Composición química	%
SiO ₂	67.50
Al ₂ O ₃	25.25
Fe ₂ O ₃	1.32
Ti O ₂	1.05
CaO	0.05
MgO	0.16
Na ₂ O	0.04
K ₂ O	1.21
PPI	8.42

Composición mineralógica:

Propiedad	Contenido
Tamaño promedio de los granos	0.01 – 1mm
Cuarzo y fragmentos de sílice	85 %
Grafito	5%
Sericita y moscovita	3%
Feldespato	3%
Hidroclorita	2%
Pirita	2%
Estaurolita, turmalina y granate	1%
Caolinita	< 0.038mm
Refractariedad	1580 °C

Composición granulométrica

TAMIZ	% RETENIDO
4.70 mm	10.7
2.4 – 4.7mm	4.2
0.21 – 2.4	24.1
0.05 – 0.21 mm	10.8
0.02 – 0.05 mm	11.01
0 – 0.02 mm	39.1
Humedad 20 %	

Relieve: Por lo general es un relieve llano, y se localiza en la llanura ondulada que prácticamente ocupa la región norte de la Isla y que por su génesis pertenece a las formas acumulativas, dentro de la morfoestructura septentrional. Dentro de la regionalización geográfica, forma parte del subdistrito de llanuras y alturas del Norte (Acevedo, 1990)

Calidad del agua: El agua subterránea en toda esta área se clasifica como bicarbonatada cálcica

Hidrográficamente, la región se caracteriza por la presencia y algunos arroyos. Las aguas pluviométricas están estrechamente unidas a la alimentación de los ríos. El escurrimiento se efectúa a través de numerosas cañadas con gastos máximos en las épocas de lluvias. La aparición de agua subterránea en el yacimiento está relacionada con el complejo acuífero que yace por debajo del yacimiento, por las características de impermeabilidad de las arcillas, resulta imposible determinar la existencia en ellas de agua subterránea.

Dentro de los recursos hídricos del área podemos citar: Embalse Río del Medio las Nuevas, estos suministran el agua para las áreas de regadío de los diferentes cultivos, además se utilizan en la piscicultura. Estos descargan sus aguas al mar en la zona norte de la Isla de la Juventud o en lagunas costeras e interiores. Básicamente el suministro de sus aguas es de origen pluvial aumentando sus cauces en el período húmedo, secándose en los meses de período seco (noviembre - abril).

Es de destacar la presencia en las proximidades del área de concesión de un manantial (El Rosario) ascendente, de origen profundo aproximadamente a 1000 m, con temperaturas promedio de 31 °- 32 °, prácticamente constante, son aguas de tipo carso grietas.

Los suelos de la zona son Ferralítico amarillos cuarcíticos eminentemente arcillo-arenosos, con mal drenaje: Suelos de topografía llana sin salida del agua, de poca profundidad efectiva, con un pH ácido y un contenido de materia orgánica muy bajo; suelos compactados resultado a las arcillas impermeables las que se encuentran a pocos centímetros de la superficie.

La utilización fundamental de los suelos es en la agricultura evidenciándose los cultivos temporales (viandas, vegetales etc.)

Geología:

En la zona se distinguen los depósitos Neógenos Cuaternarios los cuales conforman la corteza de intemperismo y ocupan el mayor porcentaje del área identificándose como acumulaciones arenarcillosas aluviales, caolines secundarios, arcillas y guijarros, así como esquistos intemperizados.

La formación subyacente es la Formación Ceiba constituidas por mármoles y esquistos cuarzo micáceos y micáceos con variados contenidos de grafito.

La región del yacimiento está constituido por rocas metamórficas de la formación Ceiba, perteneciente al Jurásico medio, que según informes geológicos esta representado por dos paquetes de rocas: Carbonato esquistosa y esquistos

El sector solicitado esta representado casi en su totalidad por caolines grises claros y blancos en la parte inferior, en algunas ocasiones con impregnaciones de pirita.

Desde el punto de vista tectónico en el área se desarrollan dos zonas tectónicas:

La zona tectónica La Fe

La zona tectónica Delita.

El 73 % de la distribución de los yacimientos y manifestaciones caoliníticas está asociado a fallas de plumaje, las cuales jugaron un papel fundamental en la formación de una potencia de corteza de intemperismo de 124 m de espesor

En la zona se destacan la siguientes formaciones vegetales: el pinar, el bosque de galería, la vegetación hidrófila y la vegetación cultural integrada por cultivos varios, pastizales y frutos menores asociados a los asentamientos humanos.

La transformación del medio natural de la zona se inició desde principio de siglo con la explotación ganadera y agrícola, acentuada esta última en los momentos actuales. En 1971 se cerró la presa Río del Medio las Nuevas con una capacidad de 44 000000 de metros cúbicos de agua con fines de riego a la agricultura, la ganadería y el suministro a la estación de alevinaje (Alevinuevas).

El desarrollo de estas actividades en la zona a provocado su degradación con mayor afectación al pinar por ser la formación vegetal predominante, trayendo como consecuencia cambios en la fisonomía del paisaje, deterioro de las formaciones vegetales naturales e introducción de especies sinantrópicas.

Estado actual de la vegetación:

1.- Bosques tropicales perennifolios.

1.1.- Latifolios.

1.1.1- Bosque de Galería: Presente en las orillas de los riachuelos originalmente tributarios del río del Medio.

Estrato arbóreo: no muy denso, alcanza hasta los 25 metros de altura, compuesto por Ocuje, Yamao, Xilopia aromatica, Palma real, Calyptriginis dulcis, Saval parviflora, Yagruma etc. Se observa algo degradado por la actividad de carboneros y la tala ilegal.

Estrato arbustivo: no muy denso, alcanza hasta los 10 metros presencia de representantes de las familias Myrtáceas, Melastomátáceas, Rubiáceas y el Chrysobalanum icaco.

Estrato herbáceo: ralo, compuestos por representantes de Poaceas, Cyperaceas y helechos así como otras plantas en estado juvenil.

Existe además la presencia de lianas como Ojo de buey, Peonia, etc., así como algunos helechos epífitos.

En su generalidad esta muy degradado quedando solo algunos vestigios del original, el mejor conservado es el ubicado entre el camino a Revolución y la presa, de tomarse las medidas adecuadas para su protección podría restablecerse.

1.2.- Aciculifolios:

El relictus de esta vegetación se encuentra localizada en una franja ubicada entre el camino del Bosque el margen norte de la presa con una extensión en el sentido longitudinal de 1,5 kilómetros, alejado del área de los yacimientos.

Estrato arbóreo: ralo, caracterizado por la presencia de Pinus tropicalis, Colpothrinax wrightii y Xilopia aromatica aunque en algunos lugares podemos encontrar el hicaco producto a los cambios de humedad del suelo debido a la cercanía de la presa (detrás de la casa de los Martinez).

Estrato arbustivo: denso, compuesto por Byrsonima crassifolia, Pachyanthus sp. Ouratea sp. Acoelorrhaphe wrightii otras melastomátáceas, apocináceas, etc.

Estrato herbáceo: denso, caracterizado por la abundancia de ciperáceas y poáceas muchas de ellas sinantrópicas. En algunos lugares aparecen las eriocauláceas y xyridáceas, pudiendo observarse además el Helenium scaposum un endémico de la Isla de la Juventud dentro de las asteráceas. Aparecen con bastante frecuencia la Zamia pigmaea entre otras plantas propias de esta formación, caracterizada por poseer altos niveles de endémismo.

Es contrastante la no existencia de ninguna de las especies de hypericum dentro del pinar en esta localidad con respecto a otras áreas.

Formando parte de esta formación, como un caso particular, encontramos a la derecha del camino del bosque frente a la entrada a la casa de Anselmo una población de Colpothrinax wrightii en la cual aparecen algunos pinos aislados hacia la periferia. Su hábitat se caracteriza por inundarse durante la época de lluvia. En el estrato arbustivo predominan el Pachyanthus sp., Tabebuia, Chrysobalanus icaco y alguna que otras apocinácea y melastomátácea.

En el estrato herbáceo podemos encontrar musgos asociados a la base de los troncos de las palmas, eriocauláceas, y algunas poaceas entre otras, todas ellas por encima del nivel normal de las aguas el suelo es mas arenoso que en el resto de la zona pudiendo ser producto al lavado a que es sometido en la época de lluvias.

La degradación del pinar ha sido provocada por la actividad económica de la zona unido a la tala furtiva y los frecuentes incendios.

La tenencia de ganado mayor en el área ha posibilitado la introducción del marabú (Dychrostachis glomerata).

1.3.- Complejos de vegetación:

1.3.1- vegetación acuática de presas.

La flora en ella presente es típica de los embalses del territorio, presentándose la ova, macio, etc. la misma se concentra hacia las orillas, formándose pequeñas agrupaciones alrededor de los troncos existentes dentro de la presa (Pérez - Eiriz et. al. al. 1989) reportan para toda la zona litoral hasta una profundidad de 3,5 metros al Potamogeton illinoensis, más restringido y hasta una profundidad de 1,5 metros se encuentra el P. nodosus, apareciendo también una representación de la familia Characeae en zonas de baja profundidad y el Nymphaea grayanum flotante cerca de la orilla. Dentro de las plantas emergentes se destacan por su abundancia Elocharis intestincta.

1.4- Vegetación secundaria:

En la orilla de la presa aparece una franja a un metro aproximadamente del agua de Chrysobalanus icaco la que se alterna en partes muy bajas con hierbas la cual se implantó después de construida la presa y es típica de los embalses del territorio.

Puede observarse además en áreas aledañas a la presa zonas donde abunda el hicaco y la pomarroja, esta situación puede observarse en el bosque de galería pero en menos proporción.2.- Vegetación cultural:

En la zona comprendida entre el camino del caolín y la presa se desarrolla la actividad agrícola caracterizada por la siembra de cultivos varios y el uso por la ganadería. Al otro lado de la presa y limitada por el camino a Revolución se desarrolla una zona ganadera. Estas presentan una florúla característica de estos ecosistemas constituida en su mayoría por especies sinantrópicas.

Producto a la actividad humana se observan árboles frutales, predominando el mango y el coco, pudiendo observar también en zonas puntuales poblaciones de Bambusa vulgaris (Caña brava).

Fauna: La fauna del lugar se caracteriza por presentar varias especies de interés conservacionista que anidan o habitan en el entorno del proyecto, dentro de las que se destacan las cotorras y yaguasas, son comunes además otras especies en la zona como los arrieros, chichinhuacos, judíos, zorsales, zunzunes, solibio, sinsontes, varias especies de palomas, aves acuáticas asociadas a la presa, entre otras.

Dentro de los reptiles se destacan las especies correspondiente al género *Anolis*, *Ameiva* y *Leiocephalus*, los cuales suelen ser abundantes. Aunque no son muy evidentes también se reportan especies de ofidios.

Aunque los anfibios no han sido bien estudiados se reporta la presencia de la rana común, debiendo existir otras especies.

Los peces están representados por varios géneros de los comúnmente llamados guajacones que habitan en los riachuelos aledaños a la zona de explotación minera y en la presa, en esta última encontramos además las especies introducidas como tilapias, tencas, etc.

Descripción de la actividad

Recurso Mineral: Caolín

Área de concesión

Área de explotación: 2.66 ha

Área de depósito minero: 2.70 ha.

Área Total: 5.36 ha.

Objetivos de la explotación: Extracción del mineral para ser utilizado en estado natural en la industria del cemento y para ser levigado para la cerámica fina, cerámica refractaria, Industria del calzado e Industria química.

La entidad solicitante cuenta con un Ingeniero en minas a nivel central para dirigir y controlar la actividad minera, actualizar la documentación topográfica y geológica del yacimiento, elaborar el plan minero anual y realizar la proyección y ejecución de la exploración de explotación.

Las reservas aprobadas por la Oficina Nacional de Recursos Minerales en el área solicitada como concesión minera son de 724 580 Tm de caolín, las cuales se dividen en reservas probadas (470 977 TM) y probables (253 603 TM).

La explotación se realizará a cielo abierto mediante las excavadoras anteriormente mencionadas.

Caracterización del estado de la calidad atmosférica y del uso del suelo y del agua.

El suelo es retirado y almacenado en montículos que ulteriormente serán redepositados cuando se concluya con la explotación teniendo en cuenta la importancia de este elemento en el ecosistema de la zona. Es posible la utilización del agua almacenada en los espacios mineros laboreados (lagunas), en criaderos de peces o a partir de investigaciones posteriores según sus propiedades en aguas minero medicinales.

El agua no es utilizada para la extracción pero se verá afectada su calidad por las labores de explotación.

Volumen y disposición de los residuales sólidos, líquidos y gaseosos

La explotación del yacimiento cuenta con residuales sólidos que son precisamente las escombreras, las cuales se depositan en un área para su posterior utilización, ya que las sustancias minerales no



deseables se van lixiviando. Los recursos que no se utilicen serán devueltos al área de excavación para su restauración.

Identificación y descripción de los impactos ambientales que se prevé ocasionar.

➤ Principales Impactos

Por las características de la explotación minera en la zona los impactos sobre la vegetación son irreversibles, debido a la alteración de las condiciones del suelo y la geomorfología, considerando que donde se ubica el mismo ya existen alteraciones de la composición de la vegetación por causas ajenas a la explotación minera.

La erosión de las escombreras puede traer como consecuencia a largo plazo su arrastre hacia los cuerpos de agua y con ello alterar la flora y la fauna del lugar.

Por estar en la zona aledaña al proyecto uno de los principales pozos de aguas termales, con perspectivas de explotarse en un futuro hay que tener en consideración los impactos que sobre el paisaje provoca la actividad minera, debiéndose tomar como medida de mitigación la siembra de cortinas de árboles que enmascaren la actividad minera, mitigando de esta manera su influencia sobre el mismo.

Los impactos sobre la fauna ocurren indirectamente por los cambios en la vegetación y en el suelo que provocan la destrucción del hábitat y con ello la migración de estas especies hacia otras zonas, proceso que está influido también por el ruido que ocasiona el transporte automotor.

- I. Destrucción del hábitat: Debido a la naturaleza extractiva de la actividad
- II. Pérdida de especies: Considerando a aquellas especies asociadas directamente al suelo.
- III. Destrucción de la cubierta vegetal:
- IV. Cambios en las comunidades vegetales: Producto a la inversión del prisma del suelo durante el proceso de destape del yacimiento y a los cambios en la naturaleza del terreno una vez extraído el material que provocan la introducción de especies exóticas y la pérdida del potencial genético natural del área.
- V. Deforestación del área minera.
- VI. Excavación minera de 18 a 20 metros de profundidad inundada de agua.
- VII. Deterioro de los viales.
- VIII. Actividad de desagüe de la explotación minera en la temporada de lluvias.
- IX. Contaminación del aire producto a la extracción, explotación minera, y transportación.
- X. Contaminación de las aguas superficiales por arrastre y deposición de los sedimentos en los cursos de aguas.
- XI. Aumento del nivel de ruido por la actividad minera.
- XII. Alteración del relieve y estética del paisaje
- XIII. Aumento de las posibilidades de empleo producto a la actividad
- XIV. Cambios en el régimen hidrológico por ordenamiento del drenaje.
- XV. Reforestación
- XVI. Ampliación del comercio y la Industria de Materiales de la Construcción
- XVII. Impacto socioeconómico a 2 viviendas(un particular y otra estatal) , un comedor y un taller los cuales pertenecen a la Empresa.

Para la identificación y evaluación de los impactos utilizamos el Método de las Matrices de Leopold. 1971

Matriz de identificación de impactos: Las matrices usadas para la identificación de impactos están constituidas por una lista de actividades precisas para el desarrollo de la actividad minera, la cual se enfrenta en una tabla de doble entrada, a otra lista de los componentes ambientales, económicos y los impactos producidos por la actividad. Se forma así una matriz que puede usarse para la detección de las relaciones causa – efectos.

➤ Actividades

a) Explotación minera (cantera a cielo abierto)

- b) Deposición de residuos de la explotación
- c) Desague de la cantera
- d) Transporte
- e) Reforestación

➤ Componentes ambientales

- A. Procesos geofísicos
- B. Atmósfera
- C. Agua
- Suelos
- Vegetación
- Fauna
- D. Paisajes
- E. Económicos y social

Como puede observarse en la matriz de identificación de impactos los componentes naturales y sociales más afectados son:

Contaminación de la atmósfera, contaminación de las aguas superficiales, destrucción de la cubierta vegetal, alteración del paisaje y la estética, y la deforestación. Es necesario destacar el impacto social a dos viviendas las cuales están solucionadas

La evaluación del impacto ambiental provocado por cualquier actividad obliga al cumplimiento de una serie de etapas constituidas por la identificación de impactos, predicción y la Evaluación de los mismos. Se le asigna un valor cuantitativo a las acciones del proyecto de explotación minera como también a los componentes del medio ambiente (elementos y procesos)

Para la valoración de los impactos se utilizarán los siguientes indicadores

- A. Carácter del impacto.
- B. Magnitud.
- C. Alcance
- Plazos
- Persistencia
- D. Reversibilidad del efecto
- E. Posibilidad de introducir medidas mitigadoras
- F. Tipos de impactos
- G. Importancia del impacto
- H. Proximidad de la fuente
- I. Tendencia

Matriz de valoración de impactos inducidos por la actividad de extracción del caolín.

IMPACTOS	INDICADORES										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
I	-	2	2	3	2	1	P	I	19	3	2
II	-	2	1	2	2	1	P	I	17	3	1
III	-	3	3	3	3	2	I	D	26	3	3
IV	-	2	2	2	2	1	P	I	18	3	2
V	-	3	2	2	2	1	P	D	19	3	1
VI	-	3	3	3	3	2	I	D	26	3	3
VII	-	1	1	2	2	1	P	I	16	3	2
VIII	-	2	2	1	1	1	P	I	16	3	2
IX	-	3	1	1	2	1	P	D	17	3	2
X	-	2	1	1	2	1	P	I	17	3	2

XI	-	2	1	1	1	1	P	D	16	3	2
XII	-	3	3	3	3	2	I	I	25	3	3
XIII	+	2	1	3	3	1	P	I	18	3	2
XIV	-	3	3	3	2	1	I	I	21	3	3
XV	+	3	2	2	2	1	P	I	20	3	3
XVI	+	2	2	3	3	1	P	I	17	3	2
XVII	-	2	1	3	1	2	P	I	18	3	2

Resultado del análisis de la matriz observamos que los impactos de mayor importancia inducidos en la actividad son:

- Modificación del paisaje.
- Composición de la atmósfera
- Destrucción de la capa vegetal
- Cambios en el régimen hidrológico del agua por ordenamiento del drenaje.

Medidas de prevención y mitigación para los impactos ambientales negativos.

- 1) En el desbroce o destape del yacimiento considerar utilizar una técnica que no implique la inversión del prisma y con ello evitar la pérdida de las potencialidades del mismo para la recuperación de la flora característica.
- 2) Redepositar la capa vegetal acumulada no utilizable desde el punto de vista minero en las áreas aledañas a la explotación, simultáneamente al avance de la explotación del yacimiento, teniendo en cuenta además la medida anterior.
- 3) Mantener un estudio sistemático de las áreas afectadas para analizar la rehabilitación natural o la reconquista de las partes afectadas, por las especies vegetales autóctonas.
- 4) Evitar provocar daños en las áreas colindantes por las acciones de depósito del material no utilizable desde el punto de vista minero u otras acciones.
- 5) Chequear sistemáticamente la organización de los frentes de Cantera y la explotación racional del yacimiento.
- 6) Restaurar el camino adyacente a la explotación, evitando derrumbes en tramos dañados y aplicar una base pétreo en el resto del trazado.
- 7) Implementar una política ambiental la que incluye el programa de Educación Ambiental a los trabajadores de la explotación.
- 8) Reforestar algunas áreas de la concesión minera con el objetivo de mitigar el efecto del polvo a las viviendas que se encuentran en las proximidades de la Concesión.
- 9) Estudio de las posibilidades de utilización de los embalses de agua en la agricultura, acuicultura o en uso minero medicinales.

Previsiones posteriores al cierre definitivo de la obra:

Reforestación del área aledaña a la explotación a través del proyecto contratado al Servicio Estatal Forestal y la ejecución del proyecto se realizará por la Empresa.

La excavación inundada de agua se utilizara en actividades agrícolas como por ejemplo la cría de peces, riego etc., las cuales quedarán definidas después de analizados algunos parámetros como amplitud, profundidad y extensión de la zona de explotación.

Yacimiento Km 13: EMPRESA DE MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN # 4.

El área se encuentra en el Km 13 de la Autopista Nueva Gerona La Fe, al Sur de la Ciudad de Nueva Gerona y a 3 Km al Norte del poblado Santa Fe.

Las coordenadas Lambert del Mapa de República de Cuba 1: 50 000 del área solicitada son las siguientes:

Vértice	Coordenadas	
	X	Y
1	217 270	316 710
2	216 850	316 260
3	217 000	316 000
4	217 290	316 010
5	217 325	316 150
6	217 370	316 220
1	217 270	316 710

El área de la concesión solicitada es de 21,81 ha, con el objetivo fundamental de la extracción de caolín para las producciones de cerámica fina y refractaria, y de ser posible utilizarlo como Ball Clay, según los resultados de la investigación que se realiza.

El yacimiento tiene su origen a partir de la descomposición de la roca primaria esquistosa y su posterior caolinización, se asocia estructuralmente a un monoclinal poco inclinado y considerablemente complicado desde el punto de vista tectónico, estando las rocas metamórficas microplegadas.

El sector solicitado como concesión minera está representado por caolines claros y una zona donde existen caolines blancos en fase de estudio para ser utilizados como Ball Clay.

Tabla Composición química del mineral (crudo):

Composición	%
SiO ₂	49.60
Al ₂ O ₃	35.00
Fe ₂ O ₃	2.11
Ca O	0.90
Mg O	0.45
PPI	12.00

Composición mineralógica: En casi su totalidad está compuesto por mineral caolinita $Al_2O_3(Si_2O_5)$, que en ocasiones se encuentra muy grafitizado y ocretizado.

Objetivos: Extracción de caolín para las producciones de cerámica fina y refractaria, y de ser posible utilizarlo como Ball Clay, según los resultados de la investigación que se realiza.

Las reservas minerales aprobadas por la Oficina Nacional de Recursos Minerales en el área solicitada son de 1 523 900 Tm, divididas en 60 390 Tm como probables y 742 500 Tm como posibles.

En el área se está desarrollando trabajos de investigación en dos direcciones fundamentales:

- Exploración de explotación en el área de reservas calculadas con el objetivo de alcanzar un mayor conocimiento de la misma y precisar su posible utilización como Ball Clay.
- Exploración detallada en el área de afloramiento de caolines blancos, que fueron declaradas como áreas perspectivas en la investigación geológica anterior.

Impactos: se encuentra bastante degradada producto a la extracción de arena y a la actividad de la Empresa Forestal, la cual reforestó el área a finales de 1988 realizando pases de picadora, entre otras labores agrotecnicas destruyendo de esta forma parte de la vegetación y flora naturales del lugar.

Recurso Mineral: Arenas sílices

El yacimiento Buenavista Bloque 2 se encuentra ubicado al noroeste de la Isla de la Juventud a unos 11 Km del poblado La Demajagua. Las coordenadas limítrofes de la concesión de explotación son:

Nº	Coordenadas Norte	Coordenadas Este
1	219900	286990
2	220080	286715
3	220305	286700
4	220425	286860
5	220520	287040
6	220445	287100
7	220100	287300
1	219900	286990

Principales características del yacimiento:

Geológicamente el yacimiento está formado por depósitos del cuaternario que descansan discordantemente sobre la formación cañada, específicamente sobre los miembros Victoria y Loma, perteneciente al complejo metamórfico del piso estructural del jurásico.

El mineral útil del yacimiento son los depósitos aluviales marinos de arena y graba, de composición cuarzosa, arena arcillosa y arcilla arenosa de formación Sigüanea y Camacho, respectivamente. Otros minerales útiles de posible utilización son los minerales pesados (Distena, Estaurolita, Illmenita, Rutilo y Turmalina) que oscilan entre 4 - 6 % en cada muestra con un contenido de Al_2O_3 de 48 - 58 % y un contenido de Fe_2O_3 de 6 - 7 %.

El yacimiento está constituido por arena cuarzosa de dos coloraciones: amarilla y blanca. La granulometría es muy variada desde 64.49 % de arena gruesa hasta 28.37 % de arena fina. Los contenidos de arcilla y materia orgánica son mínimos.

El corte litológico generalizado al yacimiento es:

0.0 - 0.10 m Capa vegetal.

0.10 - 0.80 m Arena blanca de grano medio a grueso, con minerales pesados.

0.80 - 2.00 m Arena amarilla de grano grueso a medio con minerales pesados.

2.00 - 2.20 m Arcilla arenosa o turba.

La arena cuarzosa blanca con minerales pesados se caracteriza por ser una arena de granos medios con una potencia promedio de 1.15 m y ocupa el 68.2 % de todo el yacimiento.

La arena cuarzosa amarilla con los mismos minerales pesados se caracteriza por ser una arena generalmente gruesa y con una potencia promedio aproximadamente de 2.05 m y ocupa el 31.8 % de todo el yacimiento.

Los granos de los dos tipos de arenas son subredondeados e irregulares. La porosidad de las arenas oscila entre 45 – 52%.

La composición química es la siguiente:

Arena	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	SO_3
Blanca	94.93	0.28	3.04	0.21	Menor de 0.5
Amarilla	92.31	0.86	5.17	0.24	Menor de 0.5

El mineral es utilizado en: metalurgia, sand - blasting, ferro- cemento, filtro de agua, cerámica, corte de mármol y en la construcción.

Reservas aprobadas por la autoridad minera.

Las reservas aprobadas al cierre del año 1995 por el Instituto Nacional de Recursos Minerales son:

Arena para la construcción: 522.57 Mm³ en categoría probable.

Arena de usos especiales: 1002.83 MTM en categoría probable.

Geomorfología: Por lo general es un relieve llano, y se localiza en la llanura ondulada que prácticamente ocupa la región norte de la Isla y que por su génesis pertenece a las formas acumulativas, dentro de la morfoestructura septentrional. Dentro de la regionalización geográfica, forma parte del subdistrito de llanuras y alturas del Norte (Acevedo, 1990)



Calidad del agua: El agua subterránea en toda esta área se clasifica como agua bicarbonatada – cálcica.

Hidrográficamente, la región se caracteriza por la presencia y algunos arroyos. Las aguas pluviométricas están estrechamente unidas a la alimentación de los ríos. Estos descargan sus aguas al mar o en lagunas costeras e interiores. Básicamente el suministro de sus aguas es de origen pluvial aumentando sus cauces en el período húmedo, secándose en los meses de período seco (noviembre - abril). El escurrimiento se efectúa a través de numerosas cañadas con gastos máximos en las épocas de lluvias. De los recursos hídricos del área podemos citar: Arroyo los Pinos

Los suelos: Son eminentemente arenosos con una capa vegetal de hasta 10 cm, con perfil poco desarrollado a causa de la relativa juventud de las formaciones geológicas y del clima. La capa freática puede fluctuar estacionalmente pero generalmente se encuentra cerca de la superficie, con mal drenaje: Suelos de topografía llana sin salida del agua, de poca profundidad efectiva, con un pH ácido y un contenido de materia orgánica muy bajo; resultado a las arcillas impermeables las que se encuentran cercanas de la superficie.

Flora y Vegetación: El área es una sabana arenosa y arcilla cubierta de palmas barrigonas, (*Colpotrinx wrightii*) y pinos (*P. tropicalis*) en el estrato arbóreo, un estrato arbustivo con una mayor presencia de peralejo (*Byrsonima crassifolia*) y rompe ropas (*Tabebuia sp.*), encontrándose además el hicaco (*Crisobalanum icaco*). La mayor diversidad de especies se localiza en el estrato herbáceo, donde aparece además la mayor cantidad de endémicos.

Dentro de esta sabana existen bolsones de arena sílice de mayor pureza donde la fisonomía de la vegetación cambia, aumentando el nivel de endemismo.

En zonas donde existió la explotación minera y en la actualidad, se observan el desarrollo de especies exóticas (sinántropicas), con predominio de gramíneas, entre otras, propias de suelos alterados, así como de especies adaptadas a soportar mayores niveles de humedad (palustres) dada la proximidad del manto freático, existiendo la posibilidad en la primavera de que se produzcan zonas de inundación en dependencia de la profundidad de la extracción y la altura del manto freático.

Para las áreas aun no degradadas, se reportan 52 plantas endémicas, de las cuales nueve son exclusivas de la Isla, 30 son del sector Cuba Occidental y el resto tiene una distribución más amplia.

Fauna: Los estudios de la fauna del área que se poseen, no son muy profundos, debido a la poca sistematicidad de los mismos en el lugar. Considerando que la actividad provoca afectaciones irreversibles al suelo, trae aparejado con ello la destrucción del hábitat de numerosas especies compuestas en lo esencial de artrópodos, reptiles y anfibios.

La especies más conspicuas pertenecen a las aves, reportándose la existencia de al menos 72 especies las cuales utilizan el lugar preferentemente para el descanso, el anidamiento y la búsqueda de alimento. Se destacan dentro de ellas las cotorras (*Amazona leucocephala* L.) y la grulla (*Grus canadensis* n.), las que además de ser endémicas, entre otras, con ellas se lleva todo un programa de conservación desde años atrás con el fin de aumentar sus poblaciones.

Medio Socio Económico: La zona se ubica aproximadamente a 12 Km del poblado La Demajagua y a 500 m de la playa Buenavista, la cual en tiempos de verano sirve de disfrute de la población demajaguense.

Objetivos de la concesión minera:

Extracción de arena amarilla para su uso en la construcción, extracción de arena blanca para su uso en metalurgia, limpieza de los cascos de los buques, filtro de agua, fundición de los cascos de los barcos ferro-cemento y corte del mármol.

Los estudios para la explotación del yacimiento comenzaron en el año 1968 con el auge del desarrollo minero al triunfo de la Revolución, posteriormente fue objeto de estudios para delimitar áreas de explotación, profundidad óptima, cálculo de reservas, etc. Después de estos años de explotación el área presenta lagunas artificiales, depresiones, túmulos y ausencia de vegetación en algunas áreas; Producto a la extracción del estrato superior de la arena y consiguiente cambio del nivel de las aguas subterráneas, indiscutiblemente ha cambiado el valor de las variables microclimáticas, como es la capacidad de reflejar los rayos solares y la composición química,

problema este que impide el restablecimiento total de la vegetación. En el vial realizado para facilitar la transportación y la explotación del mineral se ha establecido una flora sinantrópica típica y solo ha logrado sobrevivir la vegetación que se ha establecido en las elevaciones y montículos. La Empresa Forestal ha realizado en las zonas aledañas, acciones de reforestación por lo que sí se realiza un plan de reforestación adecuado en la zona de explotación, los impactos sobre la vegetación serán reversibles, debido a las condiciones del suelo y la geomorfología del lugar. Los impactos sobre la fauna ocurren indirectamente por los cambios en la vegetación y en el suelo que provocan la destrucción del hábitat y con ello la migración de estas especies hacia otras zonas, proceso que esta influido también por el ruido que ocasiona el transporte automotor.

Podemos concluir que el estudio de los impactos a ocasionar por la actividad extractiva ya se ven reflejados en la zona por lo que se hará énfasis en las medidas mitigadoras de estos en los frentes que se abandonen y después del cierre de mina.

Fase de explotación: Durante este período se pueden distinguir los siguientes tipos de acciones impactantes

Extracción Minera

- I. Cambios geomorfológicos del terreno. Alteración del relieve y estética del paisaje
- II. Pérdida de especies: Considerando a aquellas especies asociadas directamente al suelo.
- III. Alteraciones de la cubierta vegetal, además de la modificación del hábitat
- IV. Cambios en las comunidades vegetales: Cambios en la naturaleza del terreno una vez extraído el material que provocan la introducción de especies exóticas y la pérdida del potencial genético natural del área.
- V. Deforestación del área minera.
- VI. Excavaciones 1 a 3 metros de profundidad.
- VII. Deterioro de los viales.
- VIII. Volúmenes de polvo que se generan producto a la actividad de transporte, carga y extracción del mineral.
- IX. Contaminación de las aguas superficiales por arrastre y deposición de las arenas en los cursos de aguas.
- X. Aumento del nivel de ruido por la actividad minera.
- XI. Posibilidades de empleo producto a la actividad
- XII. Cambios en el régimen hidrológico por ordenamiento del drenaje.
- XIII. Reforestación
- XIV. Ampliación del comercio y la Industria de Materiales de la Construcción
- XV. Siembra de hortalizas y vegetales propias del tipo de suelo (autoconsumo)

Fase de abandono

- XVI. Reforestación
- XVII. Restablecimiento del régimen natural de las aguas del arroyo interno
- XVIII. Restablecimiento del suelo

Actividades inducidas

- Presencia y mantenimiento de viales
- Repoblación forestal
- Presencia de líneas eléctricas
- Autoabastecimiento

Para la identificación y evaluación de los impactos utilizamos el Método de las Matrices de Leopold. 1971

Matriz de identificación de impactos: Las matrices usadas para la identificación de impactos están constituidas por una lista de actividades precisas para el desarrollo de la actividad minera, la cual se enfrenta en una tabla de doble entrada, a otra lista de los componentes ambientales, económicos y los impactos producidos por la actividad. Se forma así una matriz que puede usarse para la detección de las relaciones causa – efectos.

➤ Actividades

- f) Cúmulos de arena y capa vegetal
- g) Explotación minera (frentes de explotación a cielo abierto)
- h) Deposición de arenas de la explotación
- i) Autoconsumo
- j) Transporte
- k) Reforestación

➤ Componentes ambientales

- F. Procesos geofísicos
- G. Atmósfera
- H. Agua
- I. Suelos
- J. Vegetación
- K. Fauna
- L. Paisajes
- M. Económicos y social

Como puede observarse en la matriz de identificación de impactos los componentes naturales y sociales más afectados son:

Contaminación de la atmósfera, alteración del paisaje y la estética, destrucción de la cubierta vegetal y la deforestación.

La evaluación del impacto ambiental provocado por cualquier actividad obliga al cumplimiento de una serie de etapas constituidas por la identificación de impactos, predicción y la Evaluación de los mismos. Se le asigna un valor cuantitativo a las acciones del proyecto de explotación minera como también a los componentes del medio ambiente (elementos y procesos)

Para la valoración de los impactos se utilizarán los siguientes indicadores:

- J. Carácter del impacto: Se define como positivo o negativo
- K. Magnitud: refleja el área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto
- L. Alcance: refleja el grado de incidencia de la acción de la explotación minera sobre el medio
- M. Plazos: refleja el plazo de manifestación del tiempo que transcurre entre la acción y el comienzo del efecto
- N. Persistencia: El tiempo que permanecerá el efecto desde su aparición a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales
- O. Reversibilidad del efecto: Posibilidad de reconstrucción del factor afectado por la actividad por medios naturales una vez que la acción deje de actuar sobre el medio
- P. Posibilidad de introducir medidas mitigadoras
- Q. Tipos de impactos: Pueden ser directos o indirectos, se refiere a la relación causa –efecto.
- R. Importancia del impacto: Es el indicador mediante el cual se mide cualitativamente el impacto en función de la intensidad de la alteración producida así como la caracterización del efecto que se corresponde a una serie de atributos de tipo cualitativo.
- S. Proximidad de la fuente
- T. Tendencia: Regularidad de manifestación del efecto

Matriz de valoración de impactos inducidos por la actividad de extracción de la arena.

IMPACTOS	INDICADORES										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
I	-	3	2	3	3	2	P	D	22	3	2
II	-	2	1	2	1	2	P	D	16	3	1
III	-	3	2	4	3	2	I	D	25	3	3
IV	-	2	2	2	2	2	P	I	16	3	2
V	-	3	2	2	2	2	P	D	19	3	1
VI	-	3	2	4	4	4	I	D	27	3	3
VII	-	1	2	3	3	3	P	I	17	3	2
VIII	-	3	2	1	1	1	P	I	13	3	2
IX	-	2	2	1	1	1	P	D	16	3	2
X	-	1	1	2	2	1	P	I	12	3	2
XI	+	3	1	2	2	1	P	D	18+	3	2
XII	-	3	3	2	2	2	P	I	18	3	3
XIII	+	3	2	2	2	1	P	I	15+	3	2
XIV	+	3	3	3	3	2	P	I	20+	3	3
XV	+	3	1	2	2	2	P	I	16	3	3

Resultado del análisis de la matriz observamos que los impactos de mayor importancia inducidos en la actividad son:

- Modificación del paisaje.
- Deforestación
- Composición de la atmósfera
- Destrucción de la capa vegetal
- Cambios en el régimen hidrológico del agua por ordenamiento del drenaje.
- Socio económico (IMPACTOS POSITIVOS)

Medidas de prevención y mitigación para los impactos ambientales negativos

- 1) En el desbroce o destape del yacimiento considerar utilizar una técnica que no implique la inversión del prisma y con ello evitar la pérdida de las potencialidades del mismo para la recuperación de la flora característica.
- 2) Deposición de la capa vegetal acumulada no utilizable desde el punto de vista minero en las áreas aledañas a la explotación y que pertenecen a la concesión minera, simultáneamente al avance de la explotación del yacimiento, teniendo en cuenta además la medida anterior.
- 3) Mantener un estudio sistemático de las áreas afectadas para analizar la rehabilitación natural o la reconquista de las partes afectadas, por las especies vegetales autóctonas.
- 4) Evitar provocar daños en las áreas colindantes por las acciones de depósito del material no utilizable desde el punto de vista minero u otras acciones.
- 5) Organización de los frentes de cantera y explotación racional del yacimiento.
- 6) Mantener y restaurar en caso necesario el camino hacia la explotación, evitando derrumbes en tramos dañados y aplicar una base pétreo en el resto del trazado.
- 7) Implementar una política ambiental la que incluye el programa de Educación Ambiental a los trabajadores de la explotación.
- 8) Reforestar algunas áreas de la concesión minera con el objetivo de mitigar el efecto del polvo a las viviendas que se encuentran en las proximidades de la Concesión.
- 9) Aplicar medidas de mejoramiento de los suelos, evitando las cárcavas que se producen a la orilla del camino
- 10) Construcción de obras ingenieras de menor envergadura (puentes, alcantarillas, desagües etc.) en las zonas de paso de arroyos, cauces u otras zonas de escorrentías por la que transiten los equipos de traslado de la arena

- 11) Hacer las coordinaciones necesarias con distintas empresas para el aprovechamiento de los recursos vegetales presentes en la zona a desmontar como pueden ser pinos, orquídeas, cactus, etc.
- 12) Realizar un monitoreo sistemático de la fauna con énfasis especial en las aves.

Buena Vista: el área presente también lagunatos artificiales, depresiones, túmulos, ausencia de vegetación. Producto a la extracción del estrato superior de arena y consiguiente cambio del nivel de las aguas subterráneas, indiscutiblemente ha cambiado el valor de las variables micro climático como la capacidad de reflejar los rayos solares y la composición química, problema este que impide seguramente el restablecimiento total de la vegetación existente antes de la explotación de las arenas.

En el camino abierto para facilitar la explotación se ha establecido una flora sinantropica típica, y el área a sido contaminada por el petróleo con que trabajan los equipos y el polvo que en periodo de seca levantan los mismos en su movimiento por el área. Solo a logrado sobrevivir la vegetación que se ha establecido en las elevaciones y montículos.

Recurso Mineral: Carbonato de Calcio

Yacimiento Cayo Piedra: EMPRESA DE MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN # 4

Aspectos generales del medio natural y socioeconómico del área donde se desarrolla la actividad.

La región sur se considera una llanura cársica. Son evidentes las manifestaciones cársicas correspondientes al carso tropical de las llanuras costeras ondulares. Presenta formas cóncavas, corrosivas y sufosivas. Se pueden encontrar lacustres, valles consecuentes y cársicos fluviales.

Esta área dada su insularidad y su ubicación al sur de Cuba, da lugar a que sus condiciones climáticas posean rasgos particulares expresados en la poca influencia que ejercen sobre ella los frentes fríos en la temporada invernal y la marcada acción de los vientos del sur en el periodo de la primavera, durante esta ultima estación es donde se aprecia cierta inestabilidad del mar y una alta turbulencia de las aguas.

Los cambios del declive por la elevación del relieve ha provocado que los ríos de la zona norte desemboquen en la Ciénaga de Lanier, caracterizándose la hidrografía por la ausencia de corrientes superficiales, así como un escurrimiento superficial nulo. El drenaje se realiza a través de una densa red cársica. Abundan las aguas subterráneas que afloran a la superficie en algunos lugares lo que evidencia que el nivel del manto freático es alto. Todas estas características influyen en que sus costas sean bañadas por aguas de transparencia indescriptibles.

Los suelos son poco evolucionados, poco profundos y formados sobre rocas calcáreas duras. Anualmente se enriquecen con gran cantidad de residuos orgánicos aportados por la vegetación. El pH es alcalino. Es notable la alta concentración de carbonato de calcio. El color de los mismos es pardo o rojo con una textura arcillosa. Son suelos de alta fertilidad pero de muy baja potencia. La clasificación de estos suelos es: Gley cenagosos ricos en turba y suelos calizos (pardos, rojos y humificados) del tipo redzina.

Desde el punto de vista geológico (según estudios realizados por Franco, G. y De la Torre A. (1980); la edad geológica está comprendida entre los periodos Plioceno Superior al Holoceno formado por calizas masivas de formación Punta del Este, calcarenitas margosas fosilífera de formación Cayo Piedra, biocalcarenitas oolíticas de formación Cocodrilo, calcarenitas y calizas detríticas de formación Jaimanita y por depósitos no consolidados del Holoceno.

El relieve del territorio es llano perteneciente a una extensa llanura cársica que su altura fluctúa de 3 a 9 m s.n.m, sobresaliendo Punta Seboruco Alto los restos de una antigua terraza de 10 a 16 m de altura, así como única elevación el Cerro Caudal compuesta por mármoles y esquistos de edad Jurásico que contrastan significativamente con el resto del territorio, de edad Plioceno- Holoceno testigo residual de tipo Mendip de 40 m de altura (Franco, G., Comunicación Personal- 1988).

El bosque semideciduo es la formación vegetal predominante en toda el área, distinguiéndose en diferentes alturas que permiten clasificarlos en: mesofilos alto y medios; semideciduos bajos y microfilos.

Matorral: Formados por arbustos y árboles pequeños caducifolios, mayormente esclerofilos, microfilos y pocos elementos espinosos presentes en calizas costeras. Podemos plantear por diferencias fisonómicas que se advierten en esta formación, tres tipos de matorrales: bajo, alto y subcostero.

Debe señalarse que en toda el área del sur se observa una marcada alternancia en la altura de las formaciones arbóreas y arbustivas, presentándose bosques semideciduos o matorrales, lo cual se hace muy evidente en la carretera a Punta del Este.

Vegetación de costa rocosa: Vegetación rupícola, de matorral bajo halofilo, formado por especies arbustivas deformadas.

Bosque de ciénagas: Bosque inundado casi todo el año por aguas dulces y salobres. Suelo frecuentemente gleizado.

Fauna: En ella se destacan por su diversidad y grado de endemismo algunos grupos como son:

Los crustáceos están representados por 6 familias: Xanthidae, Portunidae, Ganeplacidae, Majidae, Gropocidae, Oromiidae, con aproximadamente trece especies.

Existen además peces de aguas dulces asociados a las cacimbas y lagunas costeras que permiten su uso para la observación de esta fauna típica como es el caso de Laguna de Alvariño ubicada en la Caleta de Carapachibey.

Moluscos terrestres de los que se reportan al menos 23 formas con dos formas endémicas propias de esta localidad.

Los reptiles están representados por varias especies dentro de las que se encuentran varias subespecies, desde finales de la década del 70 radica en el poblado de Cocodrilo un centro para la cría de quelonios.

La avifauna cubana esta bien representada, encontrándose especies relevantes desde el punto de vista científico, biológico, estético y cinegético presentes en 52 especies que se clasifican como residentes locales.

Encontramos además una rica fauna de reptiles (20 especies reportadas) con seis subespecies endémicas de la localidad.

Los mamíferos aparecen representados por la presencia de los caprómidos (3 especies) descritas dentro de las especies de mayor talla para Cuba. Es posible observar en las costas al manatí especie protegida. Además se reportan especies de murciélagos; y otras introducidas.

Área de concesión: Concesión minera de explotación: 32,78 ha

UBICACIÓN DEL YACIMIENTO: El Yacimiento Cayo Piedra y su planta procesadora se encuentran ubicadas a 18 Km al sur del poblado Santa Fe, en la carretera que une el poblado de Santa Fe, Julio A. Mella con la zona Punta del Este.

Las coordenadas Lambert de los límites de la concesión minera de explotación son:

Pto No	Coordenadas	
	X	Y
1	318 270	195 920
2	318 200	196 300
3	319 200	196 100
4	319 200	195 800
1	318 270	195 920

Características principales del Yacimiento: El depósito mineral está representado fundamentalmente por rocas carbonatadas. Se caracteriza por su yacencia casi horizontal y dentro del complejo del piso estructural del Neógeno. Estratigráficamente el yacimiento está compuesto por rocas carbonatadas sin que se aprecien diferencias litológicas muy marcadas.

La litología del yacimiento es el siguiente:

- Calizas organógenas redepositadas de color blanco crema con nódulos interiores de calizas alteradas cementadas por un material carbonatado de color blanco y crema, con abundante fauna, representada fundamentalmente por moluscos (potencia 3-6 m)
- Calizas cavernosas organógenas de color blanco, con fragmentos de calizas microcristalina muy compacta (potencia de 2-6 m)
- Material arcilloso – arenoso con intercalaciones de capas de calizas del Jurásico (potencia decenas de metros)
- Mármol cuarcífero de estructura cristaloblástica y textura esquistosa. Aparecen pequeños cristales de pirita, producto del metamorfismo de las calizas. (a la profundidad de 41 m)

El yacimiento está ubicado en una zona de relieve llano, donde la cota máxima es de 3,65 m, existiendo además cavernas de diferentes profundidades.

La estructura es simple con un buzamiento suave.

Las características principales del mineral son:

Composición química

$\text{CaCO}_3 = 95,97 \%$

$\text{MgCO}_3 = 0,30 \%$

$\text{Fe}_2\text{CO}_3 = 0,58 \%$

$\text{SiO}_2 = 2,70 \%$

$\text{CaO} = 43,45 \%$

PPI = 43,45 %

Dureza = 6

Peso volumétrico = $1,56 \text{ t} / \text{m}^3$

Granulometría

Tamices mm	% pasado
9,52	100
4,76	96
1,19	79
0,59	65

Descripción de la actividad

Extracción del carbonato de calcio semiamorfo y procesamiento para la producción de carbonato de calcio para la agricultura como reguladora del Ph y como recebo para la construcción.

Trabajos de investigación y proyecciones pendientes:

Exploración de explotación para elevar el grado de conocimiento de la reserva (plazo de ejecución)

Proyección de esquema tecnológico de explotación minera

Las reservas aprobadas por la Oficina de Recursos Minerales en el yacimiento al cierre del año 1995 son de 18 478 870 Tm de carbonato de calcio en categorías posibles. De este volumen se solicita como concesión minera un volumen de 265 122 Tm con el objetivo de elevar su categoría mediante una exploración de explotación.

Principales indicadores Técnico - económico en la explotación minera:

Potencia de destape = 0,58 m

Potencia del mineral = 7,58 m

Potencia de extracción total = 1,50 hasta 2,00 m

Caracterización del estado de la calidad atmosférica y del uso del suelo y del agua.

La calidad atmosférica no es posible de determinar ya que no se cuenta en el municipio con los instrumentos para su evaluación, sin embargo la explotación de la caliza provoca por la actividad de extracción, carga y transporte de la misma volúmenes de polvo, los cuales no son posibles de cuantificar. En la zona no se encuentran poblaciones a las que afecte el volumen de polvo de la actividad, observándose que los daños se ejercen a la flora y la fauna del área.

El suelo poco desarrollado de la zona no es posible rescatar, ya que para la extracción es necesario el desmonte del área extractiva. El agua no es utilizada para la extracción.

Identificación y descripción de los impactos ambientales que se prevé ocasionar.

La identificación y evaluación de los impactos requiere conocer previamente los componentes del medio donde se desarrolla la actividad y las acciones derivadas de esta capaces de producir modificaciones a los mismos, sin embargo los impactos a ocasionar por la actividad extractiva ya se ven reflejados en la zona ya que la extracción data desde el año por lo que se hará énfasis en las medidas mitigadoras de estos en los frentes que se abandonen y después del cierre de mina.

Para el análisis se identificaron sólo aquellas acciones consideradas significativas, o sea, que producen algún efecto importante, en tres grados de veracidad: cierto, probable y poco probable. Esta identificación se realizó por diferentes métodos, tales como: consulta a expertos; listas de chequeo; observación y matrices.

Las etapas identificadas fueron: desmonte, extracción, transporte y abandono. En este contexto se reconocen las siguientes acciones:

1ra etapa: contratación de la mano de obra; tala; deposición del relleno.

2da etapa: extracción del mineral por la maquinaria minera (bulldozer y excavadora)

3era etapa: Transporte del mineral a la planta trituradora – molienda- secado

La actividad de procesamiento del mineral será estudio aparte y está incluida en la solicitud de Licencia Ambiental de la misma.

4ta etapa: abandono

De estas acciones, las susceptibles de provocar impactos que se utilizarán en las matrices son las siguientes:

Etapas de instalación:

Contratación de mano de obra

Tala

Construcción de un terraplén de acceso

Etapas de extracción:

Contratación de la mano de obra

Funcionamiento de las máquinas excavadora y bulldozer

Etapas de Transporte

Carga y Transporte del mineral a la planta trituradora – molienda- secado

Etapas de abandono

Rehabilitación del área

Este análisis presupone la identificación de los elementos y procesos, que se afectan o surgen vinculados con las acciones del proyecto y que se desarrollan en los siguientes subsistemas: abiótico, biótico, socioeconómico y perceptual. Entre los factores ambientales naturales y socioeconómicos que serán impactados por las acciones identificadas se encuentran los siguientes:

Abióticos:

Relieve: Morfología, Erosión, Sedimentación, Inestabilidad

Atmósfera: Calidad del aire, Nivel de ruidos

Agua: Calidad del agua subterránea

Bióticos:

Vegetación y Flora: Especies y Comunidades

Fauna: Especies y Comunidades

Perceptual:

Paisaje: Estética del paisaje

Socioeconómico:

Viales

Fuerza de trabajo: Empleo

Industria y Comercio

Identificación de impactos

Para la identificación de impactos se analizaron otros EIA de proyectos similares. Se realizó una amplia consulta bibliográfica y la interpretación de fotografías aéreas y mapas.

Para la identificación y evaluación de los impactos utilizamos el Método de las Matrices de Leopold. 1971

Matriz de identificación de impactos: Las matrices usadas para la identificación de impactos están constituidas por una lista de actividades precisas para el desarrollo de la actividad minera, la cual se enfrenta en una tabla de doble entrada, a otra lista de los componentes ambientales, económicos y los impactos producidos por la actividad. Se forma así una matriz que puede usarse para la detección de las relaciones causa – efectos.

Como resultado del análisis de las acciones sobre los factores ambientales se identificaron los siguientes impactos:

ETAPA DE INSTALACIÓN

Al relieve:

1- Modificación del relieve por extracción de sedimentos

2- Modificación del relieve debido al relleno y su compactación

Al suelo:

3- Cubrimiento del suelo natural por el relleno de áreas

A la calidad del aire:

4-Contaminación por la emisión de gases de combustión interna de vehículos y maquinarias, así como por el polvo

5-Aumento del nivel de ruido por el uso de la maquinaria y vehículos automotores

A la hidrología y la calidad del agua:

6- Afectación del escurrimiento subterráneo como consecuencia de las barreras físicas creadas

A la vegetación y la flora:

7- Eliminación de la cobertura vegetal en las áreas desmontadas

A la fauna:

8- Afectación a la fauna terrestre por incremento de los niveles de presencia humana, ruido, así como por la creación de barreras físicas y la degradación focal del hábitat.

9- Obstrucción de las cavernas y otras formas del carso.

A la estética del paisaje:

10- Alteración de los valores estéticos de los paisajes

11- Generación de residuales sólidos

Al uso de la tierra:

12- Cambio en el uso de la tierra

A los viales:

13- Mejoramiento e incremento de la red vial

A la fuerza de trabajo:

14- Contratación temporal de fuerza de trabajo

15- Afectación a los trabajadores por niveles de ruido alto y pérdida de la calidad del aire

A la actividad financiera:

16- Obtención de ingresos

ETAPA DE EXTRACCIÓN:

A los suelos:

1- Pérdida de la capa vegetal

A la estética del paisaje:

2- Alteración de los valores estéticos de los paisajes

3- Generación de residuales sólidos

A la calidad del aire:

2- Aumento del nivel de ruido por el funcionamiento de equipos

3- Contaminación por emisión de gases de combustión interna, maquinarias

A la calidad del agua:

6- Posible contaminación de las aguas por el vertimiento accidental de residuales

A la fauna:

7- Afectación a la fauna terrestre por posible contaminación del suelo, del aire y del agua, así como por el aumento de la presencia humana, los ruidos, y la degradación focal del hábitat

A la fuerza de trabajo:

8- Contratación de fuerza de trabajo

9- Afectación a la salud de los trabajadores por niveles altos de ruido y polvo.

A la actividad financiera:

13- Incremento de las inversiones

ETAPA DE TRANSPORTE

A la calidad del aire:

1-Contaminación del aire

A la fauna:

2- Afectación a la fauna terrestre, fundamentalmente las aves por posible contaminación del aire

A la fuerza de trabajo:

3- Contratación temporal de fuerza de trabajo

A los viales:

4- Deterioro de los viales por circulación de equipos pesados

ETAPA DE ABANDONO

A los suelos:

1- Recuperación parcial de las condiciones pedogenéticas

A la calidad del aire:

2- Mejoramiento gradual de la calidad del aire una vez concluida la explotación

A la vegetación:

3- Recuperación parcial de las condiciones ecológicas favorables para el desarrollo de la vegetación

A la fauna:

4- Recuperación parcial de las condiciones ecológicas favorables para el restablecimiento de la fauna

A la estética del paisaje:

5- Mejoramiento de la estética del paisaje

Al uso de la tierra:

6- Cambio en el uso de la tierra

Se puede concluir que los impactos producidos por las diferentes Etapas son:

- XIX. Cambios geomorfológicos del terreno. Alteración del relieve y estética del paisaje
- XX. Pérdida de especies: Considerando a aquellas especies asociadas directamente al suelo.
- XXI. Alteraciones de la cubierta vegetal, además de la modificación del hábitat
- XXII. Cambios en las comunidades vegetales: Cambios en la naturaleza del terreno una vez extraído el material que provocan la introducción de especies exóticas y la pérdida del potencial genético natural del área.
- XXIII. Deforestación del área minera.
- XXIV. Excavaciones.
- XXV. Deterioro de los viales.
- XXVI. Volúmenes de polvo que se generan producto a la actividad de transporte, carga y extracción del mineral.
- XXVII. Contaminación de las aguas subterráneas
- XXVIII. Cambios en el régimen hidrológico por ordenamiento del drenaje.
- XXIX. Aumento del nivel de ruido por la actividad minera.
- XXX. Posibilidades de empleo producto a la actividad
- XXXI. Reforestación
- XXXII. Ampliación del comercio y la Industria de Materiales de la Construcción
- Fase de abandono
- XXXIII. Reforestación
- XXXIV. Restablecimiento del régimen natural de las aguas del arroyo interno
- XXXV. Restablecimiento del suelo
- Actividades inducidas
 - Presencia y mantenimiento de viales
 - Repoblación forestal
 - Presencia de líneas eléctricas

Como puede observarse en la matriz de identificación de impactos los componentes naturales y sociales más afectados son:

Alteración del paisaje y la estética, destrucción de la cubierta vegetal, el suelo, la deforestación y Contaminación de la atmósfera

EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS

La evaluación del impacto ambiental provocado por cualquier actividad obliga al cumplimiento de una serie de etapas constituidas por la identificación de impactos, predicción y la Evaluación de los mismos. Se le asigna un valor cuantitativo a las acciones del proyecto de explotación minera como también a los componentes del medio ambiente (elementos y procesos)

Para la valoración de los impactos se utilizarán los siguientes indicadores

Carácter del impacto: Se define como positivo o negativo

Magnitud: refleja el área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto

Cuando el impacto es positivo, se refiere al grado de cambio cuantitativo o salto cualitativo que ocasionará sobre el factor.

La magnitud del impacto se refiere al grado de modificación que se provocará sobre el factor ambiental. O sea, el 3 significa la pérdida casi total de la calidad del factor en el caso que sea negativo. Cuando es positivo significa la creación de altos valores de calidad en el factor.

(0) Despreciable (1) Bajo (2) Medio (3) Alto

Alcance: refleja el grado de incidencia de la acción de la explotación minera sobre el medio

Escala o proporción máxima del efecto con relación al entorno no considerado.

(1) Local (2) Municipal (3) Provincial (4) Nacional (5) Regional (6) Global

Plazos: refleja el plazo de manifestación del tiempo que transcurre entre la acción y el comienzo del efecto

(3) Inmediato (2) Mediato (1) Largo

Persistencia: El tiempo que permanecerá el efecto desde su aparición a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales

(1) Temporal (2) Medio (3) Permanente

Reversibilidad del efecto: Posibilidad de reconstrucción del factor afectado por la actividad por medios naturales una vez que la acción deje de actuar sobre el medio.

(4) Irreversible (3) 0 a 30% (2) 30 a 50% (1) mayor de 50%

Posibilidad de introducir medidas mitigadoras.

Tipos de impactos: Pueden ser directos o indirectos, se refiere a la relación causa –efecto.

Importancia del impacto: Es el indicador mediante el cual se mide cualitativamente el impacto en función de la intensidad de la alteración producida así como la caracterización del efecto que se corresponde a una serie de atributos de tipo cualitativo.

Importancia = 3 (magnitud) + 2 (extensión) + alcance + plazo en que aparece + duración + reversibilidad.

Proximidad de la fuente.

Tendencia: Regularidad de manifestación del efecto

Por lo tanto, el resultado final de la evaluación se expresó por el carácter del impacto y el valor de la importancia del mismo.

Matriz de valoración de impactos inducidos por la actividad de extracción de la arena.

IMPA CTOS	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
I	-	2	2	3	2	1	P	I	19	3	2
II	-	2	1	2	2	1	P	I	17	3	1
III	-	3	3	3	3	2	I	D	26	3	3
IV	-	2	2	2	2	1	P	I	18	3	2
V	-	3	2	2	2	1	P	D	19	3	1
VI	-	3	3	3	3	2	I	D	26	3	3
VII	-	1	1	2	2	1	P	I	16	3	2
VIII	-	2	2	1	1	1	P	I	16	3	2
IX	-	3	1	1	2	1	P	D	17	3	2
X	-	2	1	1	2	1	P	I	17	3	2
XI	-	2	1	1	1	1	P	D	16	3	2
XII	-	3	3	3	3	2	I	I	25	3	3
XIII	+	2	1	3	3	1	P	I	18	3	2
XIV	-	3	3	3	2	1	I	I	21	3	3
XV	+	3	2	2	2	1	P	I	20	3	3
XVI	+	2	2	3	3	1	P	I	17	3	2
XVII	-	3	2	3	3	2	P	I	22	3	2

Resultado del análisis de la matriz observamos que los impactos de mayor importancia inducidos en la actividad son:

- Modificación del paisaje.
- Deforestación
- Composición de la atmósfera
- Destrucción de la capa vegetal
- Socio económico (IMPACTOS POSITIVOS)

Medidas de prevención y litigación para los impactos ambientales negativos

- 1) En el desbroce o destape del yacimiento considerar utilizar una técnica que no implique la inversión del prisma y con ello evitar la pérdida de las potencialidades del mismo para la recuperación de la flora característica.
- 2) Deposición de la capa vegetal acumulada no utilizable desde el punto de vista minero en las áreas aledañas a la explotación y que pertenecen a la concesión minera, simultáneamente al avance de la explotación del yacimiento, teniendo en cuenta además la medida anterior.
- 3) Mantener un estudio sistemático de las áreas afectadas para analizar la rehabilitación natural o la reconquista de las partes afectadas, por las especies vegetales autóctonas.
- 4) Evitar provocar daños en las áreas colindantes por las acciones de depósito del material no utilizable desde el punto de vista minero u otras acciones.
- 5) Organización de los frentes de cantera y explotación racional del yacimiento.
- 6) Mantener y restaurar en caso necesario el camino hacia la explotación, evitando derrumbes en tramos dañados y aplicar una base pétreo en el resto del trazado.
- 7) Implementar una política ambiental la que incluye el programa de Educación Ambiental a los trabajadores de la explotación.
- 8) Reforestar algunas áreas de la concesión minera con el objetivo de mitigar el efecto del polvo a las viviendas que se encuentran en las proximidades de la Concesión.
- 9) Hacer las coordinaciones necesarias con distintas empresas para el aprovechamiento de los recursos vegetales presentes en la zona a desmontar como pueden ser pinos, orquídeas, cactus, etc.
- 10) Realizar un monitoreo sistemático de la fauna con énfasis especial en las aves y reptiles.

Previsiones posteriores al cierre definitivo de la obra:

Reforestación del área aledaña a la explotación a través del proyecto contratado al Servicio Estatal Forestal y la ejecución del proyecto se realizará por la Empresa.

Las excavaciones son restaurarán para su utilización en actividades agrícolas como por ejemplo la siembra de melones, pepinos etc., las cuales quedarán definidas después de analizados algunos parámetros como amplitud, profundidad y extensión de la zona de explotación.

Recurso mineral: Arcillas

Explotación del Yacimiento Los Colonos II: EMPRESA DE MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN # 4.

Aspectos generales del medio natural y socioeconómico del área donde se desarrolla la actividad.

El yacimiento se encuentra ubicado a 1.5 Km al Noroeste de la Ciudad de Nueva Gerona, en la margen derecha de la carretera que une la ciudad de Nueva Gerona, con el poblado de Ciro Redondo, las coordenadas limítrofes de la concesión minera son:

COORDENADAS		
No. Punto	X	Y
1	311 300	231 100
2	311 250	231 200
3	311 600	231 250
4	311 600	231 150

1 311 300 231 100

La zona donde se ubica el yacimiento está constituida por sedimentos, arena- arcillosas y arcillo-arenosos eluviales, deluviales, producto de la intemperización de los esquistos metamórficos del Jurásico Medio y Superior. Las rocas subyacentes lo constituyen los esquistos intemperizados con mica. Un aspecto característico es que su composición granulométrica es variable, tanto en espesor como en extensión en las diferentes capas.

Las rocas que más comúnmente se pusieron en evidencia en los trabajos de búsqueda y exploración fueron los sedimentos, arena- arcilloso, arcillo arenoso y en menor proporción arenas, los cuales se encuentran depositados sobre los esquistos micáceos y cuarzosos intemperizados del Jurásico Superior.

La columna litológica típica del yacimiento se comporta de la siguiente forma:

<u>Estrato</u>	Espesor(m)
Capa vegetal arenoso con fragmento de rocas cuarzosas y perdigones.	0.10- 0.15
Sedimentos arenosos de grano fino de color amarillento limonitizado	0.20-2.00
Sedimentos arenosos- arcillosos de grano grueso de color amarillento	1.00- 4.00
Sedimentos arcillosos- arenosos de color rojizo con intrusiones de mica y perdigones	0.50- 3.50
Sedimentos arcillosos limonitizados de color rojizo, compactos, sin fragmentos	0- 6.00
Esquistos intemperizados	6.00- 10.00
Esquistos micáceos- Cuarzosos	<10-00

Las arcillas eluvio- deluviales del Cuaternario, las más representativas en este yacimiento, son productos del intemperismo físico- químico de las rocas alumino-silicatadas, las que predominan en las partes bajas del terreno.

Es característico para estas arcillas una composición granulométrica no uniforme, presentando gran cantidad de fragmentos de tamaños considerables y generalmente de cuarzo y perdigones de hierro. Los sedimentos arenosos se consideran eluvio- deluviales y es producto del intemperismo de los esquistos cuarcíticos. El proceso de acumulación de los sedimentos cuaternarios es complejo y no esta bien definido.

Las condiciones hidrogeológicas del yacimiento no son difíciles, encontrándose el nivel máximo de las aguas subterráneas en la cota 8.59, por lo que, teniendo en cuenta que la materia prima debe estar seca para su extracción, se plantea como piso de la extracción la cota 8.60 m. La fuente de alimentación de las aguas en el yacimiento son fundamentalmente las precipitaciones.

Cercano a la zona de explotación se encuentra el arroyo Los Muertos el cual desemboca en la zona norte de la Isla de la Juventud, en las cercanías de la playa Gerona Beach.

CARACTERÍSTICAS CUALITATIVAS DE LA MATERIA PRIMA.

Características	Máximo	Mínimo	Media Ponderada
Granulometría: (%)			
Partículas mayores de 5 mm	9.44	0.26	4.00

Partículas mayores de 0.05 mm	63.20	31.09	48.32
Agua Plástica (%)	42.00	11.70	25.53
Contracción al secado: (110 C) %	8.30	1.00	4.47
Contracción a la quema (950 C) %	12.20	1.00	5.51
Resistencia a la flexión después de quemada Kg/cm2	162.00	5.00	38.32
Absorción (950 C) %	30.00	13.50	19.73
Perdidas por ignición (950C)	13.00	3.80	6.97
Humedad natural %	-	-	15.40
Peso volumétrico T/ m3	-	-	1.95

El recurso mineral contenido en la concesión se destina a las producciones de la Cerámica Roja, en su calidad de arcilla desgrasante, disminuyendo la sensibilidad de las arcillas por su contenido de arena

Relieve: Por lo general es un relieve llano.

Calidad del agua: El agua subterránea en toda esta área se clasifica como agua bicarbonatada - cálcica.

Los suelos de la zona son Ferralíticos Amarillo Rojizos eminentemente arcillo - arenosos, con mal drenaje: Suelos de topografía llana sin salida del agua, de poca profundidad efectiva, con un pH ácido y un contenido de materia orgánica muy bajo; suelos compactados resultado a las arcillas impermeables las que se encuentran a pocos centímetros de la superficie.

Vegetación:

La vegetación actual se corresponde con las formaciones naturales secundarios, estando eliminada completamente la vegetación original desde el pasado (incluso antes de la explotación de la mina).

Estrato arbóreo: Pueden observarse algunos árboles aislados de Yagruma (*Cecropia peltata*), *Leucaena* (*Albizia* sp.), Almendro (*Terminalia catappa*) y Guazima (*Guazuma* sp.).

Estrato arbustivo: Esta formado por el Marabú (*Dicrostachi glomerata*), Weiler (*Acacia farnesiana*), Malva (*Sida* sp.) e Higuera (*Ricinus comunis*).

Estrato herbáceo: Es el más denso y continuo esta integrado por especies como la Barba de Indio (), Hierba de Guinea (), y otras poaceas, algunas trepadoras y rastreras sobre todo estas últimas en los bordes de la zona de extracción.

Fauna:

Pudieron identificarse varias especies de aves entre las que se destacan el Chichinguaco (*Qiscalus niger*), el Judío (*Crotophaga ani*), Garza Azul (*Florida caerulea*), Garza (*Bubulcus ibis*) y una especie migratoria (*Dendroica* sp.).

La fauna de reptiles no es muy conspicua pero deben estar representados dadas las características del lugar los géneros Ameiva (*Bayoyas*), Anolis (*Lagartijas*) y Ameiva (*Corre Costa*).

Por el ritmo de extracción del mineral, y el área donde se producen, los impactos provocados no son de relevancia, considerando los cambios producidos en el pasado.

Descripción de la actividad

Recurso Mineral: Arcilla Desgrasante, con un área de 3.45 ha.

La solicitud de concesión minera es la extracción de arcilla desgrasante para las producciones de cerámica roja, (ladrillos macizos y aligerados, bloques aligerados, losas de azoteas, celosías de barro y tubos y conexiones de barro).

Las reservas aprobadas por la autoridad minera al cierre del año 1995 son de 272 730 m3.

Principales indicadores Técnico Económicos:

Indicador	Volumen
Extracción anual	5276 m3

Potencia de destape	0.41 m
Potencia de mineral útil	2.44 m
Coeficiente medio de destape	0.17 m
Altura de escalón proyectada	2.45 m
Ancho de las plazoletas de trabajo	9.10 m

Indicador	Volumen
Costo de extracción minera	0.81 pesos/ m3

Identificación y descripción de los impactos ambientales que se prevé ocasionar.

En sentido general los impactos sobre la vegetación son bastante antiguos en el área. La deforestación del área se observa apenas

En la zona de explotación minera la recuperación de la misma es bastante lenta al destruirse el suelo en el lugar, una vez que la capa de suelo vuelva a colocarse se prevé el desarrollo de una vegetación similar a la existente en la actualidad. Por el ritmo de extracción del mineral, y el área donde se producen, los impactos provocados no son de relevancia, considerando los cambios producidos en el pasado.

Al no encontrarse el área delimitada ni protegida, y por estar ubicada en las cercanías de Nueva Gerona, algunos individuos han utilizado el área como un vertedero, a pesar de estar prevenidos por un anuncio de las actividades en la zona.

Dstrucción del hábitat: Debido a la naturaleza extractiva de la actividad, lo cual además de los cambios geomorfológicos del terreno destruye la cubierta vegetal.

Perdida de especies: Considerando a aquellas especies asociadas directamente al suelo, las cuales no pueden escapar a las características técnicas del proceso extractivo.

Dstrucción de la cubierta vegetal:

Deforestación del área minera.

No aprovechamiento integral de las reservas, al extraerse la arcilla arenosa de la capa superior, quedando sin extraer el otro tipo de arcilla subyacente.

Medidas de prevención y mitigación para los impactos ambientales negativos.

La reforestación del lugar con especies de crecimiento rápido y que puedan adaptarse a las condiciones del suelo del lugar.

En el desbroce o destape del yacimiento considerar utilizar una técnica que no implique la inversión del prisma y con ello evitar la pérdida de las potencialidades del mismo para la recuperación de la flora característica.

Rehabilitar las zonas explotadas redepositando la capa vegetal acumulada no utilizable desde el punto de vista minero, simultáneamente al avance de la explotación del yacimiento, teniendo en cuenta además la medida anterior.

Mantener un estudio sistemático de las áreas afectadas para analizar la rehabilitación natural o la reconquista de las partes afectadas, por las especies vegetales autóctonas.

Evitar provocar daños en las áreas colindantes por las acciones de depósito del material no utilizable desde el punto de vista minero u otras acciones.

Organización de los frentes de cantera y explotación racional del yacimiento.

Ubicar postes vivos para la delimitación del área de concesión minera.

CONCLUSIONES

1. Los impactos negativos por la explotación minera se produjeron después de 1959, producto al desarrollo de la economía, las construcciones, el desarrollo hidráulico, la agricultura, la propia minería entre otras. Aunque las afectaciones no son críticas por lo general si se observan impactos en el paisaje, en la flora y la fauna y contaminación de la atmósfera, en las zonas de la explotación de estos recursos naturales.
2. Desde el punto de vista ambiental el país ha tomado medidas precisas para el aprovechamiento racional de los recursos y cuidados del medio ambiente, pero la no existencia, anteriormente de una política de educación ambiental, el desconocimiento o el descuido de algunas empresas, trajo como consecuencia la pérdida de algunos yacimientos y la explotación de otros de forma irracional además de las afectaciones del ecosistema natural pinero, no aprovechamiento de los desechos sólidos (escombreras)
3. En el momento actual, existen las condiciones necesarias para prever situaciones similares y además poder rescatar algunas áreas afectadas por la explotación de los recursos mineros.
4. Es necesario que ya en los presupuestos las empresas explotadoras de los yacimientos de la Isla de la Juventud, aparezcan cifras de dinero para la protección del medio ambiente

RECOMENDACIONES

1. Elevar la conciencia sobre la necesidad de la explotación de los recursos minerales de forma racional (desarrollo sostenible) a través de una política ambiental y la educación ambiental .promoviendo la legislación y regulaciones normativas implementando en el sector la estrategia de educación ambiental
2. Controlar a través de inspecciones sistemáticas por el fondo geológico y la unidad de medio ambiente lo estipulado por la ley de minas en cuanto a las concesiones mineras.
3. Que el gobierno siga apoyando la actividad de la comisión del termalismo hasta lograr el rescate definitivo de las aguas minero medicinales en conjunto con el ministerio de salud pública, la delegación del CITMA ,entre otros
4. Fortalecer el trabajo de rehabilitación y reclutación de las áreas explotadas por la minería como son: turba, caolín, arcillas, mármoles, arena sílice.
5. Promover los trabajos vinculados con el tratamiento y reutilización de residuales principalmente en los yacimientos de mármoles y Oro Delita
6. Aprobar por parte de las entidades competentes los estudios de impacto ambiental y aplicar los resultados obtenidos
7. Elaborar proyectos para la rehabilitación y reforestación de las canteras de la explotación de mármol ,calizas, turba ,arena sílice.

BIBLIOGRAFÍA

Cuellar A., Castro González O. et al. Algunos Aspectos Negativos en el Aprovechamiento de los Recursos Minerales de la Isla de la Juventud. Informe de la Inspección Estatal ONRM. 1997.



Cañete Pérez C.C. Dictamen Sobre la Situación Ambiental de la Minería. Ciudad de La Habana. Diciembre de 1998.
Constitución de la República de Cuba. 1976.
Departamento de orientación revolucionaria. Isla de Pinos
Filiberto Ramírez Corría. Excenta de una Isla Mágica. Editorial Olimpo.1959
Irene A.Wright. THE ISLE OF PINES. Publicity Company .1909
Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO (1995)
Lic Rubén Blanco,Lic Maria Elena Martínez López, apuntes sobre historia del turismo en la Isla de Pino de 1830-1958.1994
Sergio A. Gort. Tomas Escobar, José Izquierdo. Isla de la juventud su naturaleza. Editorial Científico Técnica 1994
Pablo Llaguno y de Cárdenas. Pequeño Bosquejo histórico de la Isla y sus aguas medico –medicinales .Impresora nacional
Trabajos realizados por la COMARCA
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.
Programa Nacional de Medio Ambiente y desarrollo CIDEA, ministerio CITMA 1995
Informes de la oficina de recursos minerales del territorio .

LODO RESIDUAL, COMO FUENTE DE NUTRIENTES Y MICROORGANISMOS DEGRADADORES DE PETRÓLEO EN EL PROCESO DE BIORREMEDIACIÓN

Gisela Novoa Rodríguez, Roberto Romero Silva¹, Silvia Acosta Díaz¹, Ricardo Campos Rodríguez¹, Miguel A. Díaz Díaz¹, Sandra Millar Palmer¹, Cristina Laffita Rivera¹.

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Calle Washington No 169, esq. Churrucá, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, E-mail: gisela@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

En la búsqueda de aceleradores del proceso de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos y residuos sólidos petrolizados, se realizó la caracterización química, física y microbiológica del lodo residual o fango digerido de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas, en el que se aislaron cepas de bacterias aerobias, de éstas se identificaron cepas Gram negativas, que resultaron ser géneros comúnmente aislados de suelos contaminados por hidrocarburos y residuos sólidos petrolizados. De los microorganismos aislados, se encontraron cepas capaces de utilizar todas las fracciones del petróleo como única fuente de carbono y energía, lo que hace factible la utilización del fango digerido caracterizado como fuente de microorganismos degradadores de hidrocarburos en el proceso de biorremediación de residuos sólidos petrolizados y de suelos impactados por hidrocarburos, además del aporte de nutrientes que presenta su utilización.

ABSTRACT

In the search of accelerators of the process of biorremediación of polluted floors for hydrocarbons and residuals solid petrolizados, he/she was carried out the chemical characterization, physics and microbiológica of the residual mud or digested mire of a plant of treatment of residual urban waters, in which stumps of aerobic bacterias were isolated, of these stumps negative Gram was identified that were to be commonly isolated goods of floors contaminated by hydrocarbons and residuals solid petrolizados. Of the isolated microorganisms, they were stumps able to use all the fractions of the petroleum like only source of carbon and energy, that makes feasible the use of the digested mire characterized as source of microorganisms degraders of hydrocarbons in the process of biorremediación of residuals solid petrolizados and of floors impacted by hydrocarbons, besides the contribution of nutrients that presents their use.

INTRODUCCION

Un lodo residual es una materia orgánica húmeda con una cierta cantidad de aditivos, entre los cuales hay algunos que resultan de interés aprovechar por su importancia como nutrientes del suelo y otros cuya presencia es indeseable por su posibilidad de contaminación. El fango digerido o lodo residual de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas constituyen una fuente importante de nutrientes y de microorganismos. Las características físicas y químicas de los lodos varían en función de su origen, urbana o industrial, y del tipo de proceso al que han sido sometidos (Ameneiros, 2003). Actualmente no se encuentra una disposición ambientalmente segura para estos desechos en Cuba y en países del área del Caribe, donde se incrementarán los volúmenes de éstos residuos en los próximos años por la instalación de nuevas plantas. Según estudios preliminares reportados por algunos autores (Acosta, Infante y otros, 1995) (Álvarez y col., 2004), se obtienen buenos resultados en el proceso de Biorremediación de suelos impactados por hidrocarburos como

aceleradores del proceso y como fuente de nutrientes para el desarrollo y crecimiento de los microorganismos.

Es objetivo del presente trabajo obtener cepas de microorganismos presentes en el fango digerido o lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas Río Quibú en Ciudad de la Habana, con vistas a su posible utilización como acelerador en el proceso de biorremediación.

MATERIALES Y METODOS

La muestra de lodo residual o fango digerido fue tomada puntualmente en la descarga final de lodos residuales o fangos digeridos hacia el lecho de secado de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas Río Quibú. La muestra fue envasada en frascos estériles de 1 litro de capacidad y conservadas en frío hasta su utilización en el laboratorio de microbiología (ISO 10381-6, 1993).

Conteo de los microorganismos del Fango digerido.

- Conteo de bacterias aerobias, hongos, levaduras y bacterias degradadoras

Se pesaron 10 g del Fango digerido y se añadió a un Erlenmeyer de 250 ml que contenía 90 ml de medio Solanas (Solana, A.M.1985) y unas gotas de tween 80 para facilitar la homogenización, se incubó en zaranda termostata a 130 rpm durante 30 min. Se tomó del sobrenadante y se realizaron diluciones seriadas en solución salina hasta 10^{-8} (ISO 6887, 1993). Las diluciones se sembraron en placas por duplicado en medio de Agar Triptona soya para el conteo total de bacterias aerobias (ISO 4833:1991). Paralelamente las diluciones se sembraron en placas con Agar petróleo (Finnerty, 1983) para el conteo total de bacterias degradadoras de hidrocarburos. Se realizaron inoculaciones en Agar Malta con un 5% de Cloruro de sodio (BIOCEN, 2001) para el conteo de hongos filamentosos y levaduras (ISO 7954: 1987).

Los resultados se reportan como unidades formadoras de colonias (células) por gramo de suelo según la fórmula siguiente:

$$Cs = \frac{N \times Vs}{(n_1V_1F_1)+(n_2V_2F_2)+ (n_iV_iF_i)}$$

donde:

Cs: número de unidades formadoras de colonias en el volumen de referencia elegido (UFC/gcrudo)

Vs: Volumen de referencia escogido para expresar la concentración de microorganismos en la muestra (ml)

N: suma de todas las colonias contadas

n_1, n_2, \dots, n_i : número de placas por cada dilución

F_1, F_2, \dots, F_i : dilución usada en cada volumen

V_1, V_2, \dots, V_i : volumen usado en la dilución (ml)

Aislamiento de las bacterias degradadoras de hidrocarburos

Las colonias más representativas crecidas en Agar petróleo se sembraron por agotamiento en medio Agar triptona soya y se incubaron a 37°C por 24 h. Para la caracterización cultural se observaron las colonias al estereoscopio y para definir las características morfológicas tintoriales se realizó la tinción de Gram. (Bergey's Manual, 1984)

- Caracterización de las cepas degradadoras

Degradación de Resinas y Asfaltenos: Para determinar la capacidad de estas cepas de degradar crudo pesado se añadió 1% de residuo de destilación mayor que 347 °C y residuo de destilación mayor que 465 °C de Crudo Seboruco en tubos con 9 ml del medio Solanas. El medio se inoculó con una asada del cultivo de la cepa, los tubos se incubaron durante 21 días a 37 °C con un indicador de crecimiento.

Hidrocarburos Alifáticos: Para la determinación de la capacidad de utilización de fracciones de hidrocarburos alifáticos del petróleo como única fuente de carbono se añadió 1 % de queroseno y 1% de Isooctano por separado en tubos con 9 ml de medio Solana. El medio se inoculó con una asada del cultivo de la cepa y se incubaron durante 21 días a 37 °C con indicador de crecimiento.

Hidrocarburos Aromáticos: Para la determinación de la capacidad de utilización de fracciones de hidrocarburos aromáticos se utilizó 1% de Naftaleno (poliaromático) y 1% de Tolueno (Aromático alquilado) en medio basal Solanas por separado. El Naftaleno, como es un sólido insoluble en agua, se disolvió primero en acetona y luego se añadió al medio. El medio se inoculó con una asada del cultivo de la cepa y se incubaron durante 21 días a 37 °C con indicador de crecimiento. Identificación de las cepas degradadoras: A partir de cultivos frescos de las cepas que crecieron en todos los medios de caracterización se inocularon los Kit de identificación (API 20 NE, 2002) para la identificación de microorganismos Gram negativos no enterobacterias.

RESULTADOS Y DISCUSION

- **Conteo y aislamiento de bacterias degradadoras del Lodo Residual o Fango Digerido de la planta de tratamiento de aguas residuales del Río Quibú.**

En la tabla I y II se muestran los resultados de la caracterización microbiológica del fango digerido, conteo total de las colonias de bacterias aerobias, hongos y levaduras y microorganismos, degradadores expresados en UFC/g. El número de bacterias aerobias alcanzó valores de 10^9 UFC/g los hongos y levaduras hasta 10^5 UFC/g y los microorganismos degradadores de hidrocarburos resultó elevado con valores que alcanzan hasta 10^6 UFC / g. Estos resultados se corresponden con la amplia flora microbiana, característica de los suelos (Bergeys, 1984). Este sustrato constituye una fuente rica de materia orgánica con altos contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio donde aparece un por ciento elevado de grasas y aceites e hidrocarburos totales disueltos en el sedimento con alta biodisponibilidad, además de poseer un pH adecuado para el desarrollo y crecimiento de una abundante microbiota adaptada al consumo de crudo y sus derivados como única fuente de carbono. Del conteo total de bacterias aerobias se aislaron 11 cepas aparentemente diferentes.

Caracterización de las cepas aisladas degradadoras de hidrocarburos

En la tabla III se reportan los resultados de la caracterización de las cepas aisladas del lodo residual o fango digerido utilizando como fuente de carbono y energía las diferentes fracciones del petróleo. Las cepas LR-1, LR -2, LR -3, LR -5, LR -7c, LR -9 y LR -13 crecieron en todos los medios con los diferentes sustratos como única fuente de carbono y energía (Tabla 4), estas bacterias tuvieron un óptimo crecimiento al final de la incubación con turbidez y cambio de color (Fig. 6), siendo capaces de degradar todas las fracciones de hidrocarburos a la que fueron expuestas, por lo que constituyen cepas promisorias para ser utilizadas con diferentes fines degradativos en suelos impactados por hidrocarburos y donde el conteo de microorganismos degradadores de hidrocarburos se encuentre por debajo del rango establecido, entre 10^3 y 10^4 UFC/g, para aplicar el proceso de Biorremediación. La versatilidad nutricional de las cepas identificadas en estos desechos resulta de significativa

importancia, debido a que en el mundo, son pocas las especies microbianas reportadas con potencialidades para degradar todas las fracciones de hidrocarburos simultáneamente. Algunos autores, reportan que la mayoría de las cepas degradadoras de hidrocarburos pueden mineralizar los compuestos poliaromáticos o alifáticos pero no ambos, sugiriendo que estas dos vías pueden ser excluyentes en muchos casos. Sin embargo, en muchas bacterias se han observado los genes que codifican para las enzimas alcano-monooxigenasa y catecol 2,3 dioxigenasa, lo cual indica que las vías degradativas para alcanos e hidrocarburos aromáticos simples alquilados pueden encontrarse simultáneamente. Las cepas de bacterias aerobias aisladas e identificadas del lodo residual o fango digerido de la Planta de Tratamiento de aguas residuales urbanas del Río Quibú capaces de degradar todas las fracciones de hidrocarburos, pueden servir como materia prima para la obtención de bioproductos (inóculos), para ser empleados en suelos contaminados por hidrocarburos y donde no sea posible la aplicación del proceso de Biorremediación por la técnica de la bioestimulación de los microorganismos autóctonos (Ej. manglares).

CONCLUSIONES

El lodo residual o fango digerido caracterizado constituye una fuente importante de microorganismos degradadores de hidrocarburos, por lo que es promisoría su utilización en el proceso de biorremediación de residuos sólidos petrolizados y de suelos impactados por hidrocarburos.

Se identificaron 5 cepas Gram negativas, resultando ser géneros comúnmente aislados de suelos contaminados por hidrocarburos y residuos sólidos petrolizados. Del total de las bacterias aisladas del lodo residual estudiado, siete resultaron las de mejores resultados biodegradativos utilizando al crudo y sus derivados como única fuente de carbono y energía. Las cepas denominadas LR-1, LR -2, LR -3, LR -5, LR -7c, LR -9 y LR -13, son promisorias para su aplicación en diferentes procesos de Biorremediación. Las cepas aisladas e identificadas del lodo residual o fango digerido pueden ser utilizadas como materia prima para la obtención de bioproductos que pueden ser empleados en el proceso de biorremediación de residuos sólidos petrolizado y de suelos impactados por hidrocarburos.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, I; Infante, C. López, W (1995). "Efecto de lodos petrolizados y lodos de tratamiento de aguas servidas sobre un suelo calciorthids de la península de Paraguaya". *Agronomía Trop.* 45(4): 527-537.
- Álvarez, JA, y col. (2004). "Aplicación de la Biorremediación para tratar los residuales sólidos petrolizados de fondos de tanques de la Refinería Níco López." P 2507, E03. CUPET. C. Habana, Cuba.
- Ameneiros, J..A. García, O (2003). "Composteo de lodos generados en sistemas de tratamiento de aguas residuales", CIMAB, La Habana, Cuba
- Api 20 NE (2002). Bio Mérieux SA. 07615B-11/97. 1-5; Bergey's (1984). Manual, the Systematic Bacteriology, Volumen I y II
- Finnerty, W. R., Schokley, K., and Attaway, H, (1983). Microbial desulphurization and denitrogenation of hydrocarbons. Microbial Enhanced Oil Recovery. Penn Well Books, Tulsa, Oklahoma: 83-91
- ISO 10381 - 6:1993, (1993). (E). International Standard. Guía para la colección, manejo y conservación del suelo para procesos microbianos aeróbicos en el laboratorio.
- ISO 6887:1993. (1993) (E). International Standard. Microbiology: General guidance for the preparation of dilutions for microbiological examination (1993).
- ISO 4833:1991(1991) (E). Microbiology-general guidance for the enumeration of microorganism colony count technique at 30 °C.
- ISO 7954:1987 (1987) (E) Microbiología: Guía general para la enumeración de hongos y levaduras. Técnica del conteo de colonias a 25 °C.
- Solana, A.M (1985). Biodegradación marina en la contaminación por hidrocarburos. *Mundo Científico.* 1(8): 913-920.

ANEXOS

Tabla I. Caracterización microbiológica del Fango digerido, expresados en UFC/g.

Fango digerido	Conteo Total de Bacterias aerobias	Conteo Total de Hongos y Levaduras	Conteo Total de Microorganismos degradadores de HC
	1.54×10^7	2.88×10^5	4.2×10^6

Tabla II Caracterización física - química del Fango digerido. (Álvarez y col., 2004)
HCTP: hidrocarburos totales del petróleo I

	pH	Densidad aparente	P	Grasas y Aceites	HCTP	K	N	Ca	Mg
Fango digerido	6.7	0.67g/cm ³	0.58%	39.29%	1.14 %	0.01%	2.81%	10%	3%

Tabla III. Resultados de la caracterización de las cepas aisladas del residuo con los diferentes hidrocarburos.

Cepas	Isooctano	Tolueno	Crudo Seboruco R>465° C	Crudo Seboruco R>347° C	Naftaleno	Keroseno
LR-1	++	++	++	++	++	++
LR-2	++	++	++	++	++	++
LR-3	++	++	++	++	++	++
LR-4	--	--	--	--	++	++
LR-5	++	++	++	++	++	++
LR-7a	--	--	++	++	++	++
LR-7c	++	++	++	++	++	++
LR-9	++	++	++	++	++	++
LR-10	++	++	--	++	++	++
LR-11	++	--	++	++	++	++
LR-13	++	++	++	++	++	++

PROPUESTA DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD PARA EVALUAR LA EROSIÓN DE LOS SUELOS EN LAS REGIONES CÁRSICAS DE LA PROVINCIA LA HABANA

José M. Febles González⁽¹⁾. y Marina. B. Vega Carreño⁽²⁾

(1) Universidad Agraria de La Habana, Cuba. E-mail: febles@isch.edu.cu

(2) Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Cuba. marina_vega1311@yahoo.com

RESUMEN

No existen en la actualidad fuentes adecuadas para elaborar un indicador de la erosión de los suelos en Cuba. La mayoría de los mapas del riesgo de erosión de los suelos existentes, dependen en gran parte de condiciones naturales como la pendiente, la meteorología y el tipo de suelo, y las tendencias no se pueden considerar por consiguiente evidentes. Ante la insuficiencia metodológica existente para evaluar los procesos cársico – erosivos, Vega y Febles (2006) desarrollaron el nuevo método EVERC: Evaluación de la Erosión en las Regiones Cársicas, y su aplicación en el ambiente de un SIG permitió definir 10 indicadores de tipo cuantitativo precisando el umbral de la sostenibilidad de los suelos Ferralíticos Rojos, asignándosele un valor de 1 a 10 de acuerdo a los atributos de la cobertura para cada indicador y que variaron entre 8,30 para el Ferralítico Rojo hidratado y 6,75 para el Ferralítico Amarillento lixiviado, con limitantes tales como: compactación, carsificación; contenido de materia orgánica, pendiente, carsificación y profundidad. Adicionalmente se estimó por primera vez de forma cuantitativa en el centro de inseminación artificial "Rosafé Signet" durante una secuencia histórica (1986 – 2006), magnitudes de pérdidas entre 13,4 - 17,4 t/ha/año, mediante el empleo de un modelo de erosión empírico – conceptual de MMF (Morgan *et al.*, 1984; Morgan, 2001), las cuales sobrepasan los índices de tolerabilidad. En base al análisis de los resultados obtenidos se establece la necesidad de aplicar estrategias agroecológicas, con el fin de corregir los indicadores más limitantes para el sistema, teniendo en cuenta su sustentabilidad.

INTRODUCCIÓN

Aunque se reconoce que los suelos erosionados constituyen un problema, éste es sobre todo de carácter local o regional y resulta difícil definir un indicador apropiado que cubra adecuadamente esta situación. Hasta el presente los métodos e índices diagnósticos empleados en el país para evaluar la erosión de los suelos en las regiones cársicas, no tienen en cuenta la fase de la morfogénesis presente en tales geoeosistemas, ni su relación con los procesos erosivos

Investigaciones desarrolladas en la Llanura Cársica Meridional Habana – Matanzas, durante los últimos 25 años bajo diferentes tecnologías en áreas de pastos, cultivos varios y caña de azúcar, revelaron las modalidades específicas que asume la erosión en los suelos Ferralíticos Rojos y subtipos asociados; situación que alcanza relevancia nacional, por cuanto los mismos se distribuyen en las regiones de mayor producción agrícola, densidad de población y con las cuencas de abastecimiento de agua más importantes de La Habana y Matanzas, lo cual ha propiciado la degradación secuencial de los suelos más productivos de Cuba (Febles, 1988; 2001); Orellana, (1996); Gonou y Febles (1997); Ponce De León (2003); Febles (*et al.*, 2005); Vega y Febles (2005), en consecuencia tampoco se dispone de una metodología para estimar el volumen de pérdidas de suelos a través de las formas cársicas de absorción.

Ante esta insuficiencia metodológica se hizo necesario precisar los indicadores de sostenibilidad a partir de la integración de un conjunto de métodos y mediante la propuesta de un nuevo método

EVERC: Evaluación de la Erosión en las Regiones Cársicas (Vega y Febles, 2006b), que permitió definir con precisión en el ambiente de un SIG el riesgo de erosión potencial y actual que afecta la capacidad productiva y la fertilidad de los suelos en la provincia La Habana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con este nuevo enfoque se realizó la evaluación de la erosión potencial y actual, al disponerse de un estudio histórico - evolutivo (Febles *et al.*, 1984; Febles *et al.*, 1986; Febles, 1988; Gounou y Febles, 1997; Febles *et al.*, 2005), en el centro de Inseminación Artificial Rosafé Signet, que permitió considerarlo como un sector de referencia para la investigación de los procesos cársico - erosivos en la provincia La Habana, con la incorporación de un nuevo método para la **Evaluación de la Erosión en las Regiones Cársicas (EVERC)** (Fig.1), en el ambiente de un Sistema de Información Geográfica (Killian, 1972; Geissert y Rossignol, 1987; Gounou y Febles, 1997; Febles *et al.*, 2001; Febles *et al.*, 2005).

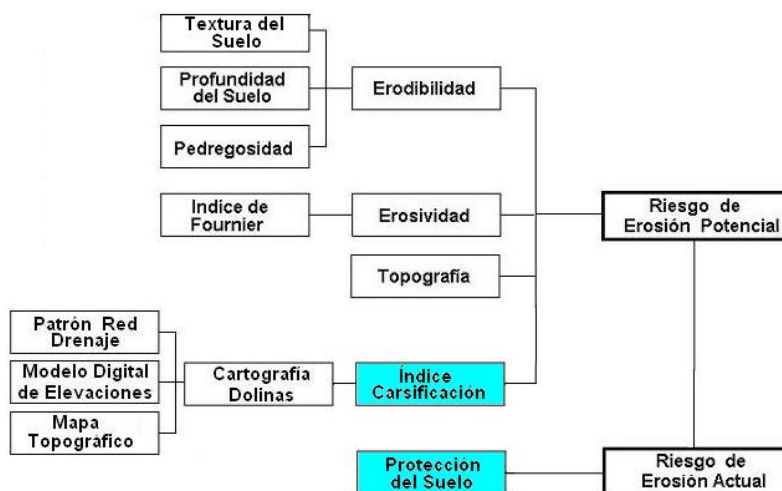


Figura 1. Método EVERC (Evaluación de la Erosión en Regiones Cársicas) (Vega y Febles, 2006b)

Los valores de los subindicadores se expresan en términos relativos y se utiliza una escala de 1 - 10 en función de los valores de referencia. Diez implica las condiciones con menores riesgos de degradación de los suelos mientras que un valor de uno expresa que existen las condiciones más desfavorables (adaptado de Wang. *et al.*, 1998 y SINDI, 2004).

RESULTADOS, DISCUSIÓN

▪ Clasificación y presentación de los indicadores propuestos

El análisis de la disponibilidad y calidad de los datos utilizando para su identificación atributos físicos, químicos, biológicos, sociales y económicos resulta un paso crucial al momento de seleccionar y evaluar los indicadores P – E – R.

En este contexto en los diferentes niveles taxonómicos se tomó como referencia los horizontes principales y horizontes normales propuestos por Hernández *et al.* (1999), por ser expresión de la génesis y evolución del suelo.

Asimismo fueron seleccionados los indicadores de presión – estado – respuesta (P – E - R) (tabla 1), relacionados con las características de los suelos (subindicadores del 4 al 8) y los vinculados con su

pérdida (9). Para los fines del presente trabajo se relacionan aquellos **Indicadores de Estado** (tabla 2), que caracterizan la génesis y evolución secuencial de los procesos de erosión hídrica y cársico – erosivos.

Tabla 1. Selección de indicadores de P – E - R para la erosión de los suelos en las regiones cársicas mediante el Método EVERC (Vega y Febles, 2006) y el Modelo de MMF (Morgan *et al.*, 1984, Morgan, 2001)

INDICADORES DE PRESION	
FACTORES	SUBINDICADORES
Relacionados con FACTORES CLIMÁTICOS	(1) Índice de Erosividad (IMF mm) (2) Índice de amenaza por inundaciones
RELACIONADOS CON EL POTENCIAL DE EROSIÓN	(3) Índice de Riesgo Erosión. Potencial (IREP)
Relacionados con el USO DEL SUELO	(4) Conflicto de uso de la tierra, según usos (5) Cambios en la condición de los suelos
INDICADORES DE ESTADO	
FACTORES	SUBINDICADORES
Relacionados con FACTORES CLIMÁTICOS	(1) Lámina anual promedio (mm) (2) Índice de Concentración de las Precipitaciones (ICP)
Relacionados con la CUBIERTA VEGETAL	(3) Índice de Protección del Suelo (IPS)
Relacionados con las CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	(4) Capacidad del uso del suelo (CUS) (5) Compactación de suelos ($Mg.m^{-3}$) (CS) (6) Índice de Carsificación Normalizado (ICN) (7) Índice de Erodibilidad (IE) (8) Materia Orgánica (M.O %)
Relacionados con la PÉRDIDA DE SUELOS	(9) Magnitud de pérdida de suelo (t/ha/año) (10) Índice de Riesgo Erosión Actual (IREA) (11) Degradación de suelos por actividades agrícolas
INDICADORES DE RESPUESTA	
FACTORES	SUBINDICADORES
Relacionados con la REHABILITACIÓN DE ESPACIOS	(1) Superficie paisajísticas recuperadas (2) Rehabilitación de áreas (3) Cambio en el uso del suelo
Relacionados con el GASTO PÚBLICO	(4) Inversión en lucha contra la erosión.

A tenor con los rasgos que muestra el paisaje en esta unidad (Fig.2), con presencia de una cobertura de suelos Ferralíticos Rojos (Paneque *et al.*, 1991), que refleja la naturaleza de la estructura geológica y el sistema de erosión cársica que lo ha modelado: escaso flujo superficial que facilita el avenamiento endorreico hacia el interior del macizo que representan entre otros, los factores geomórficos más relevantes que influyen en las pérdidas de suelos a través de numerosas formas compuestas de absorción epigeas, fundamentalmente dolinas que han provocado una reducción del fondo de tierra útil en el establecimiento, se diseñaron los **Indicadores de Estado**, los cuales se resumen en la Tabla 2

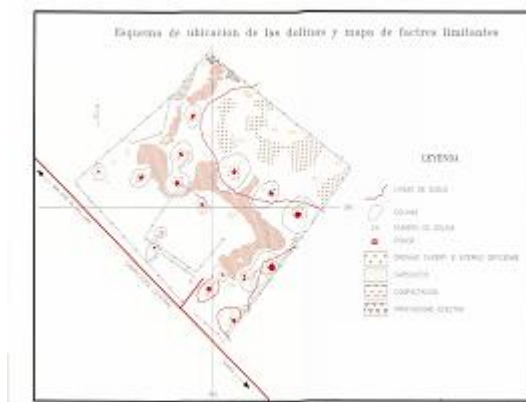


Tabla 2. Propuesta de **Indicadores de Estado** para la erosión de los suelos en las regiones cársicas mediante el Método EVERC (Vega y Febles, 2006)

RELACIONADOS CON LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO			
SUBINDICADOR 4	Capacidad del Uso del Suelo (CUS)	TIPO	Estado
DESCRIPCIÓN	Muestra el uso del suelo en sus diferentes estados de intervención. Permite identificar en forma cuantitativa y geográfica las diferentes formas que está siendo utilizado el territorio, dando pautas para el diseño de políticas de uso y el ordenamiento territorial. También permite identificar las diferentes zonas productivas según el rubro de mayor importancia. Comparando el uso actual en diferentes años permite conocer la dinámica de los usos del suelo y el avance de la frontera agrícola.		
JUSTIFICACIÓN	A través de este indicador se estiman los cambios en los usos del suelo que pueden potenciar o disminuir el riesgo de erosión.		
UNIDAD DE MEDICIÓN	Porcentaje de tierras de cada categoría que cambian de uso por unidad de tiempo	VALORES OBJETIVOS	En general, no existen objetivos internacionales con respecto a este indicador.
RESULTADOS	La capacidad de uso de los suelos con cultivos permanentes facilita información importante sobre la dotación de recursos agrícolas, tanto desde una perspectiva económica como desde una perspectiva ambiental. Desde un punto de vista económico, los cambios en el uso de las tierras darán lugar, por ejemplo, a cambios en el volumen de producto disponible e influirán en las oportunidades de empleo. Desde un punto de vista ambiental, el uso insostenible de la tierra es un factor importante de erosión y desertificación, y puede suponer una amenaza para los ecosistemas y dar lugar a la pérdida de hábitat naturales y a la modificación del paisaje.		

SUBINDICADOR 5	Compactación de suelos (CS)	TIPO	Estado
DESCRIPCIÓN	El empleo indebido de la maquinaria con alto contenido de humedad en el suelo y del pisoteo, provocan una disminución de la porosidad, sobre todo de la macro porosidad que se traduce en disminución de la velocidad de infiltración y la aireación. El obstáculo mecánico que representa para las raíces un suelo compacto, de alta densidad, se suma el hecho de la disminución del contenido medio de oxígeno.		
UNIDAD DE MEDICIÓN	(Mg.m ⁻³)	VALORES OBJETIVOS	1,0 – 1,20 1,20 – 1,45 >1,45

RESULTADOS	La compactación observada en los suelos Ferralítico Rojo aún cuando es atribuida a acciones antrópicas, se advierte que la mayoría experimentan severas transformaciones y tienden a comportarse aparentemente como un compactado dada la ausencia de un consecuente manejo de su estructura; fenómeno observado por Hernández y Pérez (1996).
-------------------	--

SUBINDICADOR 6	Índice de Carsificación Normalizado (ICN)	TIPO	>1,45
DESCRIPCIÓN	Representa la intensidad de la carsificación evaluada a partir de la densidad de dolinas.		
JUSTIFICACIÓN	Las dolinas representan un peligro potencial para el uso del suelo debido al colapso de las capas superficiales y para la erosión, ya que a través de ellas, las partículas de suelo son removidas hacia el subsuelo por lo cual en áreas cársicas su densidad debe considerarse como un factor adicional y específico de la erosión de los suelos. La representación cartográfica de este parámetro, con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica proporciona una información útil para determinar las áreas más vulnerables a los riesgos vinculados con el desarrollo cársico.		
UNIDAD DE MEDICIÓN	Se utiliza el Índice de Carsificación Normalizado (ICN) del método EVERC (Vega y Febles, 2006)	VALORES OBJETIVOS	Bajo Moderado Alto
RESULTADOS	Constituye el índice diagnóstico fundamental desde el punto de vista morfológico - genético, para evaluar las manifestaciones e intensidad de la carsificación, lo cual coincide con la propuesta de Angel et al., 2004. Proporciona información acerca de la fase de la morfogénesis cársica (incipiente o paroxismal), contribuyendo a adoptar la		

SUBINDICADOR 7	Índice de Erodibilidad (IE)	TIPO	Estado
DESCRIPCIÓN	Evalúa la vulnerabilidad o susceptibilidad del suelo a la erosión, teniendo en cuenta las propiedades del suelo textura, profundidad y pedregosidad.		
JUSTIFICACIÓN	Las propiedades de los suelos condicionan su resistencia a dos fuentes de energía fundamentales para la ocurrencia de los procesos erosivos: el impacto de las gotas de lluvia en la superficie del suelo y la acción de cizalla de la escorrentía y evalúan por tanto, su erodibilidad.		
UNIDAD DE MEDICIÓN	La medida seleccionada es el Índice de Erodibilidad (IE) propuesto por CORINE (1992).	VALORES OBJETIVOS	1 Bajo 2 Moderado 3 Alto-
RESULTADOS	El comportamiento de los IE califica la resistencia antierosiva de la cobertura edáfica, la cual está condicionada por la susceptibilidad intrínseca de los suelos, de acuerdo a sus propiedades y a los ambientes geológicos de formación, criterio que coincide con los resultados de Orellana y Moreno (2001). Estos índices resultarán modulados por el resto de los factores que controlan la génesis y evolución secuencial de los procesos erosivos y sólo con la evaluación integral de todos ellos se podrá calificar la verdadera susceptibilidad a la erosión que poseen estos suelos.		

SUBINDICADOR 8	Materia Orgánica	TIPO	Estado
DESCRIPCIÓN	La materia orgánica constituye un índice morfogenético de diagnóstico, por ello se utiliza también en la clasificación de suelos. Interviene en todas las propiedades del suelo. Los contenidos de materia orgánica en la gran mayoría de los casos son bajos siendo en general baja la fertilidad de estos suelos (Leprun, 1986; CEE, 1988; Primavesi, 1990; Scope, 1991, Waneukem y Ganry, 1992).		
JUSTIFICACIÓN	La vulnerabilidad a la degradación física de algunos suelos cubanos teniendo en cuenta sus atributos internos: textura, naturaleza mineralógica de las arcillas, contenido de materia orgánica, intensidad de la actividad biológica, organización pedológica de los primeros horizontes, la agregación de la estructura, la macroporosidad, la permeabilidad y los factores externos (pendiente, energía cinética de las gotas de lluvia, la distribución y frecuencia de las mismas y finalmente la influencia del hombre), constituyen las		

	causas fundamentales para el surgimiento o intensidad de la degradación de los suelos (Shepashenko <i>et al.</i> , 1984; Alfonso, 1987; Orellana, 1996).		
UNIDAD DE MEDICIÓN	%	VALORES OBJETIVOS	Bajo: < 1,60 Moderado: 1,60 - 3,0 Alto: > 3
RESULTADOS	La materia orgánica en condiciones adecuadas ejerce una acción óptima sobre la estabilidad de la estructura, e indirectamente también, sobre todos los parámetros relacionados con ella - circulación del agua, del aire, del calor, la penetración de las raíces de las plantas, etc. Igualmente favorece la resistencia del suelo frente a la erosión, al disminuir la mojabilidad de los agregados y por tanto reducir la disgregación de las partículas del suelo y el encostramiento y facilitar y hacer más permanente las labores agrícolas.		

RELACIONADOS CON LA PÉRDIDA DE SUELOS			
SUBINDICADOR 9	Magnitud de pérdida de suelos	TIPO	Estado
DESCRIPCIÓN	La cuantificación de las pérdidas de suelo por erosión de forma indirecta se puede realizar mediante la aplicación del modelo empírico conceptual MMF (Morgan <i>et al.</i> , 1984; Morgan, 2001), que describe el proceso de erosión hídrica y la producción de sedimentos.		
JUSTIFICACIÓN	La utilización de gran número de variables importantes, relacionadas con los procesos de degradación y sus interacciones, para determinar probabilidades y riesgos de erosión de suelos, puede facilitarse con su integración en modelos que aunque no dan una simulación exacta de las situaciones reales, permiten obtener resultados aproximados, de acuerdo a las simplificaciones asumidas. Cuando se integran con Sistemas de Información Geográfica (SIGs), la modelación y el monitoreo de los procesos pueden proveer la base para la planificación del uso y manejo sostenible de las tierras.		
UNIDAD DE MEDICIÓN	Tonelada /ha /Año	VALORES OBJETIVOS	No hay se considera positiva la disminución
RESULTADOS	La erosión es un proceso natural, que ocurre durante el tiempo geológico esencial para la formación de suelo. En lo que concierne a la degradación de suelo, el mayor interés se centra en la erosión y está relacionada con la erosión acelerada, donde la tasa natural ha sido considerablemente aumentada sobre todo por la actividad humana. La erosión hídrica es la forma más común de erosión.		

La cartografía de las dolinas en la localidad constituyó entre otros, uno de los índices morfológico - genéticos para evaluar las manifestaciones e intensidad de la carsificación, lo cual coincide con la propuesta de Angel *et al.*, 2004. Todo ello propicia un flujo superficial algo enérgico, que contribuye a que estas formas de absorción y sus elementos componentes ganan secuencialmente en magnitud (tabla 3), ejerciendo cada vez mayor control sobre el escurrimiento superficial. Sin embargo, la cobertura de suelos Ferralítica puede modelar por acúmulo estas depresiones; enmascarando de cierto modo el mecanismo de acción relacionado, lo cual ha provocado en gran medida la subvaloración de este complejo proceso. A conclusiones similares arribaron Valdés (1975); Gutiérrez y Rivero (1975); Busto y *et al.*, (1976); Spiridonov *et al.*, (1976); Durán *et al.*, (1986), Febles (1988), Gounou y Febles (1997), Febles *et al.*, (2005).

Tabla 3 Estimación de las pérdidas de suelo en las dolinas por escorrentía aplicando el modelo MMF (Morgan *et al.*, 1984) y volúmenes de suelo removido. Unidad morfoedafológica "Rosafé Signet"

	1986	1986	1996	1996	2006	2006
Dolina	3G	Volumen	3G	Volumen	3G (t/ha)	Volumen m ³

	(t/ha)	m ³	(t/ha)	m ³		
1	15.957	58060.8	17.82	71008.245	17.649	74977.35
2	17.631	12705	16.917	13407.45	20.208	17859.01163
3	21.357	6720	22.128	9356.68125	23.613	11351.8125
4	14.847	45743.775	14.244	47910.20063	14.262	50402.0475
5	10.011	26880	8.355	24004.68	11.91	36238.26938
6	9.39	123480	9.729	132447.1838	10.425	144986.625
7	10.686	21471.45	17.142	35873.90625	12.042	25739.07
8	12.024	26880	10.029	25930.8	12.381	33773.355
9	9.012	8872.5	10.143	16993.2	10.668	19019.10938
10	10.725	23625	11.514	27391.98	12.306	30343.95
11	16.068	7875	20.226	11576.25	19.419	12475.05
12	13.038	15120	13.077	17294.9175	14.319	20584.2
13	16.653	15120	18.12	18162.9	18.816	20322.54
14	10.275	11340	11.628	14126.7	13.038	16406.25
15					14.073	6378.75
16					36.897	2625

Fuente: (Vega y Febles, 2006b)

La interpretación de los mapas obtenidos mediante la aplicación del método EVERC y la cartografía temática de factores en el ambiente de un SIG teniendo en cuenta las condiciones de uso, manejo y tipos de cobertura presentes, que objetivamente modifican la susceptibilidad propia de los suelos a la erosión, permitió precisar las clases de los Subindicadores de Estado relacionados con las características de los suelos (Tabla 4) y cuya representación se muestra en la figura 3.

Tabla 4. Valores asignados a los sub - indicadores de estado de suelo en la Unidad morfoedafológica “Rosafé Signet”.

INDICADORES DE ESTADO					
FACTORES	SUBINDICADORES	CLASES			
		1986	1996	2006	
Relacionados con FACTORES CLIMÁTICOS	(1) Lámina anual promedio (mm)	5	5	5	
	(2) Índice Concentración de Precipitaciones (ICP)	4	4	4	
Relacionados con la CUBIERTA VEGETAL	(3) Índice de Protección del Suelo (IPS)	7	5	4	
Relacionados con las CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	(4) Capacidad del uso del suelo (CUS)	9	8	7	
	(5) Compactación de suelos (Mg.m ⁻³) (CS)	5	5	3	
	(6) Índice de Carsificación Normalizado (ICN)	5	4	3	
	(7) Erodibilidad del Suelo (IE)	7	7	7	
	(8) Materia Orgánica (M.O %)	7	5	3	
Relacionados con la PÉRDIDA DE SUELOS	(9) Magnitud de pérdida de suelo (t/ha/año)	6	5	4	
	(10) Índice de Riesgo Erosión Actual (IREA)	5	5	4	
	(11) Degradación suelos por actividades agrícolas	7	6	4	

Se evidencia que la generalidad de los sub indicadores muestran una evolución secuencial tendente a la degradación de las propiedades de los suelos inducida por la acción antrópica, lo cual ha recibido diferentes denominaciones: “erosuelos” (Shisov *et al.* 2000), “formación agrogénica de los suelos” (Shishov *et al.*, 2004; Tonkonogov y Guerasimova, 2005) y degradación irreversible (Orellana y Moreno, 2001), entre otras denominaciones.

No obstante, en este contexto se revelan dos sub indicadores de aparente sostenibilidad: la erodabilidad y la capacidad de uso. El primero debido a la resistencia antierosiva que intrínsecamente poseen los suelos Ferralíticos Rojos y subtipos asociados en virtud de sus propiedades (cuando esta propiedad resulta aislada de los ambientes geológicos de formación en el contexto actual como histórico), resultado que coincide con los reportes de Orellana y Moreno (2001); Astier *et al.*, (2002) y la otra es la capacidad de uso, lo cual es consecuencia del destino permanente que han tenido los suelos en el centro (pastos para forrajes), por más de dos décadas.

Por otra parte, la estimación del volumen de suelo removido hacia las depresiones cárnicas a partir de los resultados obtenidos sobrepasan los límites permisibles en términos de erosión (Garduño, 1977), indicando la intensidad que ha alcanzado el proceso erosivo.

En efecto, la morfología de la superficie del suelo expresada por las líneas del drenaje que descienden hacia las depresiones, los afloramientos de calizas subangulares fragmentadas, porosas y orientadas en dirección a dichas depresiones, la vegetación hidrófila en el centro de las formas de absorción, la apertura de nuevas dolinas y la existencia de estructuras de hormigón con rajaduras, etc., constituyen entre otros los rasgos de un proceso degradativo en pleno desarrollo, cuya subvaloración según Tricart (1965), Spiridonov (1975), Tricart y Kilian (1979), Jaimez *et al.* (2003) y Wang *et al.* (2004), conducen a la fase paroxismal del proceso cársico - erosivo, dejando secuencialmente improductivas los suelos agrícolas.

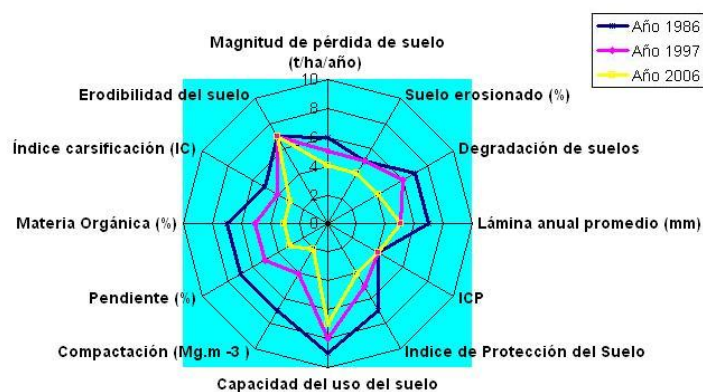


Fig.3 Indicadores de Estado relacionados con las características de los suelos en el centro de Inseminación Artificial "Rosafé Signet"

CONCLUSIONES

1. Aunque se reconoce que los suelos erosionados constituyen un problema en Cuba, éste es sobre todo de carácter local o regional y resulta difícil definir un indicador apropiado que cubra adecuadamente el problema.
2. Para arribar a una comprensión precisa de los procesos de erosión de los suelos, resulta imperativo garantizar la comparabilidad de índices de diagnóstico, mediante métodos armonizados que permitan la transferencia de información, en este contexto, el empleo de la cartografía temática de factores con tecnología SIG, ha demostrado su utilidad para ratificar la erodabilidad de los suelos en las regiones cárnicas.

RECOMENDACIONES

1. Los indicadores propuestos requieren análisis sucesivos, así como un trabajo metodológico más generalizado, no obstante el método EVERC se revela para las futuras investigaciones de erosión de los suelos en las regiones cársticas como una herramienta útil para la evaluar la sostenibilidad de la cobertura edáfica más objetiva e integral que las empleadas hasta el presente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfonso, C. A. (1987): "Etude de la dégradation des sols cultivés en tabac (Cuba, Province de Pinar del Río)" [inédito], thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur Ingénieur Géologie appliquée.
- Astier-Calderón, M., M. Maass-Moreno, y J. Etchevers-Barra (2002): Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, 36(5):605 – 620.
- Angel, J. C., D. O. Nelson, y S. V. Panno (2004): Comparison of a new GIS-based technique and a manual method for determining sinkhole density: An example from Illinois' sinkhole plain. *Journal of Cave and Karst Studies*, 66(1):9-17.
- Busto, R., L. Iñiguez, y J. Mateo (1976): Sobre la tipología del carso de La Habana. *Serie Geog.* 12, pp. 8-16.
- Durán, J., y L. Salinas (1986): Recuperación y mejoramiento de suelos rocosos y poco profundos. En *Seminario Internacional ORSTOM*, Paris, *Memorias*, pp. 731 – 753.
- Febles, J.M. (1988): "La erosión de los suelos en las regiones cársticas de la provincia de La Habana" [inédito], tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas, Facultad de Agronomía, Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez
- Febles, J. M., N. Martín, y S. Hernández (1984): "Influencia de los factores naturales y socioeconómicos de la erosión de los suelos en el Centro de Inseminación Artificial Rosafé Signet" [inédito], Informe Dpto Suelos Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias La Habana.
- Febles, J. M., *et al.*, (1985): Limitaciones objetivas del "perfil patrón" como índice diagnóstico para evaluar la intensidad de la erosión en Cuba. En *3ra Jornada Científica del Inst. de Suelos Acad. Ciencias de Cuba*, La Habana, *Memorias*, pp. 227 – 232.
- Febles, J. M., N. Martín, y S. Hernández (1986): La erosión y el manejo de los suelos en el carso llano de Cuba: estudio de diferentes casos. Edit., ORSTOM, Paris, 717 – 728.
- Febles, J. M., y J. L. Durán (2006): *Manual de Erosión y Conservación de Suelos*. Editorial Félix Varela, 3ra. Edición 220 pp.
- Febles, J. M., y J. A. Febles (1988): *Las causas, factores y procesos que intervienen en la erosión acelerada de los suelos*. Monografía. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana, Fructuoso Rodríguez Pérez, 63 pp.
- Febles, J. M. (1999): Estimación de las pérdidas de suelos por erosión y algunas medidas de conservación. ECV. Nueva Paz". Impr. ISCA-H; 1-21; 1999.
- Febles, J. M. *et al.* (2001): Transformando el Campo Cubano. Avances de la Agricultura Sostenible. ACTAF. Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales. Pp. 165- 190 Cuba
- Febles, J. M., M. A. Pacheco, I. Castro, y L. Jerez (2005): "Creación de una red de indicadores de sostenibilidad en áreas rurales de La Habana. Primer año de resultados" [inédito], Universidad Agraria de La Habana.
- Gutiérrez, R. y F. Rivero (1975): Estudio geológico de la zona de Callajabos, Madruga Habana. *Serie Geo* (12):12-16
- Gounou, E. y Febles, J. M. (1997): "Aplicación del enfoque morfoedafológico al estudio de la variabilidad de algunos suelos en un geosistema cárstico (La Habana, Cuba)" [inédito], tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas, Facultad de Agronomía, Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez.
- Hernández, A., A. Cabrera, M. Ascanio, M. Morales, L. Rivero et al. (1999). Claves para la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba
- Jaimez, E.S.; Campos, D.; García, A.; Guerra, O.; Gutiérrez, B.; Olivera, J.; Villariño, J.; Pacheco, E.; Alcaide, J.; Fleita, R. (2003): Diagnóstico Ambiental e Interpretación de los Suelos de las Provincias Habaneras, Cuba. *Rev. Ciencia de la Tierra y el Espacio*. 13(1):01-15
- Kilian, J. (1972): Les inventaires morphopédologiques. Conception. Application au développement agricole. *L'Agronomie Tropicale*, vol. XXVII, 9 pp. 930 – 938.
- Morgan Model for soil erosion mapping. The case study in Tambon Khao Hin Sorn, Amphoe Phanomsarakam, Chachoengsao province, Thailand. En *23rd Asian Conference on Remote Sensing*, Kathmandu, Nepal, *Proceedings*, Disponible en Internet: URL <<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2002/sol/223.pdf>>

- Morgan, R. P. C. (2001): A simple approach to soil loss prediction. a revised Morgan–Morgan–Finney model. Catena, 44:305 – 322.
- Orellana, R. G. (1996): Estado físico del suelo, base fundamental de los rendimientos agrícolas. En VIII Jornada Científica INIFAT, La Habana, Memorias.
- Orellana, R., y J. Moreno (2001): Susceptibilidad de los suelos cubanos a la degradación. En Memorias, XV Congreso Cubano de las Ciencias del Suelos, La Habana.
- Paneque, J.; Fuentes, Enma; Soto, R.(1996): Resumen nacional del mapa de suelos a escala 1:25 000. Resúmenes IV Jorn. Cien. del Inst. De Suelos y II Taller Nacional sobre desertificación; C. Habana, , p: 23.
- Ponce de León, D. (2003): “Las reservas de carbono orgánico de los suelos minerales de Cuba. Aporte metodológico al cálculo y generalización espacial” [inédito], tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas, Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez
- Primavesi, A.(1990): Manejo ecológico del suelo; La agricultura en regiones tropicales (Río de Janeiro); 9na Ed.
- Rossignol, J. P. (1987): Los estudios morfoedafológicos en el área Xalapa - Coatepec, Veracruz; ORSTOM, Mexico, , p: 23-34.
- Shepashenko, G., M., Riverol, y N., Calzada (1984): La erosión hídrica y los métodos de combatirla en los países en vías de desarrollo con clima tropical y subtropical. Reporte de Investigación. No.10, Instituto de Suelos, Academia de Ciencias de Cuba ISACC (10): 40 pp.
- Shishov, LL, Tokonogov, V. D., Lebedeva, II, Guerasimova, M.I. Diagnóstico y Clasificación de Suelos de Rusia (en ruso). Instituto de Suelos VV. Dokuchaev. Editorial Oikumena. Moscú, 341p.2004
- Valdés, J. (1975): La conductividad hidráulica anisotrópica y su relación con el carso. Voluntad hidráulica, 33:15-18.
- Spiridonov, A., R. Busto, J. Mateo (1976): Las morfoestructuras de la provincia La Habana. Serie Geog. 12.
- Tricart, J. (1965): Principes et méthodes de la géomorphologie. Ed. Masson, Paris, 650 pp.
- Tricart, J., y J. Kilian (1979): L'écogeographie et l'aménagement du milieu naturel. Ed. Maspero, Paris. 319 pp.
- Tokonogov, V. D i Guerasimova, M.I.Agrgenic pedogenesis and soil evolution International Conference of Global Soil Change. Instituto de Geología, UNAM.
- Vega, M. y J. M. Febles (2005): Investigación de suelos erosionados: métodos e índices diagnósticos. Minería y Geología, XXI(1-2).
- Vega, M. y J. M. Febles (2006a): Evaluación de la erosividad de la lluvia en regiones de uso agropecuario en la porción central de la provincia La Habana. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 40(2).
- Vega, M., y J. M. Febles (2006b). EVERC: Nuevo método de evaluación de la erosión de los suelos en regiones cársicas. En XIII Conferencia de Ingeniería y Arquitectura, Cujae, La Habana, Memorias,

MANEJO DE PRODUCTOS QUIMICOS CADUCOS PARA UN MEDIOAMBIENTE LABORAL SANO

MARIA DIAZ GARCIA

Empresa Geominera Isla (EGMI)

RESUMEN

El trabajo expone de forma clara y concreta las acciones que deben acometer las Empresas que posean productos químicos caducos, con el objetivo de minimizar las afectaciones que a la salud de los trabajadores estos puedan producir, el accionar va desde la identificación, diagnóstico de las condiciones reales de almacenaje y la selección de las acciones preventivas y correctivas correspondientes para proteger la salud de los trabajadores.

Lo cual garantiza el cumplimiento de las disposiciones emitidas por el CITMA y los compromisos internacionales contraídos por Cuba, a la misma vez que soluciona el almacenamiento de los productos químicos caducos de forma centralizada, para su posterior tratamiento final cuando las condiciones de recursos del país lo permitan.

Se recomienda la agrupación de estos productos que posibiliten la utilización racional de los recursos a utilizar, para garantizar su seguridad y condiciones de almacenaje sin afectación al medioambiente y a la salud de los trabajadores que laboran en nuestras instituciones.

ABSTRACT

The work exposes in a clear and concrete way the actions that should attack the companies that possess products chemical olds, with the objective of minimizing the affectations that to the health of the workers these they can take place, working goes from the identifications, I diagnose of the real conditions of storage and the selection of the preventive actions and corresponding corrects to protect the health of the workers.

To guarantee the execution of the dispositions emitted by the CITMA and the international commitments contracted by Cuba, to the same time that solves the storage of the products chemical olds in a centraliced way, for their later final treatment when the conditions of resources of the country allowed.

The grouping of there products in recommended that facilitate the rational use of the resources to use, to guarantee its security and conditions without affectation to the medium atmosphere and the health of the workers that you/ they work in our institutions.

INTRODUCCION

Cuba forma parte de los países firmantes de Convenios Internacionales vinculados a la gestión de sustancias químicas, tóxicas y desechos peligrosos.

Situación Ambiental Actual.

Entre los problemas ambientales de mayor relevancia en el ámbito nacional, se incluye la existencia de acumulaciones de productos químicos ociosos y caducos, la peligrosidad de estos componentes para la salud de los trabajadores de las entidades afectadas y las poblaciones del entorno, además de la baja disponibilidad de facilidades nacionales para el tratamiento y disposición final de los mismos.

La Empresa Geominera Isla es una de estas entidades, la cual posee productos químicos almacenados desde hace 10 años, derivados de los análisis químicos que se utilizaban en el

procesamiento del oro en Mina Delita y quedaron sin uso al concluirse los trabajos de exploración detallada del mismo.

En la actualidad dichos productos químicos se encuentran ubicados en el laboratorio de la Empresa, donde no existen las condiciones requeridas de almacenamiento, sin embargo es imprescindible garantizar su seguridad.

Al realizar el diagnóstico de la situación existente se determinó por inventario un grupo de productos químicos caducos no identificados y otros nocivos y peligrosos para la salud y el medio ambiente.

Se elaboró un plan de manejo de estos productos, dividido en cuatro etapas para ser ejecutado con los medios propios de la empresa, en un periodo de dos años, pero ello no constituye la solución del problema.

En los momentos actuales caracterizar los productos químicos no identificados, confinar todos aquellos que no sean útiles y aplicar el tratamiento y disposición final sin afectar el medio ambiente, de forma independiente por cada entidad, implicaría un gasto de recursos que el país no esta en condiciones de ejecutar, lo que hace poco viable esta variante.

MATERIALES Y METODOS

Para llevar a cabo el plan de manejo se siguió la siguiente estructura:

Etapas I. Diagnóstico de la situación existente

- Se confeccionó el inventario de productos químicos caducos, detectándose un grupo de productos sin identificación
- Acciones: Aislar los productos químicos no identificados, así como la cuantificación de los Kg.

Etapas II. Identificación y selección de acciones.

- Estos productos químicos permanecieron en el laboratorio sin utilizarse por un período largo de tiempo.
- Acciones: Identificar los productos con tarjetas de estiba, clasificarlos y señalar su grado de peligrosidad.

Etapas III. Acciones preventivas.

- Al custodiar estos productos químicos caducos, se hace necesario crear un local para el almacenaje temporal de los mismos.
- Acciones: Definir la ubicación del futuro almacén, instalación de ventilación, gestión de medios de seguridad y establecer sistemas de inspección a nivel de Empresa.

Etapas IV. Capacitación y entrenamiento del personal.

- El objetivo es lograr que se alcance el conocimiento necesario para un manejo adecuado de los productos químicos por los responsables de su custodia y proteger la salud de los trabajadores de la entidad y el medio ambiente.
- Acciones: Distribuir información sobre manejo de productos químicos peligrosos y elaborar un programa de sensibilización y educación ambiental.

RESULTADOS

Los productos químicos en existencia son caducos, por lo cual no existe garantía de su uso en nuestra entidad ni en otras, nuestra finalidad es almacenarlos temporalmente dentro de la entidad.

La capacidad técnica y financiera de la entidad no permite el tratamiento y disposición final de los productos químicos con medios propios, por lo cual consideramos procedente el almacenaje temporal hasta que existan las capacidades nacionales y los requisitos técnicos necesarios para su posterior tratamiento.

DISCUSIÓN

Nacionalmente están establecidas las normas de almacenaje, resoluciones y contravenciones respecto a los productos químicos tóxicos y desechos peligrosos, así como, la autoridad competente sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. Sin embargo a lo largo del país existen varias entidades como la nuestra, que poseen productos químicos ociosos y caducos almacenados por varios años, donde esta permanencia no cumple objetivo.

Las condiciones para un medio ambiente laboral sano que las entidades puedan garantizarle al personal, son mínimas, si la comparamos con el grado de nocividad y peligrosidad que representa la existencia de productos químicos almacenados sin un valor de uso, en algunos casos sin personal capacitado para estos fines, solo por el simple hecho de mantenerlos inventariados, almacenados y controlados.

Para llevar a cabo el tratamiento y disposición final de los productos químicos caducos de forma eficiente, en las condiciones actuales de reordenamiento de la economía nacional, y para hacer más viable la gestión de ventas a Empresas nacionales de los productos químicos ociosos, se impone centralizar la ubicación de estos productos a nivel de país en un almacén. De igual forma designar un organismo con los recursos humanos, materiales y financieros que lleve a cabo el cumplimiento de las etapas del ciclo de vida de los productos químicos (transporte, almacenamiento, uso, tratamiento y disposición final).

CONCLUSIONES

- Este trabajo constituye una acción indispensable para dar cumplimiento a los principales objetivos establecidos por el CITMA a nivel de la Empresa.
- Es una solución inmediata y de carácter temporal, hasta que mejore la disponibilidad de facilidades nacionales para el tratamiento, y disposición final de los productos químicos caducos.

RECOMENDACIONES

- Agrupar todos los productos químicos ociosos y caducos existentes a nivel de provincia en un almacén central, dirigido por el CITMA en cada territorio.
- Garantizar las condiciones mínimas de seguridad de los almacenes designados para estos productos por los Órganos Locales del Poder Popular de cada provincia y el Municipio Especial Isla de la Juventud.

- Designar un organismo Central del Estado responsable del almacenaje, tratamiento y disposición final de los productos químicos caducos y para el caso de los productos químicos ociosos realizar la gestión de ventas de los mismos.
- Designar en cada Provincia y el Municipio Especial Isla de la Juventud un organismo responsable del traslado de estos productos desde los almacenes centrales temporales hasta los almacenes nacionales designados para recibir los productos químicos caducos y ociosos.

BIBLIOGRAFIA

Decreto Ley 107/88 Control de sustancias químicas explosivas o toxicas.

Decreto 154/ 89 Reglamento para el control de explosivos industriales, municiones y sustancias químicas explosivas o toxicas y sus contravenciones.

Ley No 81/97 Ley del Medioambiente.

Resolución No 87 /99. Regulaciones para el ejercicio de las funciones de la autoridad nacional y punto de contacto del Convenio de Basilea Sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación.



PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES PROVOCADOS POR PROCESOS GEOLÓGICOS EN EL GRAN CARIBE

Mireya Pérez Rodríguez⁽¹⁾, Alfredo Norman vega⁽²⁾.

^(1,2) Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.

INTRODUCCIÓN.

El Gran Caribe se encuentra en una zona geológica de emplazamiento de varias placas tectónicas (Caribe, Norteamericana, Cocos y Nazca), Figura 1, el movimiento de estas placas y la interacción entre éstas hace mas vulnerable a que se provoquen eventos geológicos de gran importancia en esta área. Los eventos geológicos no pueden ser prevenidos ni pronosticados con alguna precisión, el Gran Caribe es una región donde incluso desastres naturales pequeños pueden matar a miles de personas debido a la degradación ambiental, las construcciones precarias y la gran cantidad de población que reside en las áreas costeras.

Por lo que establecer planes de prevención y mitigación de impactos ambientales por procesos geológicos se hace cada vez más necesario en nuestra región.

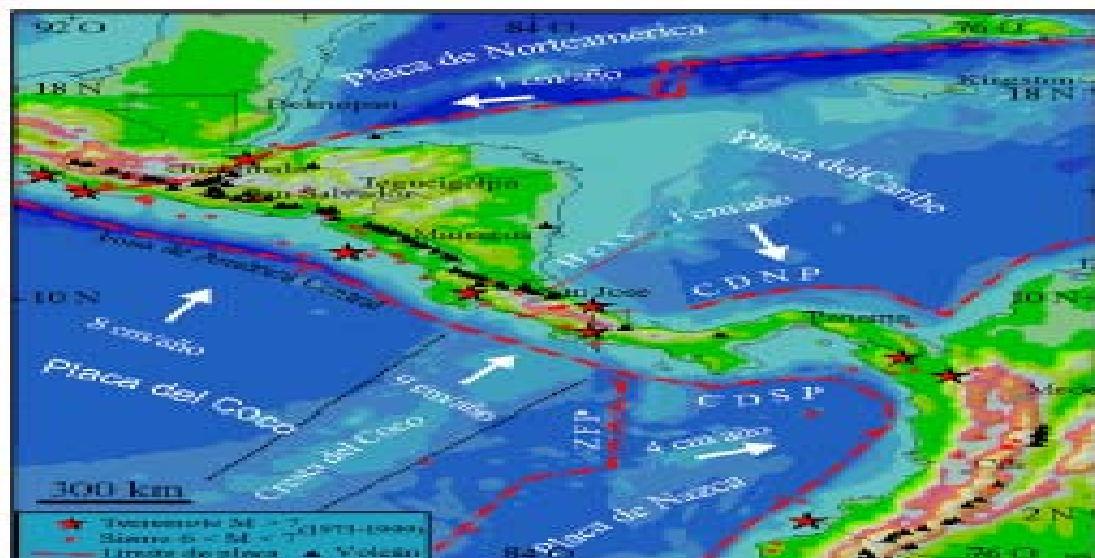


Figura 1. Distribución de las placas en la región del Gran Caribe.

Principales eventos geológicos

Los eventos geológicos se destacan por su comienzo extremadamente rápido lo que trae como consecuencia la ocurrencia de grandes desastres.

Entre los más importantes y frecuentes en nuestra área tenemos:



Terremotos, volcanes, tsunamis, deslizamientos, subsidencias e inundaciones fluviales y costeras.

Los terremotos tienen la capacidad de infligir las mayores pérdidas de vidas humanas y propiedades que cualquier otro riesgo geológico. Unas 10000 personas como promedio mueren cada año a causa de terremotos. Los daños de los terremotos también se incrementan por efectos secundarios como son: incendios, deslizamientos de tierra, olas sísmicas que rompen contra costas distantes.

La mayoría de las áreas expuestas a tales eventos se pueden identificar como zonas de fallamientos sísmico, volcanes activos, cada 50 años tienen lugar terremotos de importante magnitud en el Gran Caribe. La distribución de los terremotos en el mundo ha sido el núcleo de la teoría de la Tectónica de Placas, pues su distribución coincide con la de los volcanes activos y dibuja las grandes placas de la corteza terrestre. Los dos grandes cinturones sísmicos son el cinturón circumpacífico, con el 76% de sismicidad mundial y el cinturón asiático-mediterráneo con el 22%, nosotros estamos situados en el primero, como se puede observar en la Figura 2.

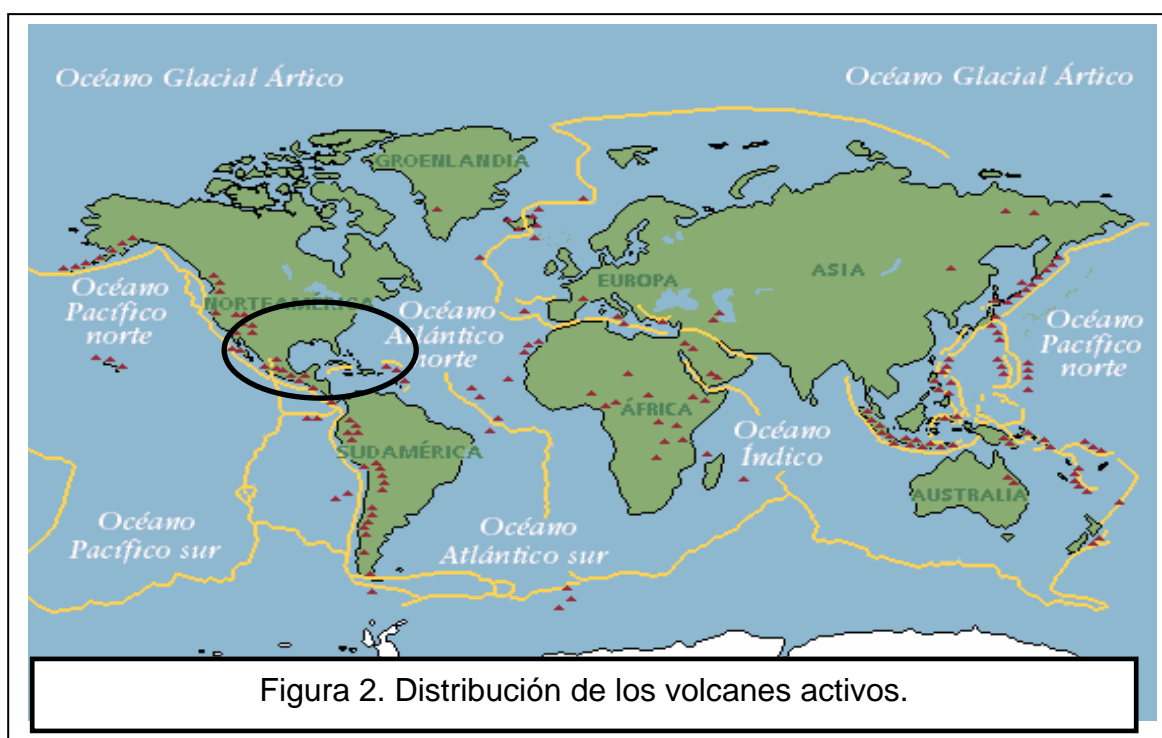


Figura 2. Distribución de los volcanes activos.

Vulcanismo. Si el mismo ha tenido actividad en tiempo histórico se considera activo. Los volcanes dormidos son los que han permanecido inactivos durante muchos años, pero conservan el potencial de retornar a tener actividad. Los volcanes extintos son los que no tienen posibilidad de futuras erupciones. Existen en el mundo 760 volcanes activos y en nuestra área (en Centroamérica) fundamentalmente existen volcanes activos los cuales constantemente se observan lanzando cenizas y gases al aire ejemplo de ellos tenemos el grupo Masaya en Nicaragua, siendo el cráter Santiago, específicamente, el único en el continente americano que presenta en su fondo lava permanente.



Volcán Masaya. Nicaragua, 2005

Un grupo de científicos en el año 2004 advirtió que el Gran Caribe podría ser escenario de tsunamis mortíferos y enfatizó la necesidad de un sistema de aviso de maremotos en la región.

El Gran Caribe tiene algunas de las zanjas marinas más profundas del mundo, la Fosa Caimán al sur de Cuba con 7535 m de profundidad y la Fosa de Puerto Rico con 8605 m. Es en esas zanjas donde se generan los maremotos y mientras más profundas son, más rápido se forman las olas mortíferas.

La última vez que los tsunamis golpearon la región fue en 1992 en las costas de Nicaragua, anteriormente en 1946, ocurrió un tsunami tras un terremoto de 8,1 grados en el estrecho de la Española, más de 1.700 personas murieron entre la República Dominicana y Haití.

Los movimientos de laderas, deslizamientos, son uno de los procesos geológicos mas extendidos y frecuentes y constituyen un peligro a las vidas humanas, los cultivos y la infraestructura: carreteras, viviendas etc. Esto se puede producir por el grado de sismicidad de la región, por el vulcanismo o por fuertes lluvias y las características texturo-estructurales de las Formaciones geológicas.

Inundaciones, pueden ser fluviales y costeras, son eventos muy frecuentes en nuestras áreas producto de las actividades meteorológicas de la región del Caribe.

Las inundaciones fluviales son un evento natural y recurrente para un río y son el resultado de lluvias fuertes o continuas que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los ríos, riachuelos y áreas costeras. Esto hace que un determinado curso de aguas rebalse su cauce e inunde tierras adyacentes. Las llanuras de inundación son, por tanto, "propensas a



inundación" y un peligro para las actividades de desarrollo si la vulnerabilidad de éstas excede un nivel aceptable.

Otro evento geológico el cual produce impactos ambientales grandes en nuestra región es la subsidencia, provocada por fenómenos geológicos naturales tales como :terremotos (movimientos fuertes del suelo), actividad volcánica al vaciarse las cámaras magmáticas desde donde proviene la lava y que provoca el colapso y cuando la subsidencia ocurre sobre áreas mucho mayores se forman las calderas. También producto de la disolución de rocas como calizas, dolomitas, yeso y anhidrita, cuando colapsa el techo de las cavernas desarrolladas por la acción disolvente de las aguas subterráneas se forman depresiones circulares conocidas como "dolinas o sumideros"

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Establecer planes de prevención y mitigación de los desastres naturales tanto en el plano nacional como regional.

Estricto cumplimiento de las leyes y regulaciones ambientales de cada país y de los convenios y tratados para la protección del medio ambiente de la región del gran caribe.

La protección y conservación del medio ambiente es una acción integral con la participación de todos, por lo que se debe priorizar la educación ambiental dando preferencia al conocimiento de los eventos geológicos por los peligros que los mismos conllevan.

BIBLIOGRAFÍA.

- Ariosa, J. D. (2001). Evaluación de Amenazas ambientales. Conferencias. Universidad Nacional de Ingeniería. Nicaragua.
- Keller, E. (1996). Environmental Geology. 7^{ma} Edición. Universidad de California. New Jersey.
- Pérez, Rodríguez M. (2005). Conferencias de Geología Ambiental. Universidad Nacional de Ingeniería. Nicaragua.
- Rodríguez, Pérez. J. (1999). Conferencias de Geología Ambiental. Departamento de Geociencias. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Cuba.

DEPÓSITOS DETRÍTICOS GRUESOS PRODUCIDOS POR EL HURACÁN WILMA, SOBRE LA COSTA AL OESTE DE COJÍMAR, CIUDAD DE LA HABANA

Dr. Reinaldo Rojas-Consuegra y Lic. Jorge Isaac-Mengana.

Museo Nacional de Historia Natural. AMA-CITMA. C.e: rojas@mnhnc.inf.cu

Resumen

El huracán Wilma provocó extraordinarias marejadas que azotaron el litoral occidental de Cuba. El tramo costero situado al oeste del poblado de Cojímar recibió la acción sostenida, por casi 72, de extremadamente fuertes trenes de olas y corrientes unidireccionales marinas. Mediante el análisis sedimentológico moderno, se pudo obtener un nuevo conocimiento sobre los procesos sedimentológicos ocurridos en la interfase de los ambientes: marino-terrestre.

Los efectos de este evento anómalo se verificaron sobre diferentes elementos del ambiente afectado, donde se incluye el material detrítico, la roca costera, el suelo y la vegetación costeras, y los materiales antropogénicos existentes. Los resultados evidencian regularidades significativas, cuyo conocimiento adquiere un apreciable valor metodológico.

Se destaca que la desaparición de la franja de vegetación costera, amplifica los efectos destructivos de las tormentas, aumentando la vulnerabilidad de las construcciones situadas en la zona supramareal proximal, las cuales están expuestas permanentemente al peligro real de los recurrentes efectos de los huracanes.

Introducción

En octubre de 2005, el huracán Wilma provocó extraordinarias marejadas que azotaron varias partes del litoral occidental de Cuba. El tramo costero situado al oeste del poblado de Cojímar recibió la acción sostenida, por casi 72, de fuertes trenes de olas y corrientes unidireccionales, de dirección y sentido NW a SE. Este incremento anómalo de la energía con que el mar impactó sobre la línea costera del occidente cubano en esta etapa de tormenta, produjo desacostumbrados efectos sobre la zona intermareal y supramareal del área, los que se caracterizan en el presente trabajo (Fig.1).



Figura 1 Olas de entre 3 y 4 m de altura azotaron el poblado de Cojímar durante casi 72 horas (Fotos cortesía de Emilio Alfaro).

El fijar las consecuencias de eventos de alta energía poco recurrentes, nos pueden preparar para comprender mejor las manifestaciones naturales que afectan al medio ambiente, y mejorar nuestra capacidad para enfrentarlas, disminuyendo los daños que pueden infringir, tanto a la infraestructura económica del país como al propio medio natural.

Materiales y métodos

Utilizando los métodos y técnicas de recogida de la información que brinda el análisis sedimentológico (Arche, 1992; Vera-Torre, 1994), se pudo obtener una información inédita en nuestro país, sobre la ocurrencia de procesos de interacción que han tenido lugar en el ambiente de la interface entre medios distintos: marino-terrestre.

En este caso, se trató con depósitos sedimentarios originados sobre el medio terrestre, pero inducido por la acción de las aguas marinas, en forma de flujo unidireccionales (abanicos de arena o *washover fans*; Dabrio, 1992). Esta característica distingue a este tipo de depósito por lo poco usual de su ocurrencia, pues lo común es que el aporte detrítico se produzca, por lo general, en sentido contrario, es decir del territorio emergido o área fuente hacia la cuenca marina, a través de la descarga de materiales por las corrientes fluviales o por flujos aluviales temporales.



Figura 2 Área de estudio, situada al oeste del poblado de Cojímar, este de La Habana (Google).

La fuente de los detritos (todo material fragmentario o no, que aparece en este tipo particular de depósito) son principalmente los propios depósitos costeros. Estos son antiguas acumulaciones de clastos o fragmentos costeros, materiales biogénicos temporalmente acumulados en la zona intermareal o supramareal cercana, fragmentos arrancados desde las rocas de la franja intermareal, materiales acumulados antrópicamente (basura y desechos de construcciones), y además, materiales aportados por el oleaje y corriente marina durante el ataque del huracán, sustraídos desde el fondo marino, al aumentar la profundidad de la base de ola, acrecentando la remoción subacuática de detritos.

Sobre esta base conceptual, se midió la distribución de los diferentes materiales (mediante el uso de cintas métricas: 5 y 50 metros), sus distintos patrones de comportamiento durante el flujo y acumulación, se determinó la dirección del flujo principal (con brújula geológica), las distancias de desplazamiento de los bloques siempre que fue totalmente confiable; y además, toda la información fue fijada en esquemas y fotografías.

Estudio de los flujos de detritos y distribución de los materiales

Se distinguieron para el estudio dos tipos de segmentos de la franja costera, uno con vegetación como barrera entre el mar y tierra adentro (barrera natural), y otro con acumulaciones en forma de barreras construidas por el hombre (barrera artificial), (Fig.2).

En el primer tipo de segmento de tramo costero, la superficie del terreno es llana y la vegetación forma franjas paralelas a la línea de costa (cota 0 ó de nivel normal del mar: nnm), en forma más o menos primaria. Aunque se evidencia la acción antrópica sobre el medio, esta no ha producido significativas alteraciones del relieve, pero sí sobre la cobertura vegetal original.

Por ello, la principal barrera de protección del medio terrestre ante la acción destructiva o modelativa del mar en este tramo costero, está constituida por la franja de Uva caleta, que presenta entre 15 y 20 metros de ancho, formada por plantas de poca altura (menos de 2 - 4 m), con troncos relativamente delgados (15 - 30 cm de diámetros) y enraizamiento superficial, aunque bastante extendido. El resto de la vegetación hacia la zona supramareal – intermareal son arbustos pequeños y hiervas ralas y escasas.

En este tramo, las observaciones se hicieron siguiendo los efectos identificados y distribuidos a lo largo de una línea de flujo de los materiales (sedimentos y bloques), desde la orilla del mar en dirección a tierra adentro. El sentido de la corriente fue del NW (azimut 310 grados) hacia el SE (130 grados), de donde se deduce también la dirección predominante del azote de los vientos más intensos y sostenidos.

En el tramo costero con barrera artificial, esta está constituida por el apilamiento con maquinarias de bloques, grava-arena y suelos, formando cordones en forma de muros de menos de dos metros de altura y unos 5-10 m de ancho, de forma paralela a la costa, situado a unos 40-50 m desde la orilla marina.

Discusión y Resultados

Los efectos del evento anómalo se verificaron sobre diferentes elementos del ambiente afectado, donde se incluyen el material detrítico, la roca costera, el suelo costero, la vegetación costera y los materiales antropogénicos existentes. Las interacciones entre estos elementos evidencian regularidades significativas, cuyo conocimiento adquiere un apreciable valor metodológico y de aplicación práctica.

A continuación se describen los efectos evidenciados y sus posibles orígenes o procesos causantes, aun cuando es evidente la necesidad de realizar evaluación de otros eventos similares, no obstante se presenta una útil información.

Manifestaciones de los efectos

Siguiendo la línea de efectos del flujo marino descrita en el sentido de mar a tierra, se evaluaron las diferentes manifestaciones físicas detectadas, basados en los rasgos sedimentológicos más evidenciados.

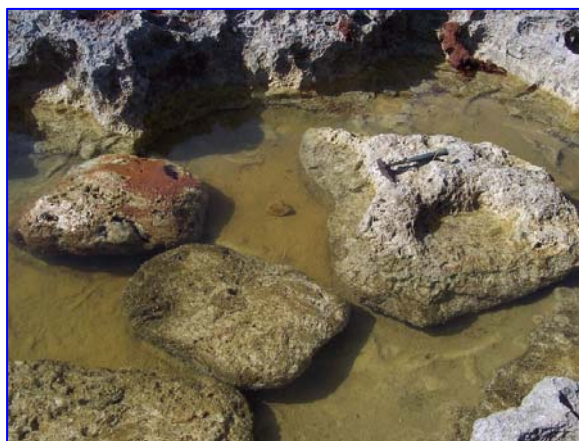


Figura 3. Pocetas (izquierda) conteniendo bloques subredondeados (derecha) que sufren un proceso de abrasión intenso durante las etapas de oleaje intenso, como durante el azote de los frentes fríos y las tormentas tropicales.

Aporte de huracanolitos

Por huracanolitos, en el presente trabajo, se entiende a los megabloques y bloques grandes (>1 m) dejados en la zona costera como resultado de las tormentas tropicales (Núñez-Jiménez *et al.*, 1988). Sobre la zona intramareal se verifica la ocurrencia de áreas de disolución sobre el diente de perro o *lapies*, debido posiblemente a la mezcla de aguas, donde se han formado oquedades o piscinas naturales, episódicamente inundadas (llamadas en lo adelante pocetas).

Durante el azote de la tormenta estas depresiones recibieron nuevos aportes de bloques y cantos subredondeados, levantados por el oleaje desde el talud y el fondo marino más somero, alcanzados durante la profundización de la base de ola (Fig.3). Pero solamente el material muy grueso, como los bloques y megabloques, finalmente puede quedar estancado en las pocetas, el material más fino es llevado en dirección a tierra adentro, quedando muy poca cantidad acumulada en las pocetas, posiblemente al perder fuerza el evento.

“Molino de piedras”

Las pocetas funcionan a semejanza de los antiguos “molinos de bolas de piedra”, utilizados en la antigüedad para la preparación de la harina de cereales, pues temporalmente funcionan como verdaderos transformadores de clastos y detritos. Este proceso parece ocurrir de la siguiente manera: dentro de las pocetas el material detrítico que ingresa en ellas aportado desde el fondo marino, sufre un intenso proceso de molienda, debido a su violento movimiento inducido por el agua, que conlleva al aumento del choque entre granos, deviniendo inevitablemente en la partición y desgaste mecánico por fricción del material detrítico. A medida que las partículas se hacen menores, son levantadas y arrastradas por el agua fuera de las pocetas en el sentido del flujo. Algunos megabloque pueden quedar atascados en la pocetas hasta que nuevos eventos futuros logren inducir su desplazamiento hacia la zona supramareal.

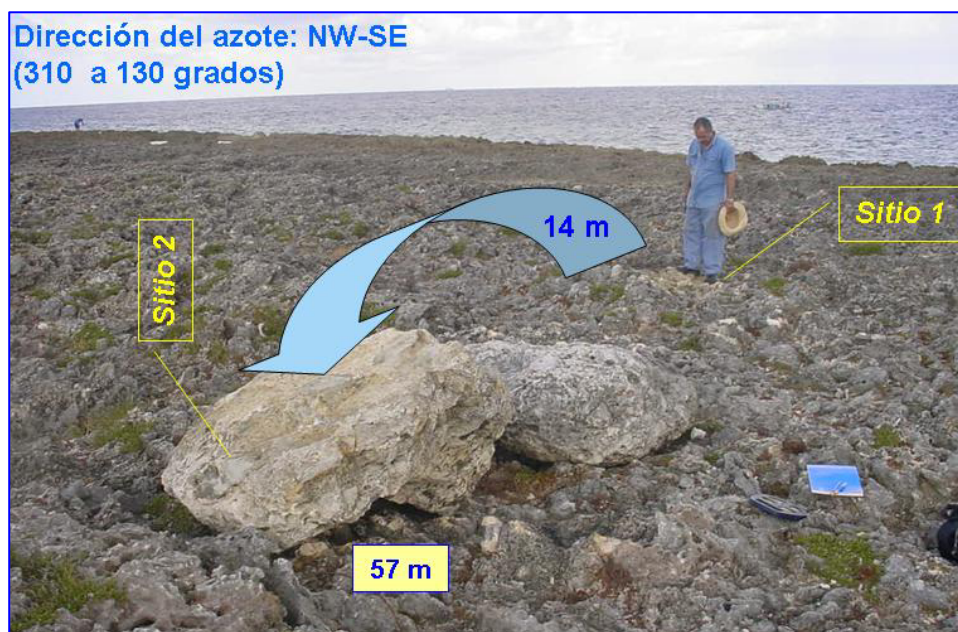


Figura 4 Megabloque movido desde el sitio 1 al 2, con un desplazamiento de 14 m, depositado a 57 m desde la línea de costa.

Desplazamientos de megabloques

El seguimiento de la ruta de desplazamiento de los megabloques, a través de sus huellas de arrastre y saltación, indicados por las roturas y fragmentación del *lapies*, es sencillo de realizar mediante la observación directa en este escenario (Fig.4).

Se observan las superficies de los bloques cascadas por los impactos al rodar o saltar sobre el diente de perro. La superficie inferior de los bloques, sobre la cual permanecían apoyados, en general es más clara y limpia que la superficie superior, la cual permaneció expuesta al intemperismo. Usando esta evidencia se determina confiablemente, por comparación y simple inspección, el desplazamiento, rotación o volcadura de los bloques preexistentes en el lugar de estudio. De igual modo, se hace posible en muchos casos, medir las distancias de desplazamiento o el recorrido sufrido por los distintos megabloques. Aquí se deducen varias generaciones de bloques acumulados:

- bloques antiguos- presentan superficies oscuras, con patinas de intemperismo, con óxidos, capas externas oscuras, musgos o rastros de vegetación, etc.
- bloques recientes- presentan colores claros, con superficies limpias, sin manchas producidas por el intemperismo, huellas de disolución, etc.

Esta diferenciación de los bloques permite deducir la ocurrencia de eventos anteriores en el área. También ayuda a deducir la secuencia de acumulación de los bloques que participan cuando se forman patrones de imbricación de bloques. En general la imbricación de bloques es evidente, con ángulos de imbricación alrededor de 45 a 60 grados, mostrando una inclinación de la superficie planas de los bloques hacia el mar, en sentido contrario a la influencia del flujo.

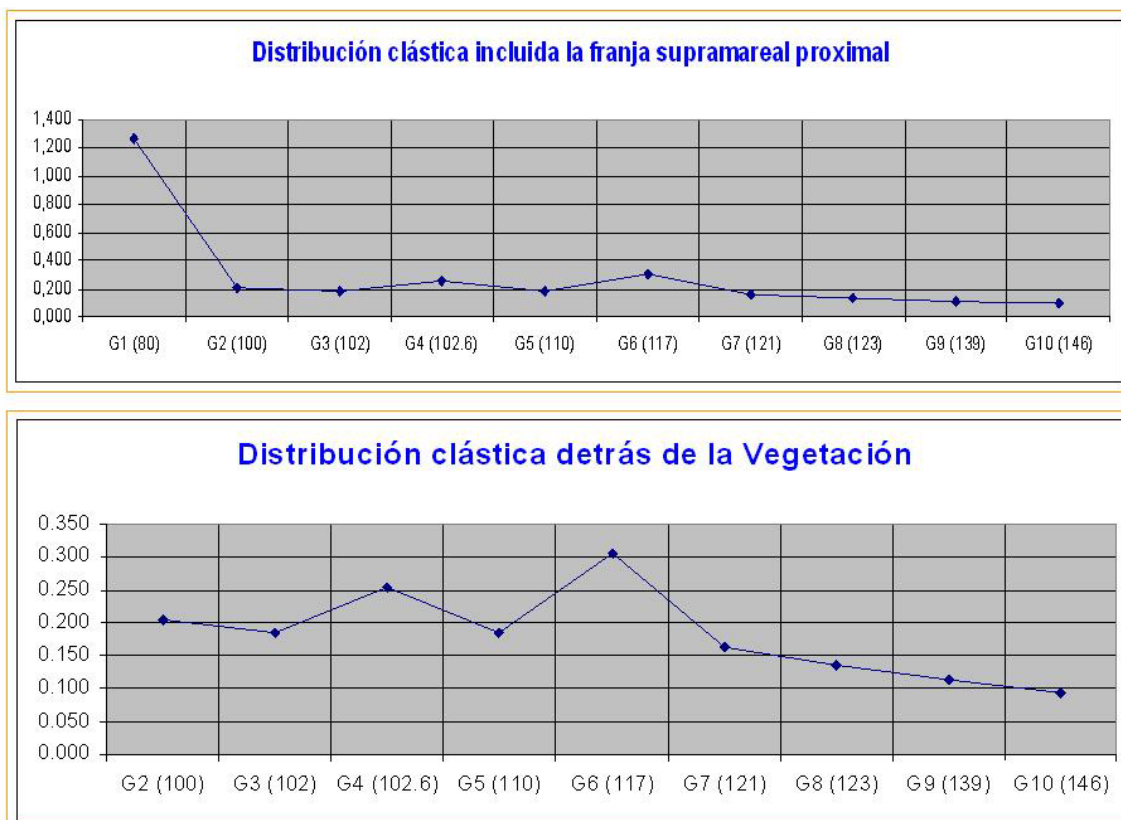


Figura 5 Los megabloques predominan en los primeros 80 m sobre la franja intermareal-supramareal, mientras que después de los 100 m (detrás de la franja vegetal) el tamaño de los bloques disminuye drásticamente; con solo algunos incrementos en los abanicos detríticos.

Se comprueba que algunos de los huracanitos fueron llevados tierra adentro sobre la zona supramareal a distintas distancias, en dependencia principalmente de su peso y forma. También se fija el efecto de su desplazamiento sobre la superficie del *lapies*, expresado en un rastro de golpeaduras y fragmentación de los bordes y partes agudas de las rocas, con acumulación o no de ese material en el área.

Grandes bloques, mayores de un metro (Fig.5, ver gráfico) que antes yacían sobre la zona supramareal proximal (área de diente de perro, de unos 30 – 40 m de ancho), que constituían probablemente huracanitos ya depositados anteriormente por eventos previos similares, y bloques antropogénicamente aportados, fueron desplazados decenas de metros tierra adentro.

También se evidencia que esta manifestación parece ocurrir como un proceso cíclico, donde los bloques son desplazados en dirección a tierra adentro, por etapas, adelantando varios metros cada vez, en dependencia de la energía del evento actuante.

Así, este conocimiento puede permitir diseñar un esquema de monitoreo del comportamiento de los megabloques en las zonas costeras donde estén presentes,

mediante el uso de marcadores y GPS, dando la posibilidad de caracterizar los procesos asociados a estos eventos energéticos anómalos.

Erosión del suelo en la zona supramarial proximal



Por el lado de sotavento, el fuerte flujo arrancó el suelo acumulado ya hacia tiempo (de entre 10 - 30 cm de espesor), dejando en su lugar la superficie limpia de la roca carsificada (diente de perro), ampliando la zona intermareal en algunos centímetros hasta más de un metro.

Algunos bloques fueron desgarrados directamente del diente de perro, y movidos decenas de metros desde su lugar de origen (Fig.6).

Figura 6 Huracanolito arrancado en la zona supramareal proximal y desplazado decenas de metros en dirección a tierra.

El suelo erosionado fue parcialmente acumulado sobre la franja de Uva caleta, y el resto del material más arcilloso, transportado tierra adentro. Este efecto formó concentraciones de conchas y fragmentos de corales, y otros restos biogénicos.

Daños a la vegetación

Sobre este obstáculo natural, que representó la franja vegetal, la corriente marina y el oleaje abrieron brechas por donde pasaron los flujos, marcadas por los árboles arrancados o doblados, con ramas partidas, machacadas y/o retorcidas, efecto producido por los impactos de cuerpos sólidos (bloques y cantos) en movimiento a apreciable velocidad.

Remoción y acumulación de sedimentos en la franja vegetal

Entre la maraña vegetal de la Uva caleta, se detuvo y acumuló un volumen significativo del material detrítico arrastrado por las aguas desde el mar, donde se evidencia el traslado de bloques grandes (mayores de un metro de tamaño) y la remoción y apilamiento de cantos y fragmentos, de tallas gravas y arenas, en general mezcladas y poco seleccionadas, algunos de los cuales estaban enterrados en los suelos removidos desde el borde de la franja intermareal-supramareal (Fig.7 y Lám.1). Este depósito exhibe una textura granosoportada, con muy escaso material fino, y prácticamente con ausencia total de material arcilloso; pues este fue lavado y transportado en suspensión tierra adentro.



En los lugares donde el flujo formó cañones, al atravesar las brechas horadadas entre la vegetación, la erosión del suelo fue intensa y solo se produjo acumulación a los lados de estos corredores, formándose camellones detríticos (talla grava a arena gruesa) entre los troncos y bloques mayores, ya escorados.

Figura 7 Bloques capturados y escorados por la franja vegetal de Uva caleta. Obsérvese la intensa erosión de agua sobre el diente de perro.

Abanico detrítico en la barrera natural

El material descargado al perder su fuerza la corriente a la salida de los cañones formó abanicos detríticos de distintas dimensiones. Este efecto favoreció el desplazamiento de bloques métricos tierra adentro de varias decenas de metros. Estos depósitos están seleccionados según su tamaño, pero se observa mezcla variada con la fracción de bloques



y gravas. Se constata que la orientación general de los ejes alargados de los bloques se dispone transversal al sentido de la corriente que les impulsaba, mostrando que su traslado ocurrió mediante rodamiento sobre el suelo. Aquí aparecen algunas acumulaciones en forma de filas, al quedar acumulado material delante y detrás de algunos megabloques o bloques relativamente grandes que ya se habían detenido (Fig.8 y Lám.1).

Figura 8 Abanico de gravas y bloques en el borde de la franja vegetal, en ruta hacia la parte trasera protegida.

Abanicos detríticos en la barrera artificial

En la zona de la barrera artificial se formaron significativos abanicos detríticos gruesos, talla grava y bloques, con una textura principalmente granosoportada, y una distribución particular de los megabloques. Estos grandes clastos, al parecer rodaron sobre el abanico y detuvieron su traslado al salir del abanico, según su peso, formando un rosario en semicírculo al final de abanico. Es llamativo su amplio desplazamiento tierra adentro, en lo que influyó el ligero descenso de la superficie y la escasa vegetación herbácea del lugar. (Fig.9 y Lám.2).

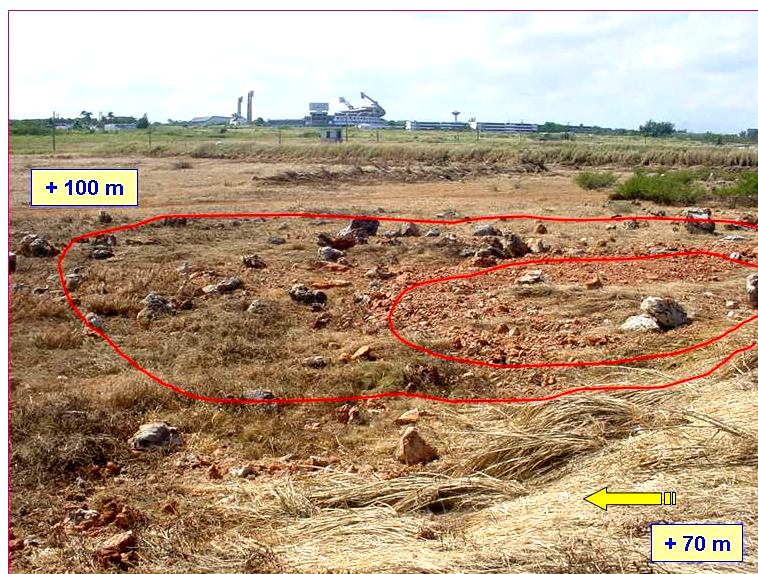


Figura 9 Abanicos detríticos formados detrás de la barrera artificial. Nótese la distribución radial de los bloques métricos tierra adentro.

Depósitos distales

Los depósitos distales consisten de arenas finas y arcillas, acumuladas en grandes áreas, lejanas de la orilla del mar (Fig.10 y Lám.2). En el caso que nos ocupa, estuvieron marcadas por la alta carga de elementos ligeros, los cuales son llevados en el flujo por flotación, a cientos de metros tierra

adentro (200 - 400 m). En general fueron abundantes los abanicos de mar, gorgóneas, las esponjas, las algas, etc. Junto a estos materiales naturales, fue muy significativo el aporte de material antropogénico de desecho, constituido principalmente por la basura de ciudad, que es habitualmente aportada por los ríos al mar, a lo largo de la zona costera de la ciudad.

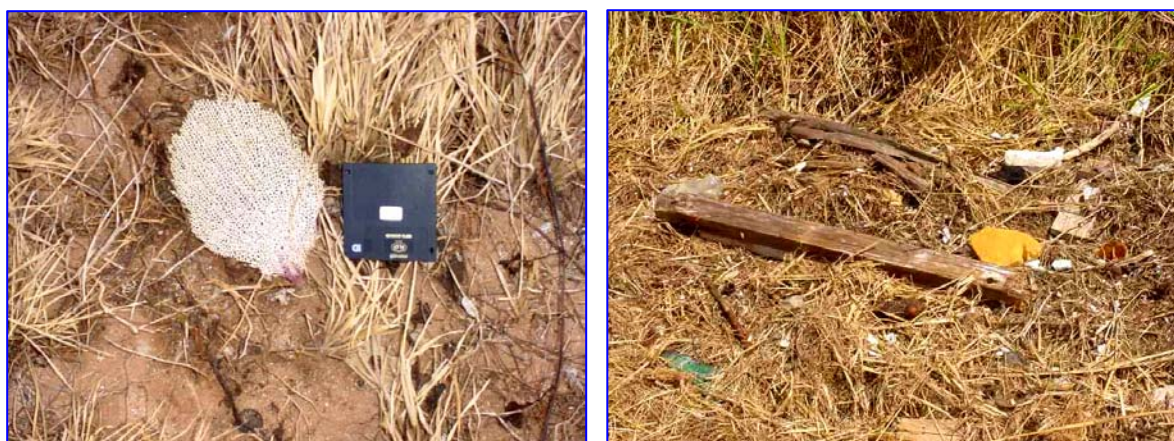


Figura 10 Materiales acumulados a cientos de metros tierra adentro, llevados por flotación hasta la parte más lejanas de las áreas inundadas.

Flujo marino

El flujo marino inducido por la tormenta tuvo carácter unidirección, con un sentido sostenido desde el mar a la tierra, lo cual determinó la dirección y sentido de desplazamiento del material detrítico que participó en este evento. Esta misma condición determinó la forma de la imbricación de los bloques, su desplazamiento en dirección a tierra adentro, la formación de las estructuras sedimentarias, la distribución zonal de los materiales, y su selección y acumulación, etc.

A diferencia de los depósitos de *tsunamis*, en el caso del flujo inducido por esta etapa de tormenta, asociada a la acción del huracán Wilma, no se evidencia haber tenido una componente de flujo invertido, es decir, el sentido del flujo parece haberse mantenido durante las casi 72 horas de influencia, sin que el agua acarreada sobre la zona inundada, regresara de forma violenta hacia el mar; lo que habría producido el arrastre y disposición de los materiales mostrando un sentido contrario, opuesto al sentido predominante.

Este comportamiento del flujo, al cesar la tormenta, parece haber estado condicionado, por la constitución geológica de la zona costera, la cual está caracterizada por presentar un amplio desarrollo cárstico subterráneo y superficial. Esta condición facilitó la infiltración rápida del agua aportada por el flujo marino hacia el subsuelo, evitando que se alcanzara un mayor nivel de inundación, y que al cese del flujo marino, sucediera una evacuación superficialmente violenta en dirección al mar, con la correspondiente inversión de los patrones de distribución sedimentaria.

Aplicación del estudio

La evolución de los efectos del presente evento indica que su intensidad y el comportamiento de los procesos sedimentológicos, es diferente entre un tramo costero y otro, en dependencia de sus características, y específicamente de las barreras de protección natural o barrera artificial (construcciones) que hayan asentadas el tramo de la línea costera (Fig.11).

Diferencias funcionales de las barreras ante el impacto

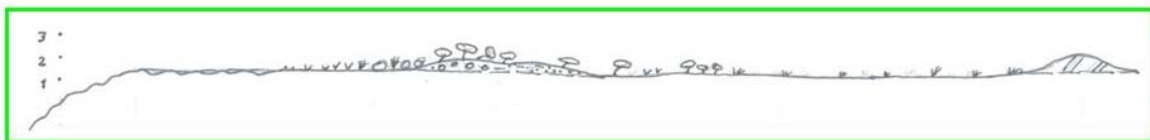
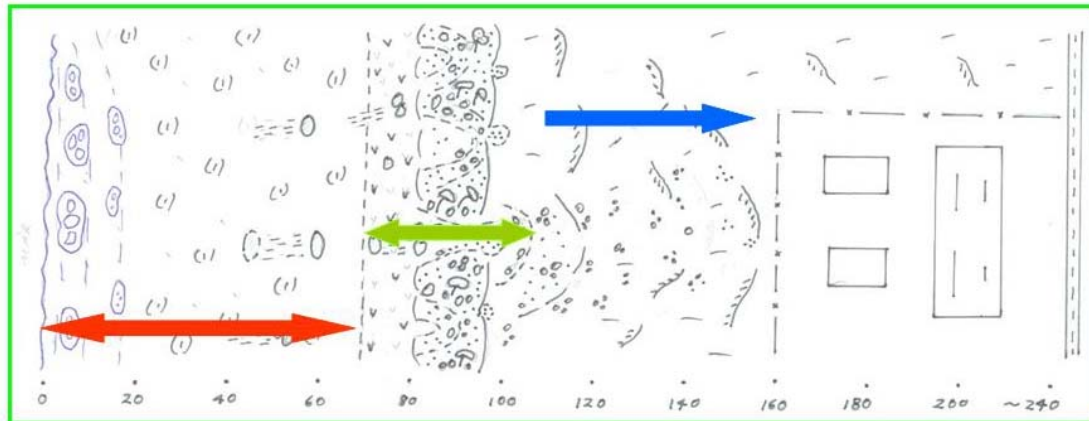
Barrera natural:

- La franja vegetal protege del impacto del oleaje y del viento a la zona supramareal,
- Impide el paso de los detritos marinos, o los filtra,
- Su recuperación natural no precisa de la intervención en recursos o infraestructura.

Barrera artificial:

- Puede incrementar el impacto mediante los materiales empleados en su construcción,
- Acrecienta el aporte de detritos artificiales tierra adentro,
- Se requiere de recursos adicionales para su reconstrucción.

Línea de flujo (con Barrera natural)



Línea de flujo (con Barrera artificial)

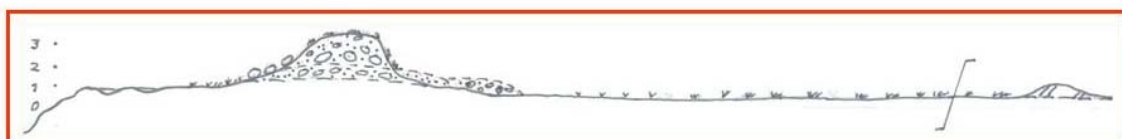
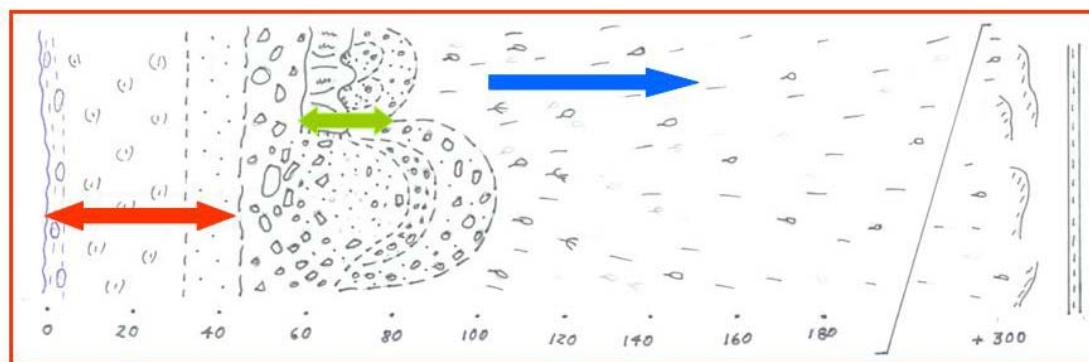


Figura 11 Obsérvese que el material arrastrado desde la berrera artificial fue llevado y acumulado nuevamente a la distancia optima natural entre 80 - 100 m, semejante a la posición que ocupa la acumulación detrítica en la barrera natural.

Conclusiones generales

1. Los rasgos, efectos físicos y procesos documentados y/o deducidos en el presente trabajo, poseen un apreciable valor metodológico, en la evaluación del impacto y de los riesgos ante eventos similares.
2. La información registrada muestra que es posible diseñar una programa de monitoreo en algunas partes de la franja costera, mediante el GPS, para caracterizar los eventos de tormentas anómalas.
3. Pudiera ser posible, mediante el estudio de los efectos sedimentológicos actuales de los huracanes, realizar la identificación de este tipo de depósito en el registro geológico, aumentando el conocimiento sobre sus efectos en el pasado, pues el registro histórico sobre estos eventos es muy limitado.
4. La franja de vegetación costera actúa como filtro natural de los depósitos de tormentas, su eliminación amplifica los efectos destructivos de las tormentas.
5. Las construcciones situadas en la zona supramareal proximal (entre la línea de costa y la franja natural de *Uva caleta*), están expuestas al peligro real de los impactos recurrentes de huracanes.

Recomendaciones

1. Esta valoración del comportamiento del ambiente ante el impacto de un evento energéticamente anómalo, como el inducido por el huracán Wilma, muestra la necesidad de la evaluación de los impactos en el medio físico, y de tomar en cuenta estas experiencias, para evitar la potenciación de la vulnerabilidad a la hora de la planeación territorial en áreas costeras.
2. Incrementar la evaluación sobre la magnitud de los impactos de huracanes, incluyendo el estudio del registro geológico reciente, teniendo en cuenta lo limitado del registro histórico existente.
3. En la evaluación de los impactos producidos por los huracanes deben considerarse el análisis de sus efectos sobre el medio físico natural.
4. Proteger y fomentar la franja costera vegetal, según la extensión que marca la formación dominada por la Uva caleta.
5. Suprimir las nuevas construcciones sobre la franja supramareal proximal, e incidir por retirar las ya existentes.

Bibliografía

- Arche A. (Coord.), 1992. Sedimentología. Volumen 1. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid 1992.
- Dabrio, C.J., 1992. Playas e islas barrera-*lagoon*, en: Arche A. (Coord.). Sedimentología. V. 1. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid 1992. p. 351-396.
- Núñez-Jiménez, A; N. Viña; M. Acevedo; J. Mateo y M. Iturralde-Vinent, 1988. Cuevas y carsos. Ed. Científico-Técnica, La Habana.
- Vera-Torre, J. A., 1994. Estratigrafía, principios y métodos. Editorial Ruedas, S. L. Madrid. 806 pp.

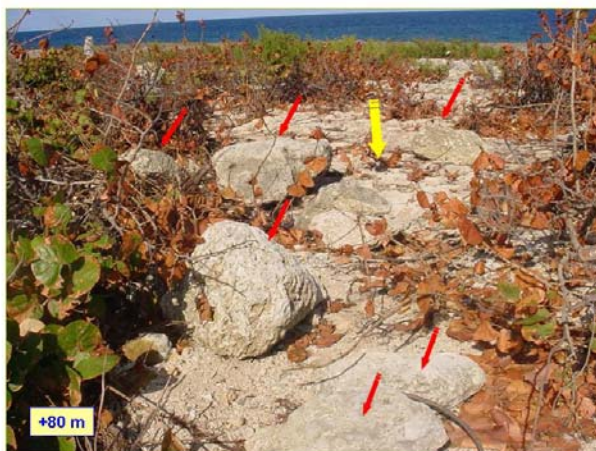
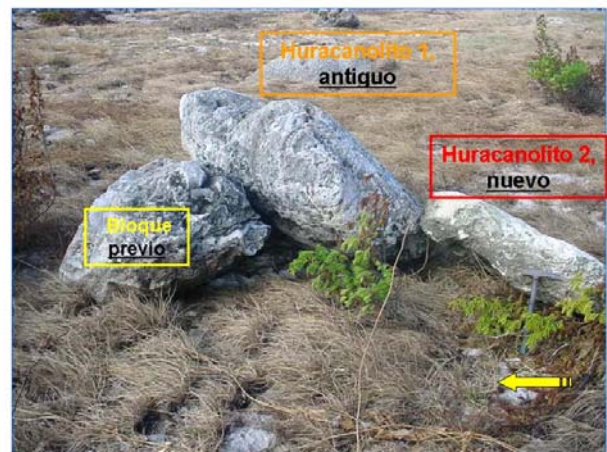
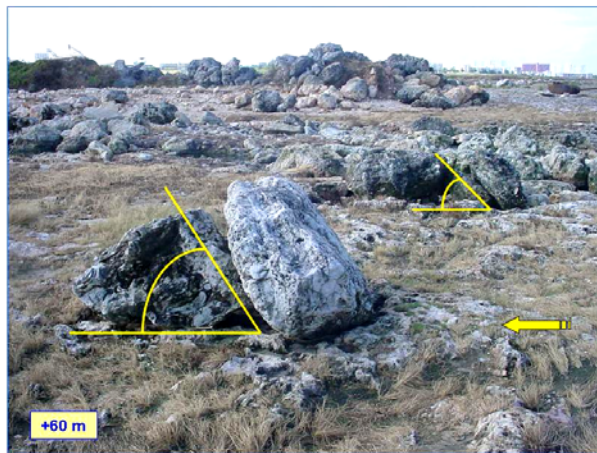
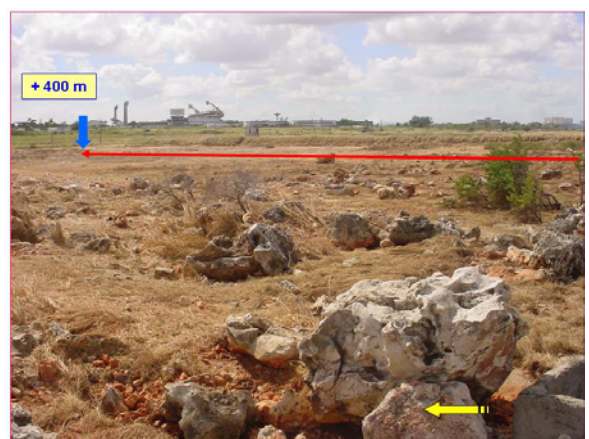
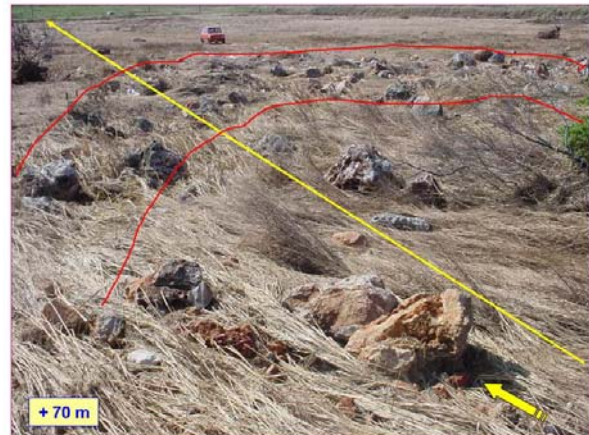
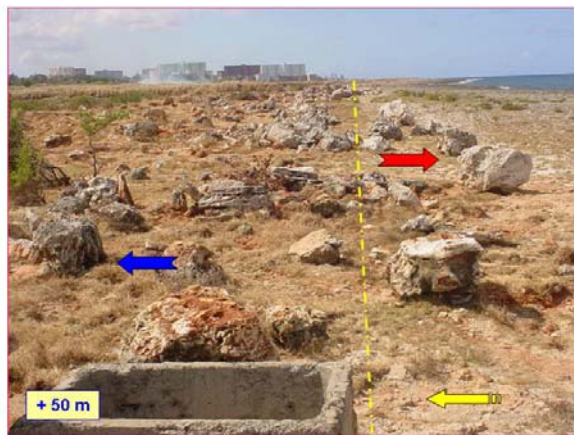


Lámina 1 Secuencia de estructuras y texturas sedimentarias originadas por el flujo marino sobre la franja costera, en el segmento desde los 60 a los 100 m desde la línea de costa. Imbricación de bloques y secuencia de acumulación de ejemplares de diferentes generaciones dinámicas (*arriba*); bloques en un corredor entre la franja vegetal de uva caleta (*medio*); orientación y disposición de los bloques relacionadas con sus formas y dimensiones (*debajo*).



Depósitos distales de basura



Lámina 2 Efectos del oleaje y depósitos detríticos gruesos relacionados con la barrera artificial. Desorganización de los bloques a partir de la destrucción de la barrera (*arriba y medio*). Acumulación de hojarasca filtrada por la franja vegetal en la barrera natural (*debajo izquierda*) y acumulación de basura en la parte distal durante la máxima inundación (*debajo derecha*).

UTILIZACION DEL CALOR INTERNO DE LA TIERRA. UNA CONTRIBUCION A LA REVOLUCION ENERGETICA EN CUBA

Autores: Roberto Peláez García ⁽¹⁾, Nelson González Cabrera ⁽²⁾

(1) Empresa Geominera Pinar del Río, MINBAS

(2) Centro de Servicios Ambientales (Ecovida) CITMA

RESUMEN

La Revolución Energética en Cuba sin dudas está marcando grandes cambios en la producción y uso de la energía en beneficio de la población y el país. En el caso específico de la energía eléctrica este trabajo se inscribe como prometedor pues consiste en esencia en generar electricidad muy barata y ambientalmente "limpia" sobre la base de utilizar el calor interno de la Tierra apoyándose en la localización de bloques con fuertes anomalías del gradiente geotérmico. El Mapa Geotérmico de Cuba será elaborado en este trabajo, pues el país no cuenta con este documento oficial actualmente. Muchos países del Mundo como EE.UU., México, Australia, Francia, Japón, entre otros tienen instaladas plantas eléctricas de tecnología binaria HDR (Heat Dry Rock) como se les conoce, que fueron instaladas para la producción industrial a partir del año 1997. Estos sistemas generan a partir del calor interno de los terrenos, con ayuda de un dispositivo de 3 pozos que le llaman "Tripletas", donde se inyecta agua dulce por dos y se explota vapor por el tercero, la capacidad de cada sistema es de 6 Mw. En Cuba no se conoce que se hayan dado pasos en esta prometedora dirección.

ABSTRACT

The Energy Revolution in Cuba is with no doubt making great changes in the production and use of energy as benefit to people. The present paper in the specific case of electric power generation, has a great significance as it essentially consists on a very cheap power generation manner and environmentally clean. The idea would be to use the internal heat of the earth which is concentrated in different blocks showing anomalies of the geothermic gradient, these anomalies are supposed to be shown in the geothermic map of Cuba, which is intended to be completed as a result of this project since currently the country does not count on this information in an official way. Nowadays, many countries (USA, Mexico, Australia, France, Japan and others) have already implemented HDR (Heat Dry Rock) technology. This is known as binary technology based on power generation on the use of the so called "Tripple Juntions" of 6 Mw capacity which are industrially installed since 1997. It consists on a set of three wells connected as a hydraulic system, fresh water is injected through two of the wells and steam is collected from the third one. As far as it is known, there is nothing done in Cuba on this regard.

INTRODUCCION

La Revolución Energética en Cuba recién comenzada a finales del 2005 realmente constituye un serio e importante paso de avance si tenemos en cuenta que hace unos 86 años Vladimir Ilich Lenin en Rusia pensó profundamente sobre este tema y elaboró una fórmula, vigente aun en nuestros días que matemáticamente expresó de la manera siguiente:

SOCIALISMO= PODER DEL PUEBLO + ELECTRIFICACION DEL PAIS

Teniendo en cuenta esta expresión se considera que los problemas energéticos en los países son de importancia nacional y deben ser tratados con la mayor profundidad a nivel de los gobiernos y seguidos muy de cerca por el ministerio que controla estos recursos, insertando a tiempo todos los avances tecnológicos que se vayan produciendo en el Mundo.

Pensando en esto, en el año 1998 cuando trabajamos en el Servicio Geológico Nacional de Colombia en Santa Fé de Bogotá con la tarea de revisar el Mapa Geotérmico del país, que se estaba elaborando en esos momentos, la revisión bibliográfica nos llevó a conocer un método de generación eléctrica conocido por las siglas HDR (Heat Dry Rock) que emplea el calor de las rocas secas y que se encontraba en pleno desarrollo en los Estados Unidos (Duchane D.V., 1992) y México desde finales de la década de los 70. Estudiando este material y otro sobre la Geotermia Venezolana (Franco, 1991), se llegó a la conclusión de que valía la pena desarrollar una línea de investigación en Cuba relacionada con este método y por ello para comenzar, a finales del 2005 presentamos un proyecto al Instituto de Geología y Paleontología del Minbas para comenzar a trabajar en esta línea de investigación con el objetivo de incorporar en el menor plazo posible conclusiones sobre este método y su posible aplicación en el país.

MATERIALES Y METODOS

Después de un análisis bibliográfico detallado así como la interpretación del Método HDR donde quedaron claras las exigencias que requiere metodológicamente la aplicación de este moderno método, considerado Geotérmico o de Minería de calor (Armstead y J. Tester, 1987) comenzamos a recopilar también toda la información de las aguas termo-minerales que tiene el país y analizar todo lo referido a las temperaturas en superficie y en algunos casos en profundidad, cuando los pozos exploratorios tenían registros de termometría que permitían calcular los gradientes geotérmicos en determinados bloques como por ejemplo San Diego de los Baños, Elguea, Menéndez, La Cuquita y otros dentro de los más перспекivos, desde donde se pueden esperar gradientes que superen los 50° / km que es el valor que regula la perspectividad de una región o estructura.

Una de las mayores dificultades que hemos encontrado en este trabajo es que Cuba no cuenta con un Mapa Geotérmico que nos permitiera ir seleccionando lugares para elegir prospectos que serían investigados detalladamente con gran rigor científico y ubicar todo un complejo de plantas eléctricas generadoras de diferentes potencias que alimentarían el Sistema Electroenergético Nacional. Teniendo en cuenta esta dificultad fue elaborado un proyecto para hacer este mapa del país a escala 1:500 000 y fue presentado al Ministerio de la Industria Básica (Peláez R., 2005), este trabajo aún no ha sido aprobado. Con este mapa en nuestras manos un plan de desarrollo nacional de aprovechamiento de esta energía geotérmica con proyecciones científicas se elaboraría sin dificultades y marcaría una línea de investigación muy prometedora para el país.

Paralelo con este trabajo se hizo un Esquema de Fallas Activas en el país que reflejan el comportamiento de flujos de calor anómalos para categorizarlas e introducir todas sus características en la Base de Datos correspondiente. La Gran Falla Pinar es una de las que presenta un comportamiento anómalo por tener muchas fuentes de aguas termominerales a lo largo de su recorrido de unos 200 km desde Pinar del Río hasta el norte de la Provincia Ciudad de la Habana, esta falla fue la que causó un fuerte terremoto en 1880 que destruyó los poblados de Candelaria y San Cristobal, tiene fuentes como las del Balneario San Diego con temperaturas hasta 47°C superficialmente, en profundidad por cúlculos con geotermómetros tiene 105°C a unos 1200m de profundidad (Fagundo R., 2005), así como Pozo Azul, Soroa, La Chorrera y otras 35-40 manifestaciones. El yacimiento de Elguea tiene asociadas fuentes de agua con temperaturas en la salida de 50-55 °C todo esto permite suponer que las temperaturas de los reservorios sean muy altas por lo que hay que iniciar los trabajos con los geotermómetros para determinarlas.

Los aspectos geológicos implican hacer estudios detallados de las zonas donde están ubicados los arcos volcánicos en Cuba, preliminarmente se consideran como las mejores áreas para localizar anomalías interesantes que presenta el gradiente geotérmico en esos territorios, a saber

consideramos que en el país existen 2 arcos importantes: el Arco Cretácico y el Arco Paleógeno, en especial este último por ser el más joven y donde quizás el proceso de apagado aun no ha concluido y existan importantes flujos de calor desde las profundidades que permitan elegir áreas para crear reservorios HDR.

Además de esta información serán procesados más de 2000 pozos de la búsqueda y exploración de hidrocarburos distribuidos por todo el país, se analizarán especialmente sus ubicaciones, coordenadas, registros termométricos, fluidos y las litologías atravesadas esto permitirá ubicar bloques prospectivos que pudieran ser investigados dentro de este trabajo para crear reservorios y ubicar plantas generadoras, quizás algunos de ellos puedan utilizarse directamente en el estado que fueron abandonados o incorporados a los sistemas con pocas inversiones.

Como los reservorios HDR están estandarizados (Tester J.W. y H.J. Herzog, 1994) con "Tripletas de pozos" comunicados entre sí mediante fracturación hidráulica y profundidades de 4 km cada uno, en bloques con anomalías del gradiente geotérmico de 50°C/km, si lo consideramos lineal, obtendremos temperaturas de 200°C que serán transferidas al agua adecuada que se inyecta por los pozos para obtener el vapor que necesita la planta. Por otra parte gracias a la tecnología binaria se puede emplear un fluido de trabajo que se caracteriza por una baja temperatura de ebullición: los hidrocarburos como el isopentano, isobutano, etc, son los típicamente usados, y se transfiriendo a este la temperatura del fluido caliente, de esta manera se puede obtener un vapor eficiente que permite mover las turbinas de la planta con menores costos. Hacia el 2010-15 el desarrollo tecnológico de estas plantas permitirá producirlas con un alto grado de eficiencia y bajos costos (Hulce D.L., 1996).

Fig. 1. Esquema de un Sistema HDR completo con sus elementos principales.



RESULTADOS

En breve comenzaremos a trabajar en la elaboración del Mapa Geotérmico de Cuba después de su aprobación por el Minbas que constituye el paso previo para desarrollar esta línea de investigación.

Posterior al proyecto, comenzamos la recopilación y análisis de la información, como resultado de este trabajo contamos ya con el apoyo de investigadores internacionales en este tema de EE.UU., Colombia y México que nos han brindado su apoyo y alguna literatura especializada. Dentro de este grupo de investigadores debemos seleccionar aquellos que nos apoyarían con la preparación docente del grupo multidisciplinario cubano y las visitas a plantas en funcionamiento en esos países.

Los datos geológicos, tectónicos e hidrogeológicos sobre las aguas termominerales de Cuba se están colocando en una Base de Datos elaborada en ACCESS, que incluye las perforaciones someras y los registros de pozo con énfasis en las termometrías hechas por las Empresas Geomineras del país durante la prospección y exploración de aguas termo-minerales. además se introducirán también todos los datos de las perforaciones profundas realizadas por las Empresas de Petróleo con profundidades de varios kilómetros y variados registros con los que sin dudas la localización de bloques con temperaturas anómalas será una tarea de poca complejidad.

DISCUSIÓN

Realmente cuando comienza una línea de investigación nueva y que no tiene antecedentes en el país la discusión acerca de si dará o no los resultados esperados, si existen o no condiciones para su desarrollo teniendo en cuenta que en la Geotermia clásica se necesita de volcanes activos o zonas de amplia desarrollo de intrusiones ígneas recientes, crea un sin número de discusiones y pone de ambos lados a los pesimistas y optimistas.

Nosotros somos de la opinión de que una vez elaborado el Mapa Geotérmico del país se puede llegar a conclusiones que respalden o no los trabajos que se proyectan para aplicar este método de generación eléctrica y decidir sobre las inversiones que hay que hacer para lograrlo, en caso contrario el mapa quedaría dentro del fondo documental del país dispuesto para otros usos.

En la revisión de la información geotérmica de Venezuela (Urbani, 1992) pudimos ver como en las fuentes de aguas termominerales localizadas en diferentes estructuras geológicas y tectónicas con valores medios de temperatura del agua en las salidas de estas, cuando se aplicaban los geotermómetros estos indicaban temperaturas en los reservorios que llegaban a cientos de grados centígrados, estas son premisas que para nosotros tienen gran importancia porque el panorama de Cuba es bastante similar en la cantidad de estructuras y distribución de las fuentes de agua termominerales.

CONCLUSIONES

- El tema energético en Cuba tiene una importancia de primer género dentro del Gobierno y ha sido acelerado en los últimos tiempos en lo que hemos llamado nombrar " Revolución Energética" que avanza a pasos agigantados y que tiene que ver no sólo con la generación sino con el uso y aprovechamiento de la energía en bienestar del pueblo.
- El desarrollo de una nueva línea de investigación no considerada en estos momentos en el país tiene proyecciones que apuntan a obtener energía eléctrica con muy bajos costos y ambientalmente "limpia" por lo que debe inscribirse, al igual que otras, en el megaproyecto energético.

- El método de generación HDR a sido utilizado en numerosos países del Mundo por lo que su factibilidad está asegurada desde el punto de vista tecnológico, económico y ambiental.
- Debe constituirse un grupo multidisciplinario de investigadores (hidrogeólogos, geólogos, geofísicos, perforadores, eléctricos, economistas y ambientalistas, entre otros) que debe capacitarse y trabajar en esta nueva línea de investigación.
 - El Mapa Geotérmico de la República de Cuba constituye la herramienta básica de este proyecto pues de ahí se extraerán los prospectos que serán investigados posteriormente durante la ejecución de los trabajos para la evaluación de los bloques.

BIBLIOGRAFIA

- Armstead, H.C.H. and J. Tester, 1987. Heat Mining: A New Source of Energy, E. & F.N. Spon Ltd. University Press, London,
- Duchane, D. V. January 1992, Hot Dry Rock Heat Mining Geothermal Energy Development Program, Los Alamos National Laboratory: FY1991 Annual Report, Report LA-UR-92-870.
- Elovic, A. 1994. "Advances in Binary Organic Rankine Cycle Technology". Geothermal Resources Council Transactions. P.511.
- Fagundo R. 2005. Estimaciones de temperatura en los reservorios de aguas minerales (Inédito).
- Hulce D.L.. April 1996. "Geothermal Energy-Business Challenge and Technology Response". Proceedings of the Geothermal Program Review XIV, p. 21 (April 1996). U.S. Department of Energy report DOE/EE-0106.
- Peláez R. 2005, Proyecto Mapa Geotérmico de la República de Cuba.
- Tester J.W. and H.J. Herzog. 1994. Economic Predictions for Heat Mining: A review and analysis of Hot Dry Rock (HDR).
- Urbani F. 1992. Geotermia en Venezuela. Fundación GEOS. Universidad Central de Venezuela.

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE LA PLANTA DE ASFALTO CC – 3 “EL POLLITO”. CAMAGÜEY

Humberto Jesús Antúnez Batista.

Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, UIC Camagüey. Carretera Central este Km 5 ½, Camagüey.

RESUMEN

La ejecución del Diagnóstico Ambiental, no implica una reducción de la contaminación, ni de los problemas ambientales que ocasionan las diferentes actividades que se desarrollan en las Plantas de Asfalto de la Provincia. Esto permite que la entidad tenga las condiciones necesarias para asegurar una adecuada y efectiva atención sobre el entorno, lo que se traducirá en el mejoramiento continuo del desempeño medioambiental. Para mejorar y mantener la calidad del medio ambiente y proteger la salud de los trabajadores, la empresa se ha propuesto ejecutar un Diagnóstico Ambiental que garantice una actividad más eficiente, mediante la aplicación de un enfoque sistemático y un mejoramiento continuo con vista a la implantación de un Sistema de Gestión Ambiental, por lo cual, es de gran importancia involucrar a todo el personal directivo como máximos responsables de la actividad y a los trabajadores, los cuales jugaran un papel protagónico en su cumplimiento. El Diagnóstico Ambiental proporciona orden y coherencia a los esfuerzos que realiza la empresa, por considerar las problemáticas ambientales mediante la asignación de recursos, responsabilidades y la evaluación continua de prácticas y procedimientos a través de monitoreos periódicos, por lo que este proceso, no es estático y debe ser adecuado en cada etapa del trabajo de la entidad, así como, responder al proceso inversionista que se requiera, para mejorar las condiciones laborales y mitigar o erradicar los impactos perjudiciales sobre el Medio Ambiente.

ABSTRACT

The execution of the Environmental Diagnosis, doesn't imply a reduction of the contamination, neither of the environmental problems that cause the different activities that are developed in the Plants of Asphalt of the County. This allows that the entity has the necessary conditions to assure an appropriate and effective attention on the environment, what will be translated in the continuous improvement of the environmental acting. To improve and to maintain the quality of the environment and to protect the health of the workers, the company has intended to execute an Environmental Diagnosis that guarantees a more efficient activity, by means of the application of a systematic focus and a continuous improvement with view to the installation of a System of Environmental Administration, reason why, it is of great importance to involve the whole directive personnel as maxima responsible for the activity and to the workers, which played a protagonistic paper in its execution. The Environmental Diagnosis provides order and coherence to the efforts that he/she carries out the company, to consider the environmental problems by means of the assignment of resources, responsibilities and the continuous evaluation of practical and procedures through periodic monitoreos, for that that this process, is not static and it should be adapted in each stage of the work of the entity, as well as, to respond to the process investor that is required, to improve the labor conditions and to mitigate or to eradicate the harmful impacts on the environment.

INTRODUCCIÓN

La integración de los conocimientos al medio es muy necesaria para una adecuada gestión medioambiental de forma tal que exista la mayor comprensión y actuación correcta hacia el medio que nos rodea. Existen una serie de documentos legislativos, normativos que se instrumentan y adecuan según el tipo y etapa en que se manifiesta un determinado proyecto, para lograr la integración del mismo con el entorno y viceversa. Uno de estos instrumentos es el Diagnóstico Ambiental mediante

el cual se detectan las dificultades o daños que ocasiona al medio un proceso productivo determinado o de manera inversa del medio al proceso productivo.

En el documento de la política ambiental del MICONS aparece en sus primeros párrafos:
“El desarrollo económico - social de un país se encuentra estrechamente ligado a la Construcción. Las industrias, viviendas, instalaciones de servicios y los asentamientos humanos en general se asocian a la construcción de edificaciones. Paralelamente la construcción produce impactos importantes en el medio ambiente: consume gran cantidad de recursos, especialmente energía, por demás produce afectaciones al suelo, atmósfera, agua y vegetación, generando gran cantidad de desechos.

El Ministerio de la Construcción en su carácter de organismo rector de las construcciones en el país tiene entre sus metas prioritarias que el sector contribuya de forma efectiva al logro de una sociedad sustentable para lo cual deben ser reducida a un mínimo las afectaciones producidas por este sector al medio ambiente, utilizando racionalmente los recursos, logrando un uso eficiente de la energía y promoviendo el uso de fuentes renovables.

El presente informe es el resultado de toda una serie de factores para lograr una aproximación al expediente ambiental que en la mayoría de los países del mundo es de uso obligatorio en este tipo de trabajo, de esta forma se cumple con el convenio establecido entre la ECOING 15 y la UIC. ENIA Camagüey, por medio de su Grupo ProAmbiente. La investigación está regida por la legislación ambiental y reviste una enorme importancia por constituir el elemento inicial que proporciona a todos aquellos organismos y empresa que comienzan su desarrollo en materia medioambiental. La integración de datos con carácter primario que permite evaluar y caracterizar el grado de riesgo que constituye para el medio que nos rodea.

HIPÓTESIS DE PARTIDA

La Calidad Ambiental en las Plantas de Asfalto de la provincia no cumple con los indicadores previstos porque carecen de una Certificación Ambiental, además existen deficiencias en el proceso productivo, por otro lado los residuales líquidos y sólidos se vierten dentro de la entidad y los gaseosos se vierten sin un previo tratamiento, (no es cierto...hay tratamiento pero insuficiente) también existe un Ineficiente uso de los medios de protección y Falta de capacitación medioambiental de los trabajadores.

Si se logra el funcionamiento óptimo de las Plantas y la protección efectiva del Medio Ambiente a partir del Diagnóstico Ambiental se podrá implantar el SGA lo cual permite mejorar la calidad ambiental en el entorno, por tanto se obtendrán ventajas competitivas sobre otras entidades productoras de asfalto, se podrá perfeccionar y generalizar a toda la Empresa con mayor efectividad y rapidez.

OBJETIVO GENERAL

Diagnosticar y evaluar las principales deficiencias del proceso tecnológico que provocan afectaciones en la calidad ambiental dentro de las Plantas de Asfalto y su entorno, y proponer soluciones a través de la implantación del SGA.

Objetivos específicos

1. Proteger la salud y el medio ambiente de los impactos derivados de las actividades, productos y servicios.

2. Contribuir a desarrollar una cultura ambiental en todo el colectivo laboral.
3. Evaluar la eficiencia del proceso tecnológico.
4. Disminuir las emisiones de residuales sólidos, líquidos y gaseosos según las NC de vertimiento.
5. Evaluar las ventajas económicas y medioambientales que trae consigo la implantación de un SGA.

DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO FISICO, BIOTICO Y SOCIO – ECONOMICO.

El área donde se ubica la Planta de Asfalto es un sitio totalmente antropizado, los límites de superficie están definidos de la siguiente manera, por el NE, esta la Garita de entrada, que limita con el camino de la fábrica de tubos y las viviendas que se encuentran en los alrededores; por el NW limita con los talleres de la Empresa de Mantenimiento vial, por el SW con potreros cubiertos de marabú y por el SE con los almacenes de CUBALSE

Medio físico

Geomorfología

La regionalización geomorfológica en el área de estudio esta relacionada con la mega región central Camagüey - Maniabón representada por las llanuras y alturas de Camagüey, específicamente por la llanura Florida - Camagüey - Las Tunas, estas llanuras son denudativas – erosivas, onduladas y ligeramente onduladas de zócalo con alturas entre 100 y 120 m, condicionadas por morfoestructuras del zócalo plegado con bloques (litomorfoestructurales). El área de estudio está caracterizada por un relieve antrópico, es decir un relieve transformado por la urbanización de la ciudad.

Geología

La planta de asfalto objeto de estudio se encuentra al NE de la Ciudad de Camagüey, (periferia) donde esta representada por rocas de la asociación ofiolítica (Serpentinitas, piroxenitas, peridotitas y dunitas serpentinizadas), con una edad aproximada del Cretácico (K).

Según reportes de estudios Ingeniero geológicos realizados con anterioridad en los alrededores del área, se muestra un corte litológico caracterizado de la siguiente manera:

Capa vegetal: posee variabilidad en cuanto a su espesor desde 0.20 – 0.50 m.

Arcilla laterítica: Color rojizo en ocasiones amarillento, con perdigones de hierro, de plasticidad media - alta, algo húmeda, aparece indistintamente a partir de los 0.35 m hasta los 1.35 m de profundidad con espesor máximo de 1.00 m.

Eluvio de Serpentinita: Es la roca serpentinita meteorizada, agrietada, se recupera en forma de material arenoso con gravas de color gris verdoso, dureza blanda, puede aparecer de los 0.50 m en ocasiones aflora en superficie (Puente de la Autopista, sobre el río Hatibonico) hasta una profundidad de 3.25 m, para una potencia de 2.75 m.

Serpentinita: La roca serpentinita es mucho menos meteorizada, color gris azulado, de mayor dureza, se recupera en forma de fragmentos y testigos, aparece a partir de los 0.60 m hasta 14.00 m.

Hidrología superficial y subterránea.

La hidrología superficial de la zona se encuentra poco desarrollada no reportándose próximo a la obra corrientes o depósitos de masas de aguas, el escurrimiento es dominado por la pendiente natural₃

del terreno, concentrándose o infiltrándose en los sectores mas deprimidos del suelo.

Desde el punto de vista Hidrogeológico esta ocupado por un acuífero semi-permeable a muy permeable, característico de los materiales del complejo ofiolítico, la alimentación principal de dicho acuífero se debe a la infiltración de las aguas pluviales, el drenaje de las aguas superficiales esta determinada por el parte agua que coincide con el sistema de elevaciones de la Sierra de Cubitas, drenando de NE a SW.

Sismicidad.

En cuanto a la actividad sísmica en el territorio, no existen datos de epicentros, aunque se poseen reportes de datos macrosísmicos de la influencia de tres epicentros de terremotos perceptibles, el primero ocurrido en la zona de Gibara (28. feb. 1914, de intensidad máxima 7), segundo en Santiago de Cuba (3. feb. 1932, de intensidad máxima 8), el tercero en Pilón (19. feb. 1976, de intensidad máxima de 7), que incluyen en su radio a la obra en cuestión, con intensidades de 5, 4, y 3 grados respectivamente en la escala MSK.

Suelos.

Estos se clasifican dentro de los suelos de zonas urbanas (antropizados) fuertemente modificados, no obstante su clasificación se corresponde con suelos fersialíticos pardos a rojo parduzco sin carbonato, ferromagnesial (alto contenido de magnesio en las bases cambiables) sustentados sobre serpentinitas (rocas intermedias a básicas), son poco profundos, por lo que presenta severas limitaciones para el uso agrícola, preferiblemente debe utilizarse en repoblación forestal y pastos. .

Clima

Las características climatológicas de la zona de estudio está relacionada con climas de llanuras y alturas con humedecimiento estacional relativamente estable, alta evaporación y temperatura del aire, posee dos estaciones climáticas definidas, las que incluyen un período poco lluvioso, que se extiende de noviembre hasta abril y un período lluvioso, que abarca de mayo a octubre. En cuanto a las temperaturas, el valor máximo medio es de 31.1 °C y el mínimo medio de 21.3 °C.

El promedio anual de precipitaciones es de 1200 a 1400 mm, con una media de 60 a 80 días con lluvias, aunque existe una alta frecuencia de chubascos muy ligeros. La máxima pluviosidad ocurre en los meses de mayo a octubre, donde las precipitaciones se comportan entre un 80 y un 82 % con respecto a la media anual para el país; la mínima ocurre entre los meses de noviembre a abril, correspondientes al período poco lluvioso, en el cual los valores medios oscilan entre 200 y 400 mm.

Tabla I. Rangos de valores para parámetros climáticos medios anuales.

Parámetros Medios	Valores
Temperatura del aire (°C)	24 - 26
Temperatura máxima absoluta anual del aire (°C)	36 y mayores
Temperatura mínima absoluta anual del aire (°C)	8 - 10
Precipitación anual (mm)	1200 - 1400
Precipitación en período seco (Nov. - Abril) (mm)	200 - 400
Precipitación en período lluvioso (Mayo - Oct.) (mm)	1000 - 1200
Evaporación anual (mm)	1800 - 2000
Promedio anual de días con lluvias (días)	60 - 80
Humedad relativa anual (%)	79 - 80

Los vientos mantienen rumbos predominantes del noreste durante los meses de noviembre - abril, siendo estos donde se presentan la mayor cantidad de afectaciones de origen extratropical (principalmente frentes fríos). Durante el resto del año y debido a la influencia de forma extendida₄

del Anticiclón del Atlántico, los vientos se presentan con rumbo fundamentalmente del este. La velocidad media anual es de 12.6 km/h.

Tabla II Rangos de valores para parámetros climáticos de meses representativos en los períodos de seca y lluvia.

Parámetros	Invierno (Enero)	Verano (Julio)
Dirección predominante de los vientos	NE	E
Velocidad media de los vientos sin calma (km/h)	17.2	13.7
Calmas (%)	11.7	17.0
Presión Atmosférica (hPa)	1017.0 - 1017.5	1016.0 - 1016.5

Medio biótico

Vegetación

El lugar en que está establecida la planta tenía como vegetación original al matorral xeromorfo espinoso sobre serpentina y al parecer se encontraba en buen estado de conservación en el momento de la construcción, según atestiguan vecinos del lugar. El espacio ocupado por esta instalación y la urbanización de sus alrededores para otras actividades económicas y áreas residenciales, ha desplazado totalmente esas formaciones primarias.

La mayor parte del interior de la planta se encuentra asfaltado, sin ningún elemento florístico y sin vegetación. Estos últimos están relegados a los bordes y pequeñas áreas destinadas a la ornamentación. El listado florístico actual incluye 74 especies.

En flora existe una escasa representación de especies indígenas, las que han sido sustituidas por elementos introducidos, algunos cultivados, los restantes subespontáneos, adventicios o totalmente naturalizados, pero que se mantienen asociados a la actividad humana (sinantrópicos, epecófitos), específicamente en formaciones ruderales y segetales.

Estas especies, carecen de interés conservacionista (no constituyen endemismos, ni se encuentran en peligro de extinción). Aunque muchas de ellas tienen variado valor utilitario, son suficientemente abundantes en el territorio como para la actividad de la planta no provoque afectaciones de consideración

Fauna

Según los resultados de la observación realizada en el mes de agosto a la Planta de Asfalto PC3 de la ciudad de Camagüey, avalada por entrevistas a trabajadores de este centro, se constató una pobre representación de especies de la fauna, y los animales presentes son característicos de zonas con un alto grado de antropización.

Entre los vertebrados se observaron dos especies de reptiles, pertenecientes al género *Anolis*, y entre las aves, gorriones y auras fueron las predominantes.

Por entrevistas realizadas se conoció que se han observado sinsontes y palomas

En la tabla III se relacionan los invertebrados observados pertenecientes a los órdenes: Odonata (libélulas), Himenoptera (abejas, avispas y caballito del diablo), Hemiptera y Lepidoptera.

Ninguna de las especies relacionadas es endémica, ni se ubican en categorías de amenaza.

Medio socioeconómico

Toda la zona circundante a la planta se encuentra ocupada por locaciones industriales, entre las que se pueden mencionar, la Fabrica de Tubos, la Empresa de Perforación de Recursos Hidráulicos, La Planta de Asfalto de Mantenimiento Vial del Poder Popular, Almacenes de CUBALSE, Almacenes Universales, Planta de Prefabricado y viviendas.

LEGISLACIÓN AMBIENTAL Y SU CUMPLIMIENTO.

Las Plantas de Asfalto por lo general son contaminadoras del medio debido al incremento de los niveles de humo, polvo, ruido y temperaturas, por esta razón se brinda a continuación toda una serie de aspectos abordados por la referida Ley, que deben tenerse en cuenta en el caso particular de la Planta CC - 3 en el contexto de su proceso productivo.

Capítulo IV "Aguas y Ecosistemas acuáticos" Sección Primera.

Artículo 95. Las aguas residuales de la actividad económica y social antes de ser vertidas al medio ambiente, tiene que recibir el tratamiento correspondiente para que no contaminen los embalses y cuerpos de aguas terrestre y marítimo.

Capítulo VII "Atmósfera"

Artículo 118.- Los órganos y organismos encargados de la protección de la atmósfera o cuya actividad incide en esta, basarán sus actuaciones en las disposiciones siguientes:

- a) Asegurar que la contaminación de la atmósfera no sobrepase los niveles de sustancias extrañas permitidas por las normas establecidas.
- b) Reducir y controlar las emisiones de contaminantes a la atmósfera producidas por la operación de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles de manera que se asegure la calidad del aire de conformidad con las normas que lo regulan para la salvaguardia del medio ambiente y en especial de la salud humana y el cumplimiento de los compromisos internacionales asumidos por el país.

Principales componentes de la planta.

Tolva de almacenamiento de áridos en frío: esta planta cuenta con una tolva dividida en dos compartimientos, uno para áridos gruesos y otro para áridos finos (polvo de piedra), esta tolva es abastecida de los áridos por el cargador frontal de neumáticos que los recoge del patio de áridos. Este equipo en la parte inferior posee compuertas de aberturas regulables.

Secador: este equipo tiene como objetivo calentar los áridos, para lo cual está provisto de un quemador, que es el encargado de producir la llama, la cual es esparcida por la boquilla hacia el horno, cuya función es mantener la temperatura de la llama dentro del secador, esta llama debe cubrir tres cuartas partes del secador para garantizar que la operación de secado sea óptima.

Si el asfalto a utilizar es 50 - 70, la temperatura de los áridos al salir del secador debe ser de 180 - 200 °C, pero si es asfalto 1500 la temperatura que deben alcanzar los áridos es de 80 - 90 °C.

Colector de polvo: el colector es el encargado de extraer el polvo y los gases que son expulsados por el proceso de secado, el polvo más grueso cae por los pantalones del colector y se reincorpora al proceso, los más finos y los gases pasan a la vía húmeda. Los áridos calientes van a la canal de descarga y de allí a un elevador de Cangilones o de áridos calientes, el cual los descarga en la zaranda circular de paños o criba, donde los áridos se clasifican y se separan por tamaño, para ser almacenados en tolvas de almacenamiento.

Estos áridos ya clasificados y almacenados pasan al área de pesaje donde son distribuidos, de ₆

acuerdo a su peso específico y al proyecto de mezcla las cantidades necesarias a dosificar.

Mezclador: en este equipo se mezclan las dosificaciones de áridos con el asfalto caliente que sale por una serie de grifos y mezclándose con los áridos mediante paletas, dicha operación debe realizarse por un tiempo no menor de 45 seg. y no mayor de 70 seg., ya que este es el tiempo necesario para que el asfalto caliente y el los áridos calientes se mezclen de forma homogénea. La mezcla asfáltica sale del mezclador por la compuerta de descarga que esta situada en el centro del mismo y es depositada en los camiones.

Vía húmeda: el polvo y los gases son extraídos por el extractor, haciéndolos pasar primeramente por el colector de polvo el cual reincorpora los polvos más gruesos al proceso productivo y los más finos junto con los gases pasan por un proceso de lavado, que consiste en hacerlos pasar por agua obteniéndose así una mezcla fangosa, la cual es extraída con el cargador y depositada en el patio de desperdicios.

Almacenamiento de asfalto: el asfalto se almacena en tanques, los cuales poseen quemadores que trabajan con combustible diesel y son los encargados de calentar el asfalto para el proceso productivo.

Caldera: es la que tiene como función calentar todos los conductos de asfalto y de fuel oil que van hacia la planta para su posterior utilización, garantizando así que se obtenga una mezcla asfáltica con mayor calidad.

Tabla III. Parámetros de calidad de la mezcla asfáltica.

Parámetro	Valores de los parámetros
Densidad	2.18 – 2.33 g/cm ³
Estabilidad	745 – 1000 Kg/cm ²
Deformación	2 – 4.5
% de asfalto	Depende del tipo de mezcla asfáltica y de la dosificación
Granulometría	Depende del tipo de mezcla asfáltica y de la dosificación

Acciones del proceso generadoras de impactos

El proceso productivo de las plantas de asfalto genera impactos en todas sus etapas :

- ◇ Durante el acopio de las materias primas se producen emisiones de polvo, gases y ruidos.
- ◇ Emisión de gases tóxicos provocados por el calentamiento del asfalto y la combustión del fuel oil.
- ◇ Emisión del polvo que escapa por los filtros del colector.
- ◇ Se eleva la temperatura en el área de trabajo producto del desprendimiento de calor durante el calentamiento de los materiales.
- ◇ Durante el proceso de producción de la planta los niveles de ruidos son elevados.
- ◇ Los derrames de asfalto de los tanques de almacenamiento de la reserva, aunque de poca envergadura se vierten directamente al medio. Otros aspectos:

IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.

En este acápite se pretende identificar, interpretar, valorar de forma cualitativa los impactos ambientales más importantes generados por las diferentes acciones o causas a partir de la propia existencia de la Planta y su proceso productivo (ver tabla IV).

Acciones mas impactantes

1. Funcionamiento de la Planta, específicamente durante la producción de mezclas asfálticas.
2. Deficiencias tecnológicas, especialmente que la chimenea no cumple con la altura necesaria para la dispersión de contaminantes.

Impactos negativos más significativos

Los impactos negativos más significativos, clasificados como severos o moderados en su valoración son los siguientes:

1. Aumento del riesgo de afecciones respiratorias en las personas dentro y fuera de la planta.
2. Alteración del paisaje natural de la región con pérdidas de las visuales.

PLAN DE MEDIDAS DE RECUPERACIÓN, MITIGACION O REHABILITACIÓN AMBIENTAL.

Arquitectura y aspectos bioclimáticos

1. Colocar barreras de especies de árboles con follaje denso y adecuado en todo el perímetro del área. Zona de protección sanitaria.
2. Eliminar el vertimiento de los residuos sólidos de Hormigón Asfáltico en los lugares que actualmente se realiza. Definir un nuevo sitio, donde no constituya una amenaza para la contaminación de las aguas, ni comprometer el paisaje existente.
3. Dar mantenimiento constructivo y pintar periódicamente dicha instalación.
4. Propiciar una adecuada ventilación e iluminación de los locales de trabajo.
5. Tener presente para el diseño del esquema de colores las normas de señalización que existen para instalaciones de este tipo.
6. Identificación e identidad de la instalación.

Proceso tecnológico

1. Los tanques de asfalto y combustibles deben tener un muro perimetral (barrera de contención) que evite el escape de los derrames accidentales.
2. Se debe hacer énfasis en el trabajo de control de calidad de las mezclas de HAC para evitar pérdidas innecesarias del producto.
3. Velar para que se le realicen los mantenimientos técnicos en los períodos establecidos a la Planta de producción de mezclas asfálticas.

Salud ocupacional y calidad del aire

1. Deben usarse en la Planta sistemas urgentes de desconexión de equipos, detectores de gases, técnicas de extinción.
2. Debe existir seguridad intrínseca de las maquinas y equipos.
3. Implementar medidas de muestreo de vigilancia de la calidad del aire.
4. Hacer énfasis en la obtención de los medios de protección y luego darle su correcto uso.

PROGRAMA DE MONITOREO Y CONTROL AMBIENTAL.

El plan de monitoreo y control persigue comprobar el cumplimiento y la operatividad de las medidas protectoras y de recuperación propuestas en este estudio

CONCLUSIONES GENERALES

Los principales problemas ambientales que pueden detectarse durante su funcionamiento son los siguientes:

1. Emisiones de gases y partículas en el área de la instalación y zonas aledañas a la misma, cuando se ejecutan las operaciones de descarga de materia prima y el funcionamiento de Planta, que provocan molestias a los trabajadores y vecinos cercanos al área de trabajo.
2. Deficiencias tecnológicas que traen como consecuencias menor productividad y menor calidad en la producción de mezclas asfálticas.
3. Deficiencias arquitectónicas y bioclimáticas en locales de trabajo que interfieren en el bienestar y el rendimiento de los trabajadores, en la estética de la instalación.

Se recomienda el cumplimiento total de las orientaciones contenidas en el plan de medidas y seguimiento con el fin de ir creando una cultura sobre este tema que posibilite a corto plazo la introducción de un Sistema de Gestión Ambiental.

Tabla IV. *Acciones e impactos identificados en la Planta*

Acción /Causa	Impacto Ambiental (carácter y clasificación)
Ocupación del suelo por la Planta y las edificaciones.	(1) Pérdida del suelo agrícola, aunque de baja capacidad agrológica. (negativo y compatible). (2) Alteración del paisaje natural de la región con pérdidas de visuales. (negativo y moderado). (3) Incremento del nivel de ruido. (negativo y compatible).
Movimiento de camiones y equipos para el acopio de la materia prima, carga del producto terminado.	(4) Emisión de polvo y gases de escape de los motores hacia el interior de la obra y alrededores, principalmente en época de sequía. (negativo y compatible).
Combustión de fuel oil para el calentamiento del asfalto y secado de materiales.	(5) Desprendimiento de gases tóxicos. (negativo y moderado). (6) Aumento de la temperatura en el área de trabajo. (negativo y moderado). (7) Alteración de las propiedades físico - químicas de las aguas subterráneas. (negativo y compatible).
Derrames accidentales de combustibles y/o mezclas asfálticas, acumulación de las mismas.	(8) Afectación de la higiene ambiental y estética de la instalación. (negativo y compatible). (9) Contaminación del agua y el suelo por hidrocarburos producto del arrastre de las lluvias. (negativo y compatible).

Puesta en marcha y funcionamiento de la Planta.	(10) Contribución al desarrollo económico y social de la provincia. (positivo).
	(11) Creación de puestos de trabajo. (positivo).
	(12) Aumento del riesgo de accidentes laborales. (negativo y moderado).
	(13) Alteración del hábitat de algunas especies animales en el entorno de la industria. (negativo y compatible).
Deficiencia tecnológicas, la chimenea no cumple con la altura necesaria para la dispersión de contaminantes.	(14) Afectaciones al paisaje producto a las emanaciones del polvo y humo. (negativo y compatible).
	(15) Incremento de los niveles sonoros con perjuicio para la salud humana. (negativo y moderado).
	(16) Contaminación atmosférica por emisión de gases y hollín a la atmósfera. (negativo y moderado).
Poco uso de los medios de protección individuales.	(17) Aumento del riesgo de afecciones respiratorias en las personas dentro y fuera de la planta. (negativo y compatible).
	(18) Aumento del riesgo de accidentes laborales y enfermedades ocupacionales. (negativo y moderado).

Tabla V. Programa de monitoreo.

Objetivos	Tareas	Fecha de Ejecución	Responsables
1. Comprobar el estado de salud de los trabajadores.	1.1. Verificar que los obreros expuestos a ruidos intensos se le realicen exámenes audiométricos.	anual	Administración
	1.2. Realizar chequeos integrales y radiológicos a los trabajadores del centro, principalmente a los vinculados directamente al proceso productivo.	anual	Administración
	1.3. Evaluar los riesgos laborales que puedan afectar la integridad física de los obreros, así como su control.	semestral	Administración
	2.1. Verificar que los mantenimientos a todo el Sistema de la Planta se realicen en los plazos establecidos.	Anual	Administración
2. Controlar el funcionamiento (estado técnico) de la planta.	2.2. Verificar la calidad del ruido mediante el cumplimiento de los parámetros establecidos por las normas internacionales.	Anual	Administración y Consultora Ambiental
	2.3. Verificar los niveles de concentración de polvos y gases vertidos al medio ambiente.	Anual	Administración y Consultora Ambiental

- | | | |
|--|---|---------------------------------------|
| 3. Comprobar el estado general de la calidad del paisaje. (durante el funcionamiento de la planta) | 3.1. Se efectuaran recorridos y encuestas a la población cercana, para estudiar el comportamiento de los componentes del Subsistema Naturaleza, tanto abióticos como bióticos, todos dirigidos a detectar posibles desequilibrios que atenten contra la estabilidad geo - ecológica del área, así como la durabilidad y seguridad de la obra. | Administración y Consultora Ambiental |
| | 3.2. Verificar el cumplimiento de las medidas protectoras, correctivas y de restauración planteadas en el Diagnóstico Ambiental. | Administración y Consultora Ambiental |

APLICACIÓN DE INDICADORES PARA LA GESTION DE LOS RECURSOS NATURALES Y CULTURALES EN EL TURISMO SOSTENIBLE

Alfredo Norman Vega⁽¹⁾. **Gisela Díaz Quintero**⁽¹⁾

(1) Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.

El turismo mundial es una industria con un volumen de negocios de US\$3.4 billones millones que continuará creciendo en el futuro. Las proyecciones sugieren que esta cifra ascenderá a US\$7.2 billones y que generará unos 338 millones de puestos de trabajo. Cabe señalar así mismo que la industria turística ha reconocido que el futuro del turismo depende de que se desarrolle de manera armónica con las inquietudes por el medio ambiente y la cultura.

En otro informe reciente del Instituto de Investigaciones de la Universidad de Stanford se predice que el turismo mundial se incrementará en un 8% en los próximos años. Este crecimiento es superior al doble del crecimiento previsto en el producto interno bruto de la mayoría de los países. Cabe señalar que este mismo informe sugiere que el turismo de aventura y de interés cultural aumentará a una tasa anual de 10-15%, en tanto que el ecoturismo registrará un incremento extraordinario a una tasa del 25-30%.

El enfoque conceptual del desarrollo del turismo sostenible incluye tres principios básicos:

1. Sostenibilidad ecológica: El desarrollo deberá ser compatible con el mantenimiento de procesos ecológicos esenciales, la diversidad biológica y los recursos biológicos.
2. Sostenibilidad cultural: El desarrollo deberá dar al hombre más control de su vida, ser compatible con la cultura y los valores de la población afectada y mantener y fortalecer la identidad de la comunidad.
3. Sostenibilidad económica: El desarrollo deberá ser económicamente eficiente y los recursos deberán ordenarse de manera tal que sirvan también a las generaciones futuras⁷
4. Sostenibilidad local: El desarrollo tiene por objeto beneficiar a las comunidades locales y sustentar la rentabilidad de las empresas locales.
5. Esta claro que el turismo sostenible conlleva al crecimiento económico y que debería ser contemplado en cualquier proceso de desarrollo económico. Los atractivos turísticos sean naturales o contruidos por el hombre son motores formidables para el crecimiento económico. Atractivos tales como ecosistemas naturales protegidos, lugares históricos bien mantenidos y eventos culturales genuinos producen ganancias económicas y mejoran la calidad de vida del lugar.

Para alcanzar un desarrollo sostenible del turismo, deberán recordarse ciertos preceptos básicos:

1. El primer requisito es levantar un inventario, evaluar y desarrollar atractivos turísticos arraigados en la comunidad local o que complementen las actividades locales. El patrimonio cultural local, si se desarrolla adecuadamente, puede enriquecer el ambiente del lugar y mejorar la calidad de vida de la comunidad.
2. El desarrollo dentro de cada comunidad local deberá preservar las peculiaridades del entorno. Si existen edificios históricos importantes o recursos naturales especiales, o rasgos culturales interesantes, habrá que aprovecharlos y hacer que las actividades de desarrollo o restauración tomen estos aspectos en cuenta. Este enfoque permite mantener intacta la autenticidad de la zona y da mayor riqueza a los valores, tanto para los visitantes como para la población local.
3. No es posible el desarrollo del turismo sostenible sin la participación de la comunidad. No solamente es positivo desde el punto de vista de las relaciones públicas incluir a la población local

en el proceso de desarrollo turístico, sino que es un factor de éxito. La comunidad que participa aportará una importante contribución a la ejecución del programa.

4. La comunidad local deberá medir el desarrollo turístico a la luz de los costos y beneficios ambientales y sociales. El turismo sostenible deberá verse en términos de su valor a corto y a largo plazo para la comunidad. Deberán agregarse valores intangibles como la "calidad de vida" o incluirse en la cuantificación global del desarrollo del turismo sostenible.

La base del desarrollo del turismo sostenible es la correcta identificación de los indicadores que se aplicaran para garantizar que todos los recursos se puedan desarrollar sobre una base de sostenibilidad. Ellos se aplicaran tanto para aquellos que existan y puedan afectarse por no tener un adecuado manejo, como para aquellos recursos que tengan algún nivel de afectación, el que deba ser superado. Los indicadores son herramientas de gestión.

La Organización Mundial de Turismo desde hace años viene trabajando en el diseño de indicadores de turismo sostenible en diferentes destinos lo que le ha permitido preparar una Guía que abarcan indicadores para un amplio espectro de regiones con problemas de diversa índole.

El Gran Caribe no ha estado al margen del trabajo de los indicadores de turismo pero con la creación de la Zona de Turismo sustentable de los países del Gran Caribe se definieron indicadores normativos que caracterizan los principales problemas comunes para nuestros países y se propusieron destinos pilotos que pudieran aspirar a un desarrollo turístico sostenible. En este contexto se preparo, por los autores, un Manual para la preparación de aquellos que deban, en los países, desarrollar ese proceso.

En Cuba, en una primera etapa, se priorizan Varadero, Viñales, Las Terrazas y la Ciénaga de Zapata. Al mismo tiempo existe la voluntad y se preparan condiciones en todos los destinos turísticos del país, para implementar el turismo sostenible.

El trabajo desarrollado hasta el presente, confirma la validez de los indicadores adoptados por la Asociación de Estados del Caribe y la utilidad del Manual preparado para facilitar ese trabajo, en los destinos.

Por los autores, se efectuaron talleres en diferentes destinos lo que confirmo la validez del Manual y su utilidad en el desarrollo del proceso de definición de los indicadores.

Los indicadores están enmarcados en tres dimensiones:

La Dimensión Patrimonial: abarca todo lo concerniente al medio natural y el medio cultural.

La Dimensión Económica: referida a la gestión de comercialización turística, los recursos materiales y financieros.

La Dimensión Social: concierne al hombre y su vida, a las relaciones que este establece, la calidad de vida, el empleo y otros vinculados al desarrollo turístico.

INDICADORES-NORMATIVOS

ECONÓMICOS

Integración en la economía local

Satisfacción del turista

SOCIALES

Origen del empleo en el sector turístico

Prostitución Infantil

Seguridad del turista

INDICADORES-NORMATIVOS

PATRIMONIALES

Consumo y gerencia energética

Consumo de agua.

Calidad del agua.

Acceso al agua potable.

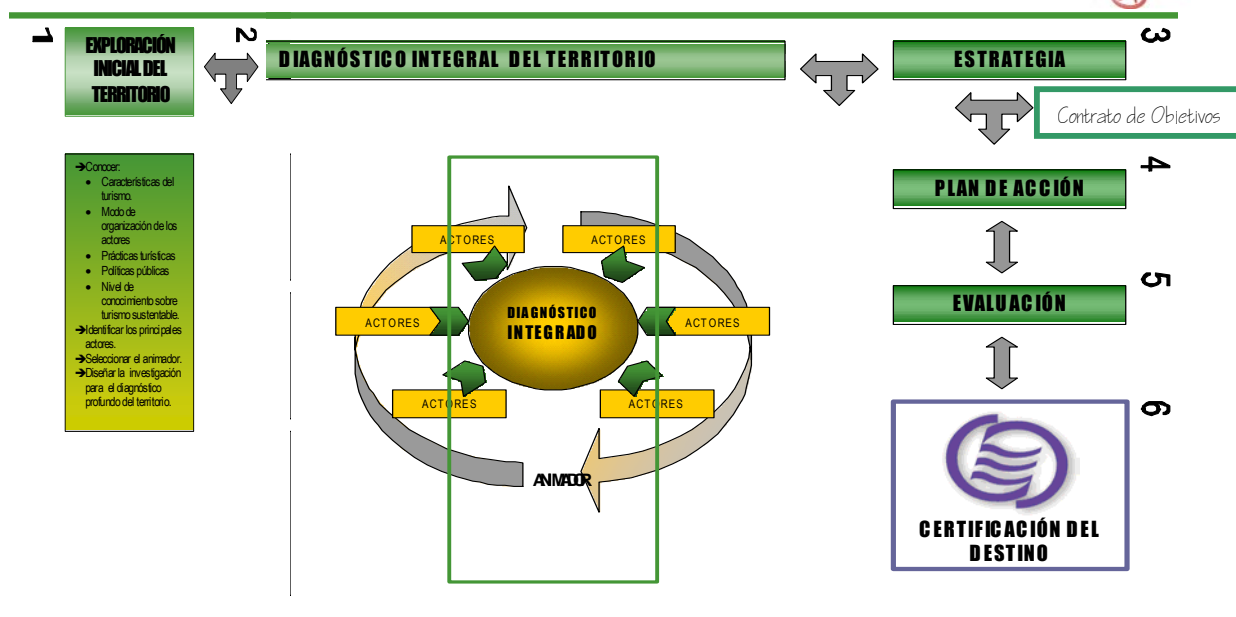
Aprovechamiento y manejo del medio ambiente.

Control de los impactos ambientales

Eficacia de los sistemas de gestión y manejo de
desechos sólidos.

Eficacia en la gestión y tratamiento de aguas
servidas.

Identidad y Cultura



Esquema General del Proceso

Como se puede apreciar dentro de los indicadores normativos son mayoritarios y se destacan aquellos vinculados a la preservación y manejo eficiente de los recursos naturales y se brinda una atención especial a la conservación de la identidad y cultura aspectos altamente valorados tanto para preservar los valores internos como para satisfacer la demanda creciente del turismo.

Para mantener una competitividad en el mercado turístico resulta indispensable que esta actividad se desarrolle de manera sostenible.

BIBLIOGRAFIA.

Materiales XVII Congreso Interamericano de Turismo. 7-11 abril de 1997 San José, Costa Rica.
Manual de Procedimientos para entrenadores en Indicadores de Turismo Sustentable. 2004.
Gisela Díaz Quintero, Alfredo Norman Vega.

PELIGROS NATURALES EN LA CUENCA DEL RIO KWANZA, ANGOLA

Carlos Sacasas León ⁽¹⁾, **Moisés Catanha** ⁽²⁾ **Mireya Pérez Rodríguez** ⁽¹⁾

(1) Departamento de Geociencias. Facultad de Ingeniería Civil. CUJAE. 2) Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", Calle 124 s/n, Marianao 15, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: csl@civil.cujae.edu.cu

(2) Universidad Agostino Neto, Angola. moisescatanha@hotmail.com

RESUMEN

Se presenta el resultado de un estudio para evaluar la vulnerabilidad ambiental o intrínseca ante la ocurrencia de algunos peligros de origen natural en una región de Angola correspondiente a la cuenca del río Kwanza donde ha sido construida una gran presa. Se utiliza la herramienta de los sistemas de Información Geográfica con el propósito de realizar todo el proceso de la investigación que incluyó la manipulación y georreferenciación de los mapas topográficos, la vectorización de los datos así como la utilización de varias herramientas para el análisis hidrológico propias del sistema ArcView y otras nuevas añadidas. Se realiza el análisis y discusión de la información valorándose la potencialidad de posibles inundaciones ante la rotura de la presa y la vulnerabilidad intrínseca del territorio a las inundaciones pluviales y los deslizamientos.

ABSTRACT

The vulnerability to different natural hazards in the area near the Kwanza river, Angola is shown. In this area was founded an important dams. It was implemented an Geographic Information System in order to obtain different maps for hydrological and other geological hazards.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el desarrollo de las investigaciones sobre el conocimiento de los diferentes peligros naturales, se hace cada vez más necesario sobre todo desde el punto de vista de la política inversionista de cada país. Durante las últimas décadas hemos observado infinitas imágenes desoladoras que muestran las consecuencias derivadas de las escasas o nulas previsiones de los peligros naturales, especialmente en los países más pobres que sin recursos están incapacitados de actuar eficazmente ante los peligros producidos por la naturaleza o por la explotación inadecuada del medio físico.

El objetivo de este trabajo es la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca del territorio ante la ocurrencia de algunos peligros de origen natural que lo pueden afectar, tal es el caso de las inundaciones pluviales, los deslizamientos de tierra, la sismicidad así como la necesidad de la identificación de las áreas de inundación que producirían las aguas embalsadas en una gran presa, con una de las cortina mas grande del mundo y que embalsa un volumen de aproximadamente 47 000 millones de metros cúbicos de agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las características físico-geográficas de Angola la sitúan en la parte occidental del África Austral, siendo limitada por las coordenadas 4° 21' y 18° 02' sur y 11° 38' y 24° 03' este. Su extensión norte-sur es de 1300 Km. Y de oeste al este es aproximadamente 1250 Km., limita al norte con el Congo Brazzaville al noreste con la República Democrática del Congo al este con Zambia al sur con Namibia y al oeste con el océano Atlántico. Tiene una costa de 1.600 Km. y una superficie de 1.246.700 km². La capital de Angola es Luanda.

La represa del Aprovechamiento Hidroeléctrica de Capanda, ubicada en las coordenadas: S-09 47 42,9 y E 15 28 00,6 está construida sobre el río Kwanza, situada en la parte Oeste de la zona subecuatorial de África (entre los 8° y 12° de latitud Sur), de la plataforma de la provincia de Malange. Situada entre las cotas 850 metros hasta 1100 metros.

El río Kwanza es el elemento básico hidrográfico de la región se encuentra ubicado en la cuenca Kwanza, nace en los límites de la plataforma de Bie algo al norte y nordeste dividiendo las provincias de Malange, Bie y Kwanza Sur, flexionando después al oeste corriendo casi directamente al Océano Atlántico. El valle del río Kwanza representa una forma de relieve rebajada en comparación al resto de la región. La orientación del valle es sublatitudinal. Su perfil transversal a lo largo del eje principal presenta un cañón con un largo de 100 a 120 metros, con una inclinación de las escarpas de 70 a 90°. La altura de las escarpas tiene de 40 a 50 metros. El perfil longitudinal del fondo del valle tiene un aspecto escalonado por la existencia de zonas tectónicas. En aquellos lugares afectados por el tectonismo son característicos los procesos intensivos de erosión.

Geología

La constitución geológica del territorio de Angola esta representada por una gran variedad de rocas ígneas, metamórficas, y sedimentarias las cuales pertenecen a los siguientes Eones: Arcaico, Proterozoico y Fanerozoico.

La estructura geológica de la región del Aprovechamiento Hidroeléctrico participan los depósitos continentales no diferenciados del Proterozoico Superior-Cámbrico Inferior, Serie Esquistos – arenoso (NP3- E1) (PR xg) con dos complejos Capanda y Mutula y los depósitos Cuaternarios de diferentes génesis.

Los depósitos de este Complejo están representados fundamentalmente por areniscas, gravelitas con intercalaciones de argilitas- esquistosas, y limo. Las areniscas predominan sobre las gravelitas. Las areniscas son de composición arcósicos, de color gris, pardo – castaño mas raramente se observan de color verde – grisáceo son rocas de grano fino y grueso. Gravelitas son de composición cuarzo-feldspática, de color rojo-castaño, verde-grisaseo de fracciones finas y gruesas, con estructura masivas compactas y muy compactas. El componente detrítico de las gravelitas es análogo al material de las areniscas.

Los depósitos del Complejo Mutula están representados por conglomerados polimicticos con bloques de tamaños medio a grueso cuarcitas, neiss, rocas intrusivas (granitos, granodioritas hasta grano-sienitas, gabro-dioritas y gabros), y mas raramente de limolitas. El grado de redondeamiento de los bloques es bueno. Los depósitos cuaternarios, están representados por arena arcillosa, cascajo, bloques aislados con cemento arenoso de arena arcillosa, fragmentos de neiss y otros materiales.

Sistema de Información Geográfico

Para abordar el trabajo se elaboró un proyecto de SIG con el propósito múltiple de elaborar la información primaria, georreferenciar, cartografiar dicha información, realizar el análisis de la información y extracción de conclusiones. El proyecto elaborado posibilita el manejo de toda la información disponible con el objetivo de identificar algunas amenazas de carácter natural y otras provocadas por posibles desastres hidrológicos como consecuencia de la existencia del embalse artificial correspondiente a la presa. Se utilizó el ArcView 3.3 el cual ha probado su efectividad en estudios de corte ambiental como es el caso. Este sistema tiene altas potencialidades tanto para el tratamiento de la información vectorial como de tipo raster. La información primaria básica fueron las hojas topográficas escala 1:100000 correspondientes al territorio estudiado.

Han sido utilizadas varias extensiones (Sacacas, 2006) que aumentan las potencialidades del sistema. Una muy breve descripción de su utilización se dará a continuación.

- 3D Analyst. Es propia del ArcView y posibilita la visualización 3D.
- 1ST-Tools. Da varias posibilidades para el manejo de temas puntos, líneas y polígonos. Fue utilizada para la conversión de líneas en puntos, puntos en líneas, cálculos de centroides de polígonos, etc.
- Bas1. Se utilizó para el cálculo de cuencas de aporte a los ríos seleccionados así como para el cálculo de la Dirección de Flujo y la Acumulación de Flujo y dio un aporte principal a la obtención de las corrientes o ríos calculados tomando en cuenta las celdas de aporte.
- DNR Hydrology Extensión utilizada para el cálculo de los Links y obtención del Modelo Digital de Elevaciones corregido. Se utilizó para el cálculo del mapa de Curvatura.
- Geoprocessing. Es una extensión propia del ArcView y se utilizó para disolver polígonos con características comunes, para la función Clip e Intersect entre polígonos. También se utilizó la función Merge para unir las dos zonas de trabajo así como para unir los cuatro temas de ríos, dos de ríos grandes y dos de ríos pequeños.
- Hydrologic Modeling e Hydro Tools para evaluar las cuencas de aporte y cálculos de algunas funciones comunes con las extensiones DNR y Bas1.
- Image georeferencing tools. Para georreferenciar los mapas escaneados.
- JPEG Image support. Posibilita visualizar imágenes tipo *.jpg. Posibilitó para visualizar los mapas escaneados.
- Model Builder. Extensión vinculada al Spatial Analyst V2.X. Se usó para modelar utilizando funciones de peso el aporte de varios temas raster en la obtención de otro realizándose un análisis espacial complejo. Ejemplo de esto es la obtención de las zonas de inundación por fallo de la represa.
- Poly-Translucent. Permite editar la trama de colores de los polígonos de forma que sean translúcidos.
- Santi tools. Para manejo de los temas, conversión de temas y georreferenciación.
- Spatial Analyst V2.0. Es propia de ArcView y posibilita la modelación y el análisis espacial.
- Surface Tools que posibilita el cálculo en perfiles y polígonos de parámetros vinculados a un Modelo Digital de Elevaciones.
- X Tools. Herramienta que posibilita una variedad de funciones con temas tipo vectorial.

RESULTADOS

Se aborda el trabajo utilizando la información correspondiente al mapa topográfico de Angola escala 1:100000 del cual fueron digitalizadas las hojas nº 129 y 130 correspondiente al área de estudio.

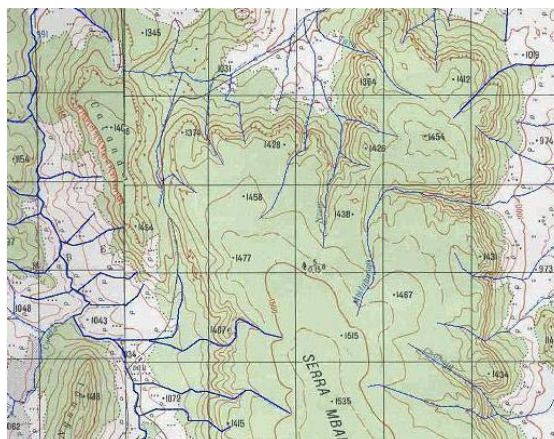


Figura 1. Mapa topográfico del área de estudio.

Fueron visualizadas y georreferenciadas. A continuación se pasó a vectorizar las curvas de nivel mediante el procedimiento de entrada por puntos y también por el procedimiento de vectorizar las líneas. (Figura 1)

El Modelo Digital de Elevaciones (Figura 2) describe la altimetría de la zona en formato raster y se obtuvo con la función Interpolación tipo Grid. En el área de estudio, el relieve presenta cotas que van desde 500 a 1600 metros de altitud, representados, cromáticamente, con tonalidades de los más claros a los más oscuros. La cota mínima es 500 metros y la máxima es 1600 metros. Se nota que las partes con cotas más bajas y más altas ocupan una área en la parte oeste y las partes con cotas intermedias, la parte este de la figura. La zona de la cuenca se extiende del oeste hasta al este, siguiendo el cauce del río principal, el Kwanza.



Figura 2. Modelo Digital de Elevaciones

Se obtiene además del mapa topográfico original la red de drenaje mediante el proceso de digitalización transformando el mapa en un tema vectorial (línea) shape. Se realiza el cálculo de la Dirección de flujo que es la dirección que toma el agua en función de la pendiente del terreno en su movimiento a través de la superficie. Las direcciones están asociadas a números que a su vez responden a una orientación cardinal de siguiente modo.

Tabla I. Direcciones principales de drenaje.

Orientación cardinal	número	Orientación cardinal	número
Este	1	Oeste	16
Sureste	2	noroeste	32
Sur	4	norte	64
Suroeste	8	noreste	128

Se verifica que la dirección de flujo del agua es preferencial en la direcciones principalmente Oeste y Norte por lo que toma valores 16 y 64 en la escala de orientación cardinal. Se puede observar que los ríos principales coinciden con la dirección del flujo del agua. (Figura 3).

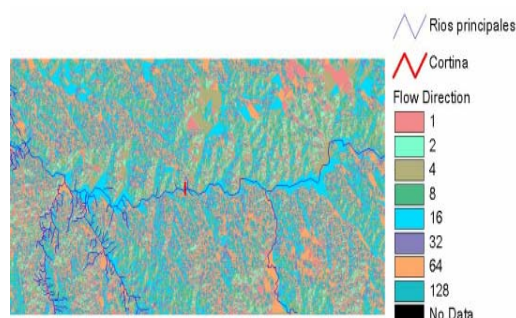


Figura 3. Direcciones de flujo predominantes

El Flujo acumulado representa zonas donde hay mayor cantidad de agua fluyendo. Las zonas mas oscuras representan los lugares donde hay mayor flujo de agua, que en ese caso coincide con el cauce del río principal, el río Kwanza.

Se presenta la cuenca del reservorio calculado, usando la extensión Basin1 para la delimitación de la cuenca con todas sus áreas de aporte partiendo desde el cierre y siguiendo como patrón la red de drenaje. La cuenca de aporte a la red de drenaje con los ríos calculados e se corresponde con el cauce del río principal.

La selección del área embalsada se obtuvo mediante el MDE bajo el supuesto que el área de embalse está dentro de la cota 950 metros para lo cual se hace una búsqueda selectiva y se representa en color azul (Figura 4). Se toma esta cota por ser la de máximo nivel de llenado en el proyecto de la represa.

Se realiza el cálculo del área y volumen embalsado. Nótese la coincidencia del área con los ríos y por supuesto con el cauce del río principal, el río Kwanza. Utilizando la extensión Basin1 se obtuvo un tema que denominamos ríos calculados donde se muestra, de acuerdo al MDE las alineaciones consecutivas que pueden ser causadas por importantes ríos. Se muestra la gran coincidencia de los ríos calculados y los ríos digitalizados. Además verifica-se la dirección del flujo hacia el noroeste principalmente.

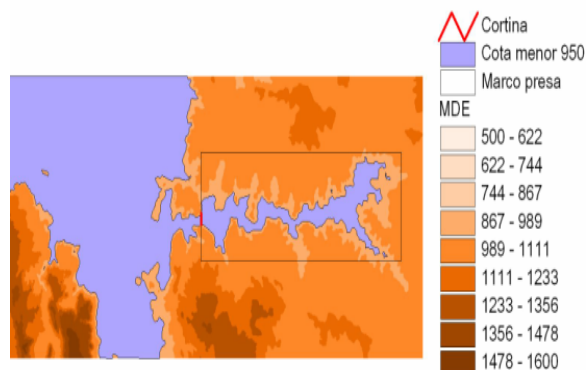


Figura 4. Sectores favorables a la acumulación de agua proveniente del reservorio

Con vistas a determinar las áreas que pueden ser reservorio de las aguas del embalse en caso de una ruptura, se realizó un análisis mediante la modelación para lo cual utilizamos el análisis espacial con la herramienta Model Builder. Para ello partimos del criterio de que varios de los temas obtenidos pueden ser utilizados para inferir los sectores de acumulación. El modelo de superposición ponderada establecido considera que ese sector pertenece a la cuenca del río, el agua sigue las direcciones

preferenciales determinadas en el Flow direction y la elevación es inferior a los 888 metros que es la altura determinada para el primer nivel de terraza del punto de cierre del embalse.

Los valores de peso para los diferentes factores de cada tema así como el por ciento de influencia de cada uno de ellos en el modelo fue establecido y finalmente se obtiene un tema raster, posteriormente convertido en vectorial donde se visualiza dicha área. Se realiza el cálculo del volumen posible de agua a acumular y se obtiene un valor muy parecido al volumen máximo de embalse de la presa. Ante la falta de otro software profesional utilizados para estos fines como el flood area de ArcGis y el MIKE en sus distintas variantes así como la falta de otros datos importante como lo es la rugosidad damos este resultado como un aproximado de la posible realidad.

La Modelación de la vulnerabilidad intrínseca a inundaciones parte de analizar para toda el área de estudio cuales son las zonas cuya morfología sea propicia para la acumulación de agua (relieve cóncavo o relieve plano), la cercanía a los ríos y el mayor o menor coeficiente de escorrentía de las aguas.

Peligro de Deslizamiento

Los deslizamientos se producen fundamentalmente a lo largo de los bordes del cañón del río Kwanza, en el cual predominan areniscas con altos contenidos de feldespatos del Complejo Capanda. La intensidad de este proceso depende de la composición mineralógica de la roca (areniscas con alto contenido de feldespatos), de las características geomorfológicas, y climáticas del área, lo que producto de la influencia sobre ellas de la meteorización se cambia el contenido de algunos de sus minerales, dando lugar a nuevos minerales, tales como los minerales del grupo de las arcillas. También estas rocas se presentan muy fracturadas producto de la diagénesis de las mismas y algunos movimientos tectónicos, lo que las hace más vulnerables a este tipo de peligro (Catanha, 2006).

Para procesamiento de los datos de deslizamiento fueron utilizados el grid del MDE y los shape de los temas geología y ríos, como informaciones fuente, donde se derivaron otros temas usados en la modelaje. Para la modelación fue utilizada la extensión ModelBuilder y fueron utilizados los siguientes temas ponderados:

Valores de escorrentía (k) para cada unidad litológica, Pendiente del MDE en grados, los coeficientes de curvatura y los alineamientos en la región de estudio.

La escala de valores utilizada para las ponderaciones varía de acuerdo con la importancia del tema. Para la construcción del mapa de deslizamiento fueron sobrepuestos todos estos temas dando un porcentaje de acuerdo a la importancia de cada uno dando como resultado para el territorio de la siguiente manera:

Tabla II. Distribución de las áreas según su estabilidad.

Código	Área (m ²)	Porcentaje (%)
Muy estable	2260435341.590	49.24
Menos inestable	118516360.782	2.58
Medianamente inestable	2083828880.955	45.39
Inestable	53678555.446	1.16
Muy inestable	73760140.278	1.60
Total	4590219279.051	

Mapa de deslizamiento: Muestra el fenómeno de deslizamiento (Figura 5) que acontece en el área de estudio. Representado con colores de los más oscuros a los más claros, significa que los colores más oscuros representan zonas más inestables, quiere decir, zonas donde pueden ocurrir eventuales

deslizamientos, y las zonas más claras las zonas de mayor estabilidad, menos propensas a los deslizamientos.

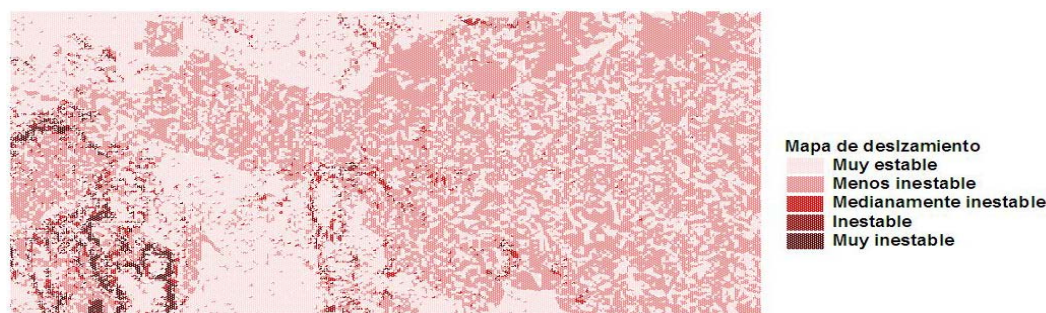


Figura 5. Zonificación del territorio atendiendo a la estabilidad de las pendientes

Sismicidad

La sismicidad del área, en general, se considera baja, pero la represa se encuentra ubicada cerca de estructuras sismogénicas principales, en los límites del Abatimiento de la Plataforma y limitada al norte por el Horst del Kwanza (Alaminos, 2003), donde son atribuidos, en el pasado, sismos de intensidades considerables, por lo que la ocurrencia de algunos eventos sísmicos fuertes no está descartada totalmente, lo que constituye un peligro potencial.

Para la confección del Mapa de Incrementos de Intensidad Sísmica de la área de estudio se tuvo en cuenta el tema shape con la geología del área, que fue resultado de la vectorización del mapa geológico a la escala 1:1000000 (Araujo, et.al, 1988), en la cual a cada unidad litológica se atribuyó un incremento de la intensidad. Este tema fue convertido en un tema grid en función de sus incrementos de intensidad. La atribución de estos incrementos fueron hechos clasificando las rocas según su edad, ya que existen otros valores de incrementos de intensidad según la litología.

En la esta representado En el Mapa de incremento de Intensidad Sísmica del área de estudio (Figura 6) se muestran los lugares más oscuros corresponde a los valores cuyo incremento de intensidad sísmica es cero, que corresponde a la litología de edad de Proterozoico Superior-Cambrio Inferior que son rocas de mayor predominio en el área, que es la mayoría. En los otros lugares los incrementos son mayores que cero, lo que que decir que la probabilidad de ocurrencia de peligros de naturaleza sísmica es considerable, pero son áreas muy pequeñas en relación a la área total de la región en estudio.

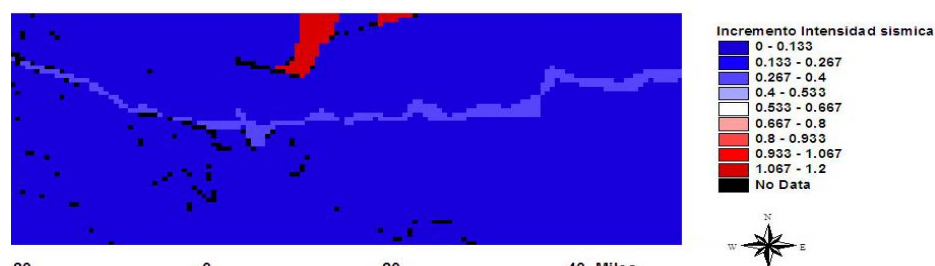


Figura 6. Niveles de incremento de la intensidad sísmica

CONCLUSIONES

La metodología utilizada posibilitó evaluar la vulnerabilidad ambiental del territorio correspondiente a la cuenca del río Kwanza ante la ocurrencia de varios peligros de origen natural. Se destaca el uso de

un mínimo de información en este caso topográfica y geológica a la que se extrajo el máximo de información mediante el tratamiento en un Sistema de Información Geográfica que además de posibilitar obtener los mapas correspondientes posibilita gestionar los niveles de riesgo posibilitando a las autoridades la toma de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- Alaminos, C. et al., Informe de la misión del Ministerio de Geología y Minas y del Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Agostinho Neto de la Provincia del Bié. Angola, 2003.
- Araujo, A.G., Perevalov, O.V. y Jukov, L.A. et al. Carta geológica de Angola a escala 1:1 000 000. Instituto Nacional de Geología, Angola, 1988.
- Catania, M., 2006. Caracterización de los peligros naturales de la cuenca del río Kwanza bajo la influencia de la presa Capanda en Angola. Tesis de Master en Geofísica Aplicada. Departamento de Geociencias. Facultad de Ingeniería Civil. CUJAE: 92p.
- Sacasas León, Carlos y Catania, Moisés. (2006) Peligros hidrológicos en una región de la cuenca del río Kwanza, Angola. XIII Convención Científica de la CUJAE.

EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN DE LOS SUELOS EN LAS REGIONES CÁRSICAS DE LA HABANA MEDIANTE EL NUEVO MÉTODO EVERC

Marina B. Vega Carreño⁽¹⁾, José M. Febles González⁽²⁾

(1) Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", Ave. 114 No. 11901, Mariana 15, Ciudad de La Habana, Cuba. CP 19390, E-mail: mvega@civil.cujae.edu.cu

(2) Universidad Agraria de La Habana, Autopista Nacional y Carretera de Tapaste, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, E-mail: jmfebles@ish.edu.cu

RESUMEN

Hasta el presente, los métodos e índices diagnósticos empleados en el país para evaluar la erosión de los suelos en regiones cársticas, no tienen en cuenta la fase de la morfogénesis presente en tales geosistemas, ni su relación con los procesos erosivos, de lo cual se derivó el objetivo fundamental de este trabajo, en el que se propone un nuevo enfoque para evaluar la erosión de los suelos en las regiones cársticas. El mismo consiste en considerar la intensidad de la carsificación como un factor de la erosión y evaluarlo a través de un Índice de Carsificación, que se incluyó en el método CORINE (1992), modificándolo y dando lugar al nuevo método EVERC (Vega, 2006; Vega y Febles, 2006b). El método utiliza la cartografía temática de factores, en un Sistema de Información Geográfica y fue aplicado en varios sectores representativos del desarrollo de los procesos cársticos de la provincia La Habana. Adicionalmente se estimó por vez primera de forma cuantitativa, las pérdidas de suelos a través de formas cársticas de absorción, empleando el modelo de erosión empírico – conceptual MMF (Morgan *et al.*, 1984, Morgan, 2001). Los resultados obtenidos permiten valorar con objetividad y con enfoque genético el carácter erodable de los suelos, aportando nuevos elementos a los programas o proyectos de carácter ambiental.

ABSTRACT

At present the methods and diagnosis index used in our country to evaluate the soil erosion in karstic regions don't consider the development of karst process in those regions and the relation with soil erosion process. As a consequence the main objective of this research is the proposition of a new approach to soil erosion assessment in karstic regions. It takes into consideration the karstic intensity as a factor of erosion and apply a karst index for evaluating it. With this index the CORINE method was modified and a new method appears: EVERC (Vega y Febles, 2006). The method use the thematic mapping of erosion factors in a Geographic Information System and was applied in various regions that represent different conditions of the karstic process in Havana province. In addition the MMF erosion model (Morgan *et al.*, 1984, Morgan, 2001) was applied to quantify the soil loss through the sinkholes. The results value with a genetic approach, the erodability of soil in this regions.

INTRODUCCIÓN

Los suelos en todo el mundo se encuentran actualmente en grave estado de degradación (GLASOD, 1991), destacándose a la erosión, como el proceso que afecta al mayor número de hectáreas, particularmente, la erosión hídrica, ya que provoca afectaciones en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y como consecuencia reduce la productividad de los mismos (Lobo *et al.*, 2005). En ocasiones, la erosión provoca además, efectos indirectos como sedimentación, inundaciones, deslizamientos de tierra, etc., con características a veces catastróficas, así como disminución de la biodiversidad, deterioro de la suplencia de agua en cantidad y calidad, e influencia en los cambios climáticos globales y sus consecuencias (FAO/ ISRIC/PNUMA, 1996; Lal, 2000).

Cuba no es ajena a esta problemática mundial. De los 6,6 millones de hectáreas que conforman la superficie agrícola del país, están cultivadas el 3,6 millones de hectáreas y de ellas, el 70% está afectada por procesos de degradación, reconociéndose a la erosión, evaluada de fuerte a media,

como uno de los factores limitantes de mayor relevancia, pues está presente en un 43.3% del área agrícola, lo cual se traduce en que 2,9 millones de hectáreas están afectadas por este proceso (Instituto de Suelos, 2001; Cárdenas, 2006).

En este contexto, llama la atención el hecho de que a pesar de que el 65 % de la superficie del territorio está carsificada (Núñez *et al.*, 1988; Gutiérrez, 1997, Molerio *et al.*, 2004) y que los ambientes que se desarrollan en ella poseen singularidad geomorfológica, climática y biogeográfica (Bullón, 2004); a lo cual se adiciona el hecho de estar caracterizados por una modalidad específica de la erosión denominada cársico – erosiva, no existe un consenso respecto a este último criterio y el grado de carsificación de un territorio no es considerado como un factor a tener en cuenta al evaluar la erosión, a pesar de que las investigaciones de Febles (1988), Gounou y Febles (1997), Febles *et al.*, (2005), Vega y Febles (2006a), lo han demostrado. Como consecuencia, en los suelos Ferralíticos Rojos, que constituyen el Agrupamiento más extendido en esos geosistemas, en los cuales se desarrolla una intensa actividad agropecuaria, no se reconoce totalmente la existencia y avance de la morfogénesis cársica y su influencia en la erosión de los suelos. Ello ha dado lugar a diferentes interpretaciones del proceso erosivo que se desarrolla en esta cobertura edáfica, al aplicarse en las regiones cársicas de Cuba, los mismos métodos, medios y escalas de representación, que frecuentemente se seleccionan para el resto de los Agrupamientos de suelos. Es de significar que en ninguna de las investigaciones acerca de la erosión de los suelos en regiones cársicas se toma en consideración el desarrollo de la morfogénesis cársica como índice diagnóstico.

Por esta razón, en el presente trabajo se propone incluir un Índice de Carsificación para modificar el método de cartografía temática de factores CORINE (1992) y dar lugar al nuevo método EVERC (Vega y Febles, 2006) que permite evaluar objetivamente, de forma cualitativa, la influencia de la intensidad de la carsificación en la erosión potencial y actual de los suelos presentes en las áreas cársicas. Adicionalmente se aplicó el modelo de erosión MMF (Morgan *et al.*, 1984, Morgan, 2001) para estimar por primera vez en Cuba, las pérdidas de suelo a través de las formas cársicas de absorción y ratificar el carácter erodable de los suelos Ferralíticos Rojos y subtipos asociados que caracterizan la cobertura edáfica de las regiones cársicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre la variedad de métodos de cartografía temática que existen para evaluar el riesgo de erosión, se seleccionó el método CORINE (1992) por su enfoque genético e integrador de los factores generales de la erosión (Fig. 1), para obtener los mapas de riesgo de erosión de suelos.

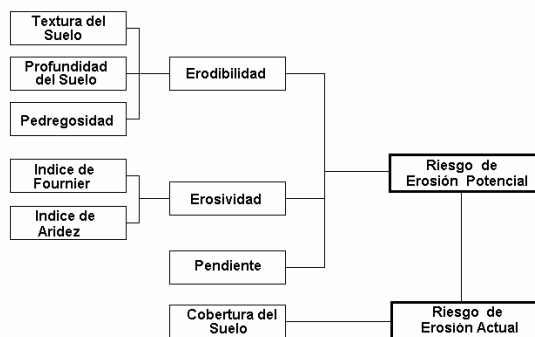


Figura 1 Diagrama de flujo del método CORINE (1992)

Como este método no tiene en cuenta las modalidades específicas que asume la erosión de los suelos en las regiones cársicas, se consideró necesario realizarle algunas modificaciones para ajustarlo a las condiciones genéticas en que objetivamente transcurren estos procesos.

Nuevo método cualitativo EVERC (Vega y Febles, 2006)

El método propuesto tiene en cuenta los criterios de Vega y Febles (2005), acerca de la utilidad del empleo de la cartografía temática de factores en un ambiente SIG en correspondencia con el estado actual de las investigaciones en suelos erosionados a nivel internacional, al mismo tiempo que integra, con enfoque genético, los factores naturales que objetivamente establecen las relaciones dinámicas existentes entre procesos de diversa naturaleza y que con frecuencia se yuxtaponen o coexisten zonal y espacialmente en los geoecosistemas cársicos.

Las modificaciones realizadas al método CORINE (1992) para dar lugar al nuevo método EVERC: Evaluación de la Erosión en Regiones Cársicas (Vega y Febles, 2006b). fueron las siguientes:

- se incluyó un Índice de Carsificación,
- se desestimó el Índice de Aridez dada la abundante pluviometría que caracteriza a la región central de la provincia La Habana, y
- se incorporó una nueva categoría de protección del suelo por la vegetación.

De acuerdo con lo anterior, la secuencia de combinación de los índices para obtener los mapas de riesgo de erosión potencial y actual, aplicando el método EVERC se presenta en la Fig. 2.

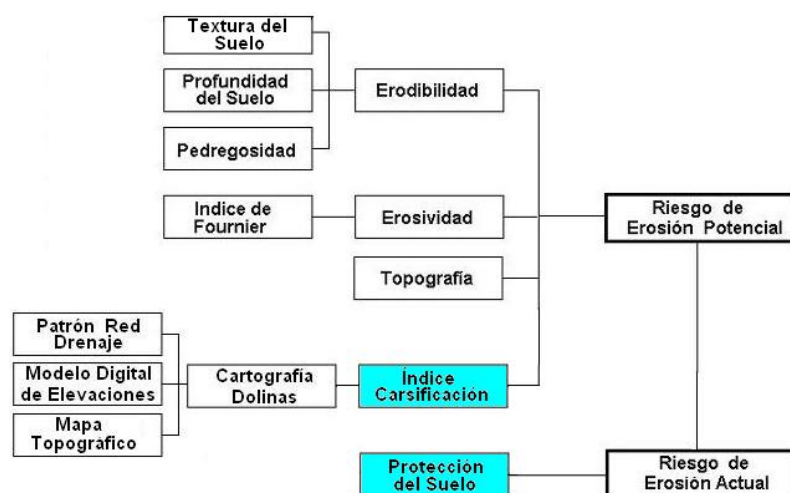


Figura 2 Diagrama de flujo del método EVERC (Vega y Febles, 2006b)

Determinación del Índice de Erodabilidad

La información de partida está contenida en las tablas de propiedades de la versión digital del Mapa Nacional de Suelos escala 1:25 000 (Paneque *et al.*, 1991), calculándose la erodibilidad como el producto de los factores siguientes:

$$\text{Índice de Erodabilidad} = \text{Clases de texturas} \times \text{Clases de profundidad} \times \text{Clases de pedregosidad} \quad (1)$$

Determinación del Índice de Erosividad

Se utilizó la información de 38 pluviómetros de la provincia La Habana reportada en CENHICA (1997). La base de datos, fue procesada en Microsoft Excel y para cada estación pluviométrica, se obtuvo el Índice Modificado de Fournier (IMF) propuesto por Arnoldus (1978) a partir de la ecuación siguiente.

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P_t}$$

donde:

p_i : es la precipitación media mensual (mm.)

P_t : es la precipitación media anual (mm.)

Los valores obtenidos se utilizaron para generar los mapas de isolíneas del parámetro con una resolución espacial de 25 * 25 m. y posteriormente el mapa del IMF, en formato raster se incorporó en el SIG, para ejecutar la modelación cartográfica y obtener el Índice de Erosividad..

Determinación del Índice Topográfico

El Modelo Digital de Elevaciones a escala 1:25 000 (GER, 2005) constituyó el mapa de partida para obtener el Mapa de Pendientes y mediante la modelación cartográfica en el SIG se obtuvo el Índice Topográfico. Todas las operaciones de reclasificación para obtener los índices hasta aquí descritos se realizaron de acuerdo a las clases establecidas por el método CORINE (1992).

Determinación del Índice de Carsificación

Para determinar este nuevo índice, que dio lugar al método EVERC, la cartografía de las dolinas, constituyó la información primaria imprescindible. Para realizarla se utilizaron los materiales siguientes:

- la cartografía de las dolinas a escala 1:2 000 (Febles, 1988) en la Unidad Morfoedafológica Rosafé – Aljibe ubicada en la subcuenca Mampostón
- la red de drenaje en formato digital,
- el modelo digital de elevaciones (MDE), escala 1:25 000
- el mapa topográfico digital 1:25 000

El procedimiento para obtener el Índice de Carsificación se inició ubicando las depresiones cárnicas en el mapa topográfico digital 1:25 000 (Geocuba, 2004), las cuales se corresponden con los puntos centrales de las isolíneas cerradas. Complementariamente la interpretación conjunta de la red de drenaje y el MDE permitió identificar otros sectores depresionales asociados a formas de absorción. La cartografía en la Unidad Morfoedafológica la “Rosafé Signet”, representó el criterio de la verdad terreno para contraponerlo con los datos anteriormente interpretados y validar la interpretación a una escala mayor. Finalmente las dolinas fueron representadas en un mapa que se incorporó al SIG para delimitar sectores (polígonos) con diferente densidad de rasgos al que se le aplicaron sucesivas operaciones de álgebra de mapas para finalmente clasificarlo y obtener el Índice de Carsificación. En este sentido las áreas que caracterizan a cada sector se clasificaron en conformidad con los nuevos criterios presentados en la Tabla I, para obtener el mapa del Índice de Carsificación indispensable para aplicar el método EVERC.

Tabla I Clasificación del Índice de Carsificación (IC)

Valores	Descripción	Clases del IC
5 - 10	Bajo	1
>10 - 15	Moderado	2
>15	Alto	3

Determinación del Índice del Riesgo de Erosión Potencial

La información de partida se sustenta en los cuatro índices anteriormente obtenidos y el cálculo se realiza según la expresión siguiente:

$$\text{Índice Riesgo Erosión Potencial} = \frac{\text{Índice Erodibilidad} \times \text{Índice Erosividad} \times \text{Índice Topográfico} \times \text{Índice de Carsificación}}{\text{Índice de Protección}} \quad (3)$$

Determinación del Índice de Protección

La información de partida está contenida en la tabla de atributos del mapa digital de uso de suelos escala 1:25 000 (IPF, 2001). La misma fue reclasificada de acuerdo con las clases de protección propuestas para aplicar el método EVERC (Tabla II).

Tabla II Clasificación de la protección del suelo

Uso del Suelo	Descripción	Índice de Protección
Bosques naturales, instalaciones, poblaciones, pasto cultivado, presas y lagunas, forestales.	Totalmente protegido	1
Pasto natural, terrenos ociosos, y no apto.	Parcialmente protegido	2
Cultivos varios y temporales, autoconsumo.	No protegido	3

Determinación del Índice del Riesgo de Erosión Actual

Los índices de protección del suelo y del riesgo de erosión potencial anteriormente calculados representan la información para el cálculo de este índice, de acuerdo con la expresión siguiente:

$$\text{Índice Riesgo Erosión Actual} = \text{Índice Protección} \times \text{Índice Riesgo Erosión Potencial} \quad (4)$$

Método cuantitativo: Modelo MMF (Morgan *et al.*, 1984; Morgan, 2001)

Morgan *et al.* (1984) presentaron un modelo empírico simple para predecir la pérdida anual de suelo en pendientes, que fue actualizado por Morgan (2001). Utilizaron los conceptos propuestos por Meyer y Wischmeier (1969), para proporcionar una base física más sólida que la del modelo USLE (Wischmeier y Smith, 1960). De esta forma además de mantener las facilidades de un enfoque empírico, se expresaban mejor las características del proceso erosivo que dividieron en dos fases: una hídrica y otra de sedimentos.

Fase hídrica

En la misma, la erosión del suelo es el resultado de la desagregación de las partículas debido a la erosión por impacto y el transporte de las mismas por el flujo superficial por ello se necesita estimar la energía cinética del impacto de la lluvia (E) y el volumen de flujo superficial (Q)

Fase de sedimentos

En esta fase se evalúa la tasa de suelo disperso por salpicadura (F) y por la capacidad de transporte del flujo superficial (G) mediante las ecuaciones siguientes:

La predicción final de la pérdida de suelo se realiza comparando los valores obtenidos para la capacidad de transporte del flujo superficial. (G) y para la remoción por salpicadura (F). El más bajo de ellos se toma como la tasa de pérdida anual de suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aplicación del método EVERC en la subcuenca Mampostón

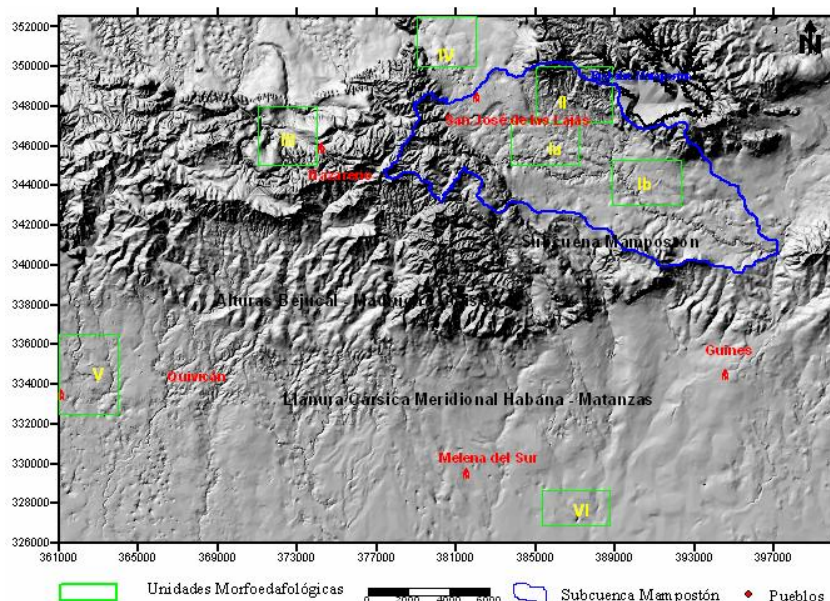


Figura 3 Modelo Digital de Elevaciones de la región estudiada en la provincia La Habana

Con el método EVERC se realizó una evaluación de la erosión potencial y actual en la subcuenca Mampostón, provincia La Habana, (Fig. 3) al disponerse de un estudio histórico - evolutivo durante los últimos 20 años (Febles *et al.*, 1984; Febles *et al.*, 1986; Febles, 1988; Gounou y Febles; 1997; Santos, 1999; Febles *et al.*, 2005) en la unidad morfoedafológica Rosafé - Aljibe, que permite considerarla como un sector de referencia para la investigación de los procesos cársico - erosivos en la provincia La Habana. Se aplicó además el método CORINE (1992) con el

objetivo de comparar el efecto de considerar o no un índice de carsificación para la evaluación de la erosión de los suelos en regiones cársicas.

Obtención del mapa de riesgo de erosión potencial en la subcuenca Mampostón

El Índice del Riesgo de Erosión Potencial determinado con el método EVERC revela claramente la influencia de la carsificación en el proceso erosivo. En efecto, en el mapa (Fig. 4), se aprecia, que la erosión potencial

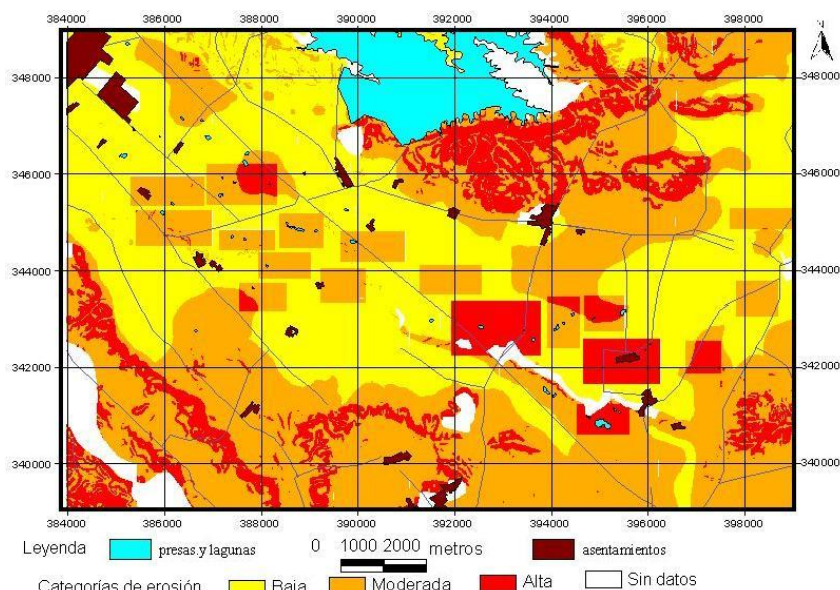


Figura 4 Mapa del Índice de Riesgo de Erosión Potencial en la subcuenca Mampostón Aplicando el Método EVERC

clasificada predominantemente como baja, en la aplicación del método CORINE (Fig. 5), ahora, mediante el empleo del método EVERC se incrementa hasta las categorías moderada y localmente alta, preferentemente en aquellos sectores ubicados en el lineamiento tectónico del eje de la subcuenca, con valores máximos del Índice de

Carsificación Normalizado y de las categorías del Índice de Carsificación.

De esta forma, la integración de los factores naturales mediante la cartografía temática, a través del

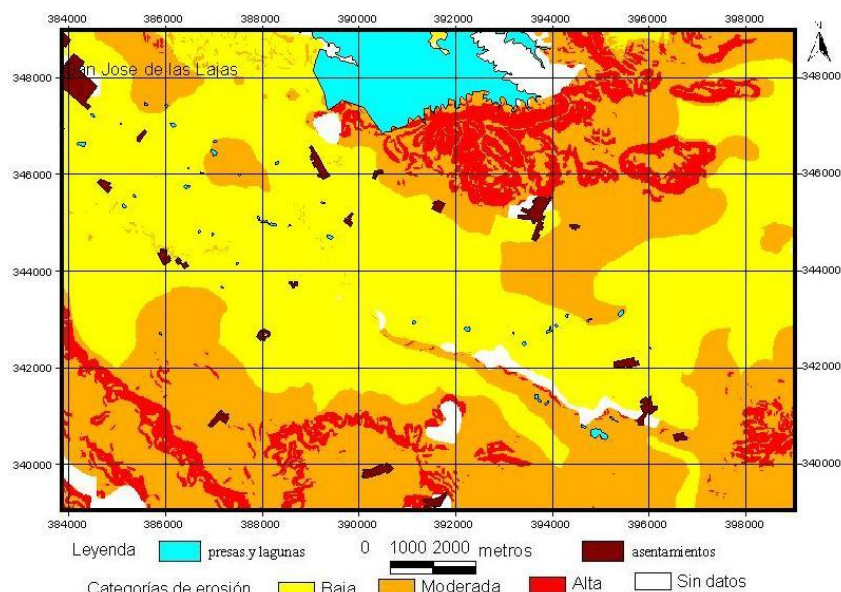


Figura 5 Mapa del Índice de Riesgo de Erosión Potencial en la subcuenca Mampostón
Aplicando el Método CORINE

método EVERC confirma el carácter erodable de los suelos Ferralítico Rojos y subtipos asociados predominantes en este geosistema, al mismo tiempo que revela la influencia de la intensidad de la carsificación en la erosión de la cobertura edáfica que lo caracteriza. Este proceso se desarrolla a través de mecanismos que actúan conjunta y simultáneamente: erosión hídrica y cársica – erosiva, manifestándose éste

último básicamente en dirección subsuperficial, a través de las innumerables formas de absorción cársica.

Estos resultados corroboran lo expresado por Angel *et al.* (2004), acerca del peligro potencial que representa para la erosión de los suelos, el desarrollo de las formas cársicas superficiales y por Febles (1988), Gounou y Febles (1997), Febles *et al.* (2005); Vega y Febles (2006b), acerca de la erosión de los suelos en las regiones cársicas de la provincia La Habana.

Obtención del mapa de riesgo de erosión actual en la subcuenca Mampostón

El mapa correspondiente a la aplicación del método EVERC para la subcuenca se ofrece en la Fig. 6.

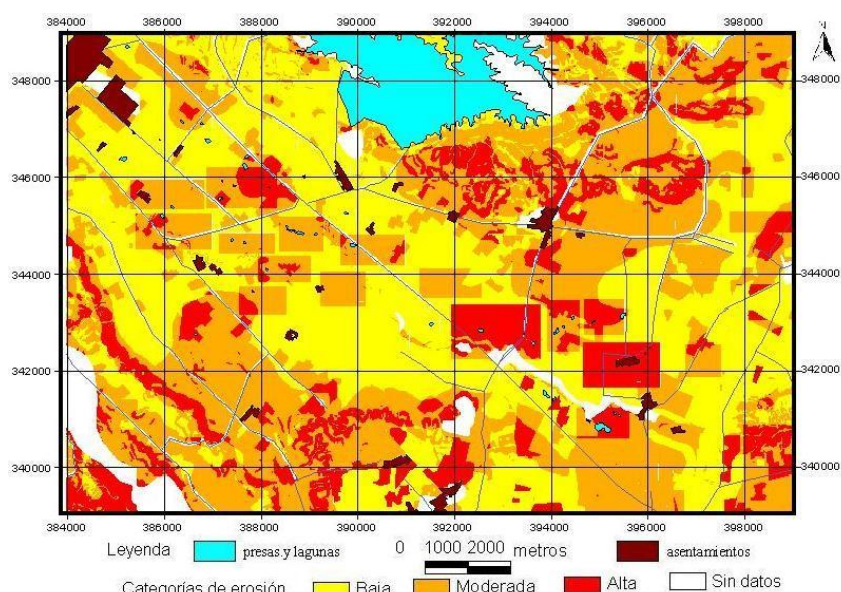


Figura 6 Mapa del Índice de Riesgo de Erosión Actual en la subcuenca Mampostón
Aplicando el Método EVERC

En el examen de las categorías de erosión actual en la subcuenca se aprecia en general una coincidencia respecto a la erosión potencial en los sectores con categorías de erosión baja – moderada e incluso alta, particularmente en el sector medio - inferior de la subcuenca lo cual pudiera estar asociado al uso histórico para pastos, que han tenido los suelos.

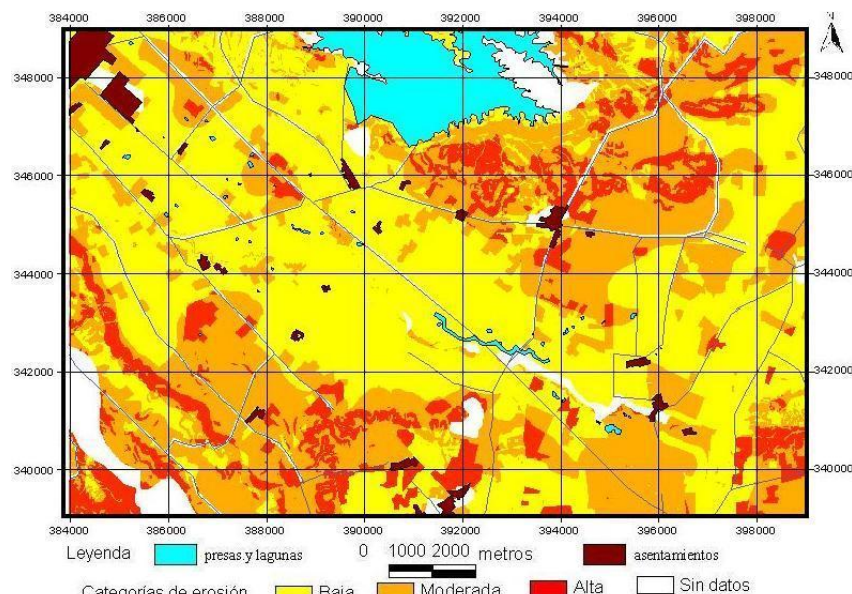


Figura 7 Mapa del Índice de Riesgo de Erosión Actual en la subcuenca Mampostón Aplicando el Método CORINE

Sin embargo en la porción noroeste se advierte un discreto incremento de los sectores con categoría alta de erosión, posiblemente relacionado con un uso más intensivo de la cobertura edáfica: cultivos temporales que le brindan una protección parcial al suelo, favoreciendo la erosión por impacto y de acuerdo con la intensidad de la lluvia, la erosión por escorrentía.

Al comparar el mapa del Índice de Erosión Actual mediante el método EVERC con su homólogo

CORINE (Fig. 7) se evidencia en este último, una notable ausencia de las categorías de erosión moderada – alta, especialmente en el lineamiento del eje tectónico de la subcuenca donde el Índice de Carsificación Normalizado (Fig. 9), reveló la mayor densidad de depresiones por km². De esta forma se destaca la influencia decisiva de la morfogénesis cársica, en el comportamiento de la erosión actual, confirmando la necesidad de reconocer la existencia de una modalidad específica de erosión, que afecta a los suelos en las regiones cársicas de Cuba, dinámica ratificada por los trabajos ya clásicos de Panos y Stelcl (1965), desarrollados en el país, así como los de Llópiz (1982) en España, y más recientemente Angel *et al.* (2004), en los Estados Unidos y Wang *et al.* (2004) en China, en geoeosistemas similares.

Aplicación del modelo MMF (Morgan *et al.*, 1984; Morgan, 2001) en el sector central de la subcuenca Mampostón.

Con el propósito de calcular la cantidad de suelo removido por efecto de las acciones conjuntas y simultáneas de la erosión hídrica y cársico – erosiva en las dolinas, se aplicó un modelo de erosión empírico - conceptual, sustentado en la dinámica de los procesos erosivos, las propiedades de los suelos, las características climáticas, y el uso del suelo, lo cual permitió evaluar por vez primera, la magnitud de las pérdidas de suelos Ferralíticos Rojos y subtipos asociados en una región representativa de los territorios cársicos de la provincia La Habana.

La estimación de la tasa de erosión por impacto (F) y la capacidad de transporte por el flujo superficial (G) requirieron del cálculo previo de algunos parámetros y otros se estimaron a partir de las tablas de valores propuestas por los autores del modelo.

Dada la homogeneidad de la cobertura edáfica, la ocupación del suelo y las precipitaciones en área de influencia de la dolina, que son los parámetros de los cuales depende el valor de F, este resultado es único para todas las morfologías cársicas presentes en la UME I Rosafé – Aljibe no así los de G. (capacidad de transporte por el flujo superficial), ya que ellos dependen de la inclinación de la pared de las dolinas por lo cual se utilizaron los datos de la morfometría (radio menor, y diferencia entre la cota de la superficie y la de fondo), reportados por Febles (1988), Gounou y Febles, (1997) y los determinados en las evaluaciones de campo durante la realización de esta investigación.

Todos los valores obtenidos para G son menores que los de F, por tanto, es el parámetro G quien en este caso permite evaluar la tasa de pérdida anual de suelo por m² del perfil longitudinal para cada dolina. Para la correcta estimación de este resultado, debe tenerse en cuenta que cada dolina se comporta como un nivel de base local, con una microcuenca bien definida respecto a los productos generados por erosión (erosión por impacto), en superficies automórficas vecinas, y a la cual arriban de acuerdo con la estructura de la red de drenaje por al menos tres cañadas o surcos durante cada episodio de lluvia intensa. Es por ello que para realizar un estimado más objetivo, se multiplicaron por tres, los valores obtenidos para G por la aplicación del modelo..

De acuerdo con las estimaciones realizadas, el volumen de suelo removido hacia las depresiones cársticas tiene una variación promedio entre 13,4 - 17,4 t/ha/año, con lo cual se sobrepasa los límites permisibles en términos de erosión (Garduño, 1977), indicando la intensidad que ha alcanzado el proceso.

La evaluación conjunta de los valores de G obtenidos por la aplicación del modelo de Morgan *et al.* (1984), así como los volúmenes calculados se corresponden con las categorías de erosión moderada y alta obtenidas por el método EVERC, y demuestran que los suelos del Agrupamiento Ferralítico Rojo y subtipos asociados, presentes en estas regiones están afectados por una modalidad específica de la erosión que son los procesos cársico - erosivos dando lugar a una reducción considerable del fondo de tierra destinado a pastos del Centro Rosafé Signet. Este resultado corrobora de forma cuantitativa lo que Febles (1988), Gounou y Febles (1997) y Vega y Febles (2006b) expusieran en sus respectivas investigaciones.

CONCLUSIONES

1. En las regiones cársticas de la provincia La Habana se hace indispensable considerar la intensidad de la carsificación como un índice de diagnóstico principal al evaluar la erosión de los suelos, ya que modula la casi totalidad de los procesos presentes en estos estratégicos geoecosistemas.
2. El nuevo método EVERC (Vega y Febles, 2006): **Evaluación de la Erosión en las Regiones Cársticas** por su concepción genética e integradora demostró su utilidad, para establecer la dinámica de los procesos cársico – erosivos que objetivamente participan en las relaciones existentes entre procesos erosivos de diversa naturaleza.
3. La secuencia metodológica para evaluar cualitativamente la erosión de los suelos mediante modelación cartográfica en el ambiente de un SIG, en las regiones cársticas de Cuba y en otras similares requiere de: la obtención del índice de carsificación, la integración de este índice con los de erodibilidad, erosividad y topográfico con el propósito de evaluar el índice de erosión potencial, la evaluación del índice de protección del suelo y la obtención del índice de erosión actual.
4. La aplicación del modelo de erosión empírico – conceptual MMF (Morgan, *et al.*, 1984; Morgan, 2001) permitió evaluar por vez primera, la magnitud de las pérdidas de suelos Ferralíticos Rojos y subtipos asociados, obteniéndose valores que sobrepasan los límites permisibles en términos de erosión. durante una secuencia histórica entre 1986-2006 realizada en el Centro de Inseminación Artificial “Rosafé Signet”, con una variación promedio entre 13,4 - 17,4 t/ha/año, lo que evidencia el progresivo desarrollo de los procesos cársico – erosivos.

RECOMENDACIONES

Incorporar el método EVERC (Vega y Febles, 2006): en las futuras investigaciones de erosión de los suelos en las regiones cársticas, como una herramienta de evaluación más objetiva que las empleadas hasta el presente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angel, J. C., D. O. Nelson, y S. V. Panno, 2004. Comparison of a new GIS-based technique and a manual method for determining sinkhole density: An example from Illinois' sinkhole plain. Journal of Cave and Karst Studies, 66(1):9-17.
- Arnoldus, H. M., 1978. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. En Assessments of erosion (M. De Boodst y D. Gabriels, eds.), John Wiley & Sons, Inc. New Cork, pp. 127-132.
- Bullón, T., 2004. Teledetección aplicada al estudio de los recursos naturales en un medio kárstico En Medio Ambiente, recursos y riesgos naturales: Análisis mediante tecnología SIG y Teledetección (C. Conesa, Y. Alvarez y J. B. Martínez, eds.). Grupo de métodos cuantitativos, SIG y Teledetección (Asociación de Geógrafos Españoles) y Departamento de Geografía, Universidad de Murcia, Vol. II, pp. 13-24.
- Cárdenas, A., 2006. Impacto del Programa Nacional de Conservación y Mejoramiento de suelos en la Agricultura Cubana y el Medio Ambiente. En VI Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo, La Habana, Memorias, CD – ROM Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo, ISBN 959-7023-35-0.
- CENHICA, 1997. "Bases de datos de lluvia" [inédito], INRH. La Habana.
- CORINE, 1992. Soil erosion risk and important land resources in the southern regions of the European Community. [citado 20 febrero 2004] Disponible en Internet: URL<http://reports.eea.eu.int/COR0-soil/en/soil_erosion.pdf>
- FAO / ISRIC / PNUMA, 1996. Degradación del suelo debido a actividades humanas. Cumbre Mundial sobre la alimentación, Roma.
- Febles, J.M., 1988. "La erosión de los suelos en las regiones cársicas de la provincia de La Habana" [inédito], tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas, Facultad de Agronomía, Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez.
- Febles, J.M., N. Martín, y S. Hernández, 1984. "Influencia de los factores naturales y socioeconómicos de la erosión de los suelos en el Centro de Inseminación Artificial Rosafé Signet" [inédito], Informe Dpto Suelos Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias La Habana.
- Febles, J.M., N. Martín, y S. Hernández, 1986. La erosión y el manejo de los suelos en el carso llano de Cuba: estudio de diferentes casos. Edit., ORSTOM, Paris, 717 – 728.
- Febles, J.M., M. A. Pacheco, I. Castro, y L. Jerez, 2005. "Creación de una red de indicadores de sostenibilidad en áreas rurales de La Habana. Primer año de resultados" [inédito], Universidad Agraria de La Habana.
- Garduño, M. A., 1977. Manual de conservación de suelos y del agua. Colegio de Posgraduados de Chapingo, México, 76 pp.
- Geocuba, 2004. Mapa topográfico digital escala 1:25 000 provincia La Habana.
- GER, 2005. Modelo digital de elevaciones de la provincia La Habana, escala 1:25 000.
- GLASOD, 1991. Global Assessment of Soil Degradation. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC). [citado 10 enero 2004] Disponible en Internet: URL <<http://www.isric.nl>>
- Gounou, E. y Febles, J. M., 1997. "Aplicación del enfoque morfoedafológico al estudio de la variabilidad de algunos suelos en un geosistema cársico (La Habana, Cuba)" [inédito], tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas, Facultad de Agronomía, Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez.
- Gutiérrez, R., 1997. El karst en el archipiélago cubano. En Estudios sobre Geología de Cuba (E. Furrázola y K. Núñez, eds.), Centro Nacional de Información Geológica, La Habana, pp. 197 -212.
- Instituto de Suelos, 2001. Programa Nacional de mejoramiento y conservación de suelos. Ministerio de la Agricultura, Agrinfor, 38 pp.
- IPF, 2001. Mapa de uso de suelo de la provincia La Habana en formato Map Info escala 1:25 000. Instituto de Planificación Física, provincia La Habana.
- Lal, R., 2000. Soil conservation and restoration to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. En ESSC Third Int. Cong., Valencia (España) Key Notes pp. 5-20
- Llópiz, N., 1982. Fundamento de hidrología cársica. Introducción a la geoespeleología. Ed. Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, 269 pp.
- Lobo, D., 2000. "Indicadores de la susceptibilidad a la degradación física de los suelos con fines de evaluación de tierras" [inédito], Tesis Doctoral. Postgrado en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela.
- Meyer, L. D., y W. H. Wischmeier, 1969. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. Transactions of ASAE, pp. 754 – 762.
- Molerio, E., E. Balado, P. Astraín, C. Aldana, M. Mahe-Condís, et al., 2004. Mundo Subterráneo. Universidad para todos.

- Morgan, R. P. C., 2001. A simple approach to soil loss prediction. a revised Morgan–Morgan–Finney model. Catena, 44:305 – 322.
- Morgan, R. P. C, D. D. V. Morgan, y H. J. Finney, 1984. A predictive model for the assessment for soil erosion risk. J. Agric. Eng. Res., 30 245-253.
- Núñez, A., N. Viña, M. Acevedo, J. Mateo, M. Iturralde, et al., 1988. Cuevas y carso. Editorial Científico Técnica, Ciudad de La Habana, pp. 431.
- Paneque, J., E. Fuentes, A. Mesa, y A. Echemendía, 1991. El Mapa Nacional de Suelos Escala 1:25 000. En Memorias del XI Congreso Latinoamericano y II Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo, La Habana, Memorias, (D. R. Villegas y D. Ponce de León, eds.), pp. 1345-1347.
- Panos, V., y O. Stelcl, 1965. Carso llano en la parte occidental de Cuba. Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de Cuba, 43 pp.
- Santos, R., 1999. "La cartografía morfoedafológica en la evaluación de un agroecosistema cársico" [inédito], tesis para optar por el título de Maestro en Ciencias agrícolas, Universidad Agraria de La Habana.
- Vega, M., 2006. "Evaluación de la erosión de los suelos en las regiones cársicas en las regiones cársicas de La Habana mediante el nuevo método EVERC" [inédito], tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Geológicas, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.
- Vega, M., y J. M. Febles, 2005. Investigación de suelos erosionados: métodos e índices diagnósticos. Minería y Geología, XXI(1-2).
- Vega, M., y J. M. Febles, 2006a. Evaluación de la erosividad de la lluvia en regiones de uso agropecuario en la porción central de la provincia La Habana. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 40(2).
- Vega, M., y J. M. Febles, 2006b. EVERC: Nuevo método de evaluación de la erosión de los suelos en regiones cársicas. En XIII Conferencia de Ingeniería y Arquitectura, Cujae, La Habana, Memorias.
- Wang, S.J., Q.M. Liu, y D.F. Zhang, 2004. Karst rocky desertification in southwestern China: geomorphology, landuse, impact and rehabilitation. Land Degrad. Develop., 15:115–121.
- Wischmeier, W. H., y D. D. Smith, 1960. A universal soil equation to guide conservation farm planning. En 7th International Congress of Soil Sciences, Madison, Estados Unidos, Proceedings, pp. 418-425.



MANEJO Y DISPOSICIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS Y SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS EN LA REFINERÍA “ÑICO LÓPEZ”

Gisela Novoa Rodríguez⁽¹⁾, Ricardo Campos Rodríguez⁽¹⁾, Ana C. Núñez Clemente⁽¹⁾, Miguel A. Díaz Díaz⁽¹⁾, Roberto Romero Silva⁽¹⁾, Sandra Millar Palmer⁽¹⁾, Isabel López Escobar⁽¹⁾, Cristina Laffita Rivera⁽¹⁾, Miriam Cora Medina⁽¹⁾ y Elsa Sánchez Sotolongo⁽¹⁾.

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Calle Washington No 169, esq. Churrucá, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, E-mail: robertors@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

La gestión medioambiental de las empresas de CUPET, surgida en los últimos años, ha generado la necesidad de solucionar los problemas del manejo y la disposición de los residuales sólidos de origen orgánico que se generan en los tanques de almacenamiento de productos ligeros y pesados (fuel, slop, crudo) y actuar ante estas situaciones tratando de evitar el impacto negativo que pudieran producir estos residuos que no son sometidos a algún tipo de tratamiento, sino son simplemente arrojados en terrenos aledaños a la refinería.

Se aplicó el proceso de Biorremediación al área impactada en un plazo de 100 días, como parte del seguimiento analítico, químico y microbiológico, reportándose altas tasas de biodegradación de los contaminantes, quedando demostrada la eficacia de dicha técnica. Se logró proponer un diseño de unidades de Landfarming en la Refinería “Ñico López” posibilitando un vertido controlado de los residuos sólidos petrolizados en las áreas existentes en la entidad.

ABSTRACT

The environmental management of the companies of CUPET, arisen in the last years, it has generated the necessity to solve the problems of the handling and the disposition of the residual solids of organic origin that are generated in the tanks of storage of slight and heavy (fuel, slop, raw) products and to act before these situations being about avoiding the negative impact that you/they could produce these residuals that are not subjected to some treatment type, but they are simply heady in terrestrial bordering to the refinery.

The process was applied from Biorremediación to the area impacted in a term of 100 days, like part of the analytic, chemical pursuit and microbiológico, being reported discharges rates of biodegradation of the pollutants, being demonstrated the effectiveness of this technique. It was possible to propose a design of units of Landfarming in the Refinery “Ñico López” facilitating a poured controlled of the residuals solid petrolizados in the existent areas in the entity.

INTRODUCCION

La Refinería “Ñico López” se encuentra situada en los alrededores de la Bahía de la Ciudad de la Habana, en el municipio Regla en la parte occidental de la Republica de Cuba. Esta entidad se dedica a la refinación de petróleos crudos y al almacenamiento y distribución de los productos refinados. Como todo sistema productivo genera residuos líquidos, sólidos y gaseosos. Un total aproximadamente de 1000 m³ anuales de residuos sólidos petrolizados provenientes principalmente de la limpieza periódica de los tanques de almacenamiento de combustibles son vertidos en 3 piscinas de almacenamiento, donde se han acumulado por muchos años alrededor de 8 000 m³ de los mismos, a los que hasta el presente no se les ha proporcionado una disposición segura al medio ambiente. Estos desechos contienen una elevada concentración de hidrocarburos policíclicos los cuales son altamente cancerígenos. Ante esta necesidad una de las alternativas consideradas fue el uso de técnicas biológicas de remediación (Ercoli y col, 1998). La técnica más novedosa por su bajo costo y su gran eficiencia desde el punto de vista ambiental para nuestro país, es la Biorremediación mediante la bioestimulación de los microorganismos autóctonos presentes en los residuos sólidos



petrolizados y en los suelos contaminados por hidrocarburos. En cuanto a su economía, la Biorremediación es dentro de las técnicas innovadoras, la de menor valor económico, pues no necesita de equipos especiales y consumos elevados de recursos energéticos para su aplicación en comparación con otras técnicas existentes. Solo presenta un incremento en su costo cuando su aplicación es ex-situ, debido a la excavación y transporte del suelo, pero que se justifica por la elevada eficiencia biológica producida por el contacto entre los microorganismos, contaminantes, nutrientes y oxígeno.

Objetivo general.

El presente trabajo tiene como objetivo general dar solución al Manejo y Disposición integral de los residuos sólidos petrolizados y los suelos contaminados por hidrocarburos de la Refinería “Nico López”, Ciudad de la Habana, Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Aplicación de la Biorremediación para tratar los residuos sólidos petrolizados de la Refinería “Nico López”.

Para realizar el proceso de Biorremediación de los residuos sólidos petrolizados y suelos contaminados por hidrocarburos de la Refinería Nico López, donde se han estado acumulando estos residuos y suelos por varios años. Para una mejor comprensión se denominará suelo contaminado a la mezcla de residuo sólido petrolizado - suelo limpio. Las dimensiones del área tratada se reportan a continuación: 180 x140x0.50 m (12 600 m³ de suelo contaminado), (Figura I y II).

Se aplicó el proceso de Biorremediación según procedimiento que se describe a continuación: homogenización del área impactada, adición de Fertilizantes, aireación y humectación.

Caracterización físico – química y microbiológica del área a tratar.

Se determinó la concentración de Grasas y Aceites, Hidrocarburos Totales del petróleo, Saturados, Aromáticos, Resinas y Asfaltenos (SARA), tasa de biodegradación, pH, nitrógeno, fósforo, conteo de microorganismos totales y biodegradadores según métodos normalizados. Para la determinación del CO₂ producido se utilizó el método patentado en INTEVEP por Viale e Infante, 1997.

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización Físico – Química y Microbiológica del Residuo Sólido Petrolizado.

En la tabla I se reportan los niveles de los componentes del petróleo y las sustancias relacionadas contenidas en el residuo sólido petrolizado a tratar mediante el proceso de Biorremediación, utilizando la técnica de la bioestimulación de los microorganismos autóctonos del área. Como se puede apreciar en la tabla anterior, los valores de concentración de grasas y aceites e hidrocarburos resultaron ser muy elevados, lo cual es típico de los residuos obtenidos de la refinación y comercialización de crudos. Se aprecia además, que es un residuo donde en los compuestos del petróleo predominan las fracciones más resistentes a la biodegradación (56.5 %).

En la tabla II se reportan las concentraciones de microorganismos heterótrofos totales y biodegradadores presentes en el residuo sólido petrolizado, las cuales se encuentran dentro del rango reportado por otros autores (Ercoli, 2000 e Infante, 2001) para lograr un desarrollo satisfactorio del proceso de Biorremediación mediante la técnica de bioestimulación, entre 10⁵ a 10⁶ UFC/g suelo



para el caso de microorganismos heterótrofos totales y entre 10^3 a 10^4 UFC/g suelo para microorganismos degradadores específicos.

Seguimiento del tratamiento de Biorremediación aplicado.

En la tabla III se reportan los resultados obtenidos de los parámetros fundamentales medidos para el seguimiento de la efectividad del tratamiento de Biorremediación aplicado a los residuos sólidos petrolizados mediante la técnica de bioestimulación de los microorganismos autóctonos. En la tabla anterior se observa una marcada disminución de los niveles de las Grasas y Aceites y de los Hidrocarburos Totales del Petróleo en el tiempo, lo que corrobora la efectividad del tratamiento aplicado. Se debe señalar, que aunque visualmente se aprecia la presencia de compuestos del petróleo, es bueno resaltar que el crecimiento de vegetación en el área de tratamiento indica una mejora cualitativa de las condiciones del suelo.

Las tasas de biodegradación calculadas en los primeros 30 días para el tratamiento de Landfarming aplicado a los residuos sólidos petrolizados de la Refinería "Nico López" resultaron ser muy elevadas, 1368 mg HCTP/kg de suelo/ día y 2562 mg G/A/ kg de suelo/ día, si se comparan con las obtenidas por otros autores, 160 mg HCTP/kg de suelo/ día para un tratamiento similar de Landfarming aplicado a un suelo contaminado por Diesel.(van Zyl, H, 2002). La tabla III muestra además, las variaciones de los contenidos de nitrógeno y fósforo total en el área tratada, apreciándose una disminución en el tiempo de los niveles de estos compuestos, debido a su utilización por los microorganismos como nutrientes esenciales para su crecimiento y el desarrollo del proceso biodegradativo. El pH del suelo del área de tratamiento se mantuvo dentro de lo recomendado por otros autores (Ercoli, 2001) (Infante, 2001), favoreciendo así el buen desarrollo y crecimiento de la microflora autóctona existente.

La mayor concentración de hidrocarburos totales del petróleo en el área, corresponde a la fracción de saturados y en menor cuantía se encuentran los hidrocarburos aromáticos, siendo ambos considerados biodegradables. Los niveles de concentración de resinas y asfaltenos constituyen una parte importante del petróleo total extraído, 18.2 y 42.03 %, respectivamente, siendo éstos considerados resistentes a la biodegradación. Debe destacarse que una vez finalizado el tiempo del tratamiento aplicado existe biodegradación de esas fracciones, alcanzándose en el área un 75.04% y 86.90% respectivamente de las fracciones antes mencionadas, lo que corrobora lo señalado por otros autores (Ercoli, 2002) (Infante, 2001), que todas las fracciones del petróleo son biodegradables. Con relación al contenido de hidrocarburos aromáticos se aprecia una disminución en el área al final del periodo analizado de un 78.69%. En el tiempo del tratamiento se observa una disminución marcada de la concentración de los hidrocarburos saturados en el tiempo, donde se alcanza una tasa de biodegradación muy alta (87.08%) debido a que esta fracción la conforman los sustratos más susceptibles de degradar por los microorganismos. Lo anteriormente expuesto indica que, cumpliendo con las condiciones exigidas para llevar a cabo este proceso, aireación y humectación adecuadas y los nutrientes necesarios para el desarrollo de los microorganismos, se puede lograr disminuir los niveles de Grasas y Aceites hasta los valores que se estipulan en la Regulación 08/99 de CUPET. Desde el punto de vista cualitativo se muestran los perfiles cromatográficos obtenidos de la fracción de los hidrocarburos saturados, presentes en el suelo al inicio del tratamiento.

En la Figura 3 se observa con relación a la fracción de saturados (F1) una disminución del tamaño de picos resueltos, en correspondencia con la biodegradación alcanzada al tiempo 100 días. Esta degradación es más apreciable en la fracción de aromáticos (F2), particularmente con respecto a los compuestos más ligeros, que prácticamente desaparecen al tiempo 100 días, según se aprecia en el cromatograma obtenido.

En la tabla IV se reportan las concentraciones de microorganismos encontrados en la zona de tratamiento a diferentes tiempos. A partir del montaje del tratamiento, comienza el crecimiento de la



concentración de microorganismos degradadores y de los heterótrofos totales, alcanzándose valores del orden de 10^7 y 10^8 respectivamente, concentraciones muy favorables para que se efectúe el proceso biodegradativo exitosamente. El incremento en la concentración de los microorganismos degradadores en el tiempo favorece la degradación de los componentes del petróleo observada en la Tabla 4. El comportamiento de la producción de CO_2 , reporta patrones típicos de biodegradación de los hidrocarburos, entre 63 y 81 mg de $\text{CO}_2/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$, los cuales resultan satisfactorios para el proceso de Biorremediación, según experiencias de los autores en trabajos realizados a escala de campo (Álvarez y otros, 2003).

En el caso de la refinería existen áreas adecuadas para establecer una unidad de Landfarming, que mediante un control estricto de vertimiento de los residuos sólidos petrolizados allí generados y de los suelos impactados por hidrocarburos de las zonas circundantes de los tanques de almacenamiento de productos, puede lograrse una disposición segura y efectiva de biodegradación de los mismos. De acuerdo a las dimensiones de la zona referida en los Materiales y Métodos, se proponen dos celdas de tratamiento de residuos sólidos petrolizados y suelos contaminados por hidrocarburos con las siguientes dimensiones: 90 x 70 x m, la separación entre celdas 2 m. La carga de residuo sólido petrolizado y suelo contaminado a disponer en cada celda es de 20 m^3 . El tiempo de tratamiento estimado será de 3 a 4 meses, siendo la concentración de Grasas y Aceites el parámetro a regular según lo que establece la Regulación 08/99, entre 2 y 3% al final del tratamiento. Por la variación del nivel del suelo se requiere además, la construcción de una zanja a la cual tributen las aguas y lixiviados del área de tratamiento que debe enlazarse con el sistema de tratamiento de las aguas residuales de la refinería.

CONCLUSIONES

El tratamiento de Biorremediación aplicando la técnica de bioestimulación al área impactada aledaña a Planta 1 de la Refinería "Nico López" resultó ser efectivo, observándose una disminución en la concentración de hidrocarburos totales del petróleo y de grasas y aceites en el tiempo, así como una alta tasa de biodegradación de éstos en un período corto de tiempo. Además, se obtuvieron tasas de biodegradación muy significativas para las sustancias consideradas resistentes al proceso biodegradativo, 75.04 % para las Resinas y 86.90% para los Asfaltenos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alef y Nannipieri (1998). Biorremediación como alternativa ambiental. Proyecto 2416, Etapas 6-8, 2004, CEINPET, Ciudad de la Habana, Cuba.
- Álvarez, J. A. y otros (2003). Proyecto 2507. "Manejo y disposición de lodos petrolizados", Etapa 03, CUPET, Ciudad de la Habana, Cuba.
- APHA (1975). Standard Methods for the examination of water and wastewater. 14th ed. APHA-AWWA- WEF.
- APHA (1992). Standard Methods for the examination of water and wastewater. 17th ed. Ediciones Díaz de Santos S. A., Madrid.
- APHA (1998) Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. APHA-AWWA- WEF.
- ATLAS, R. M. (1981). "Microbial degradation of petroleum hydrocarbons an environmental perspective". Microbial Reviews, 45 (1), 180-209
- BBSS. Application Method COO1. Determination of soil pH. British Society of Soil Science, 1998.
- CIPP (1999). Regulación Ambiental de CUPET 08/99. "Manejo de Fondaje de Tanques de Almacenamiento de Petróleos y sus Derivados." (onshore), Habana, Cuba.
- Ercoli, E. y otros (1998). Experiencias en Biorremediación de suelos en el centro-oeste argentino. Revista Información Tecnológica, Vol. 9 No. 4, 59 -64, La Serena Chile.
- Ercoli, E. y otros (2002). "Análisis y evaluación de parámetros críticos en biodegradación de HC en suelos". UNIV.NAC. de Cuyo, Argentina.
- Infante, C (2001). Comunicación Personal. INTEVEP, Venezuela.
- Viale, R. e Infante, C. (1997). Protocolo para medir producción de CO_2 en suelo. Documento Técnico. INTEVEP. INT- STE – 0966.



ANEXOS

Tabla I. Componentes del petróleo y sustancias relacionadas del Residuo Sólido Petrolizado, expresados en mg/kg base seca.

RSP: Residuo Sólido Petrolizado, G/A: Grasas y Aceites, HCTP: Hidrocarburos Totales del Petróleo. HC – Hidrocarburos.

Muestra	Código	G/A	HCTP	HC Saturados	HC Aromáticos	Resinas	Asfaltenos
RSP	289	518 180	222 420	134 300	88 120	131000	162000

Tabla II. Concentraciones de Microorganismos en el Residuo Sólido Petrolizado

RSP: Residuo Sólido Petrolizado.

Muestra	Código	Fecha	Conteo Microorganismos Heterótrofos Totales (UFC/g)	Conteo Microorganismos Biodegradadores (UFC/g)
RSP	289	7/03/05	5.53×10^6	1.07×10^4

Tabla III. Resultados obtenidos en el tratamiento de biorremediación aplicado

⁽⁹⁾ Regulación 08/99, CUPET ⁽¹⁾, Tasa de Biodegradación con respecto a las Grasas y Aceites, ⁽²⁾Tasa de Biodegradación con respecto a los Hidrocarburos Totales del Petróleo

Tiempo (días)	Código	Fecha	pH	G/A	HCTP	Remoción (%)	Nitrógeno (mg/kg)	Fósforo (mg/kg)
t = 0	160	8/03/05	7.59 (24.8°C)	120 190	68 280		72.0	2.71
t = 30	245	4/04/05	7.85 (26.4°C)	43 320	27 240	63.96 ⁽¹⁾ 60.11 ⁽²⁾		
t = 100	405	27/06/05		17 380	10 090	85.54 ⁽¹⁾ 85.22 ⁽²⁾		
CUPET			5-8	20 000 – 30 000				

Tabla IV. Comportamiento de las Poblaciones Microbianas y Producción de CO₂.

Tiempo (días)	Código	Fecha	Conteo Microorganismos Heterótrofos Totales (UFC/g)	Conteo Microorganismos Biodegradadores de HC (UFC/g)	Producción de CO ₂ (mg de CO ₂ / cm ² . h)
t = 0	160	8/03/05	7.02×10^7	2.45×10^5	63.88
t = 30	245	4/04/05	9.02×10^7	4.52×10^6	68.14
t = 75	362	24/05/05	3.15×10^8	1.42×10^7	69.95
t = 100	405	27/06/05	5.95×10^8	2.01×10^7	81.27



Figura 1. Vista del Área a tratar.



Figura 2. Presencia de Hidrocarburos

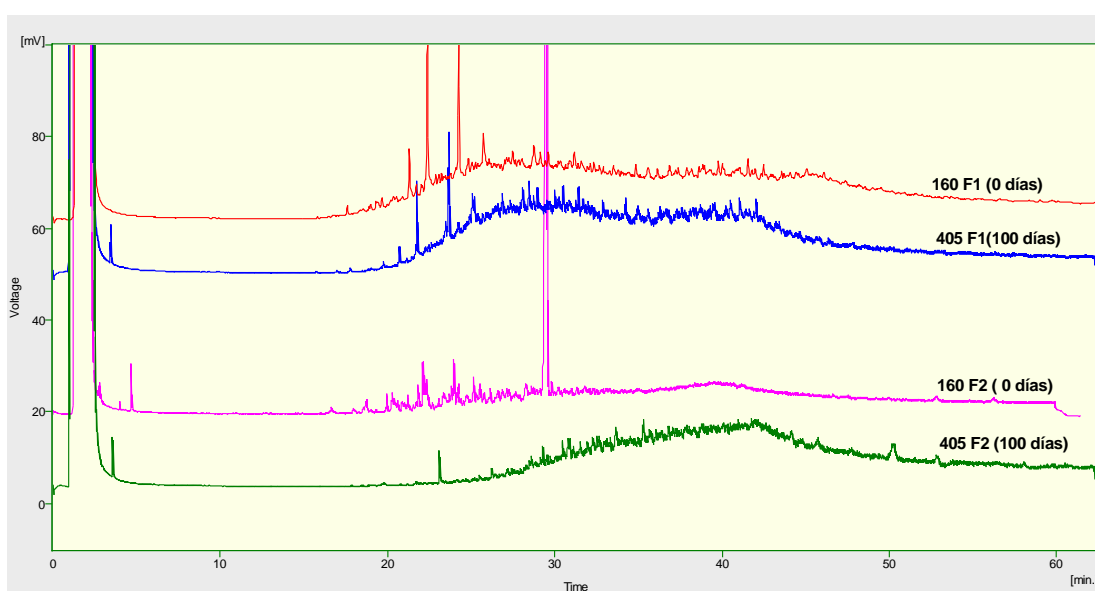


Figura 3. Perfil cromatográfico de las fracciones de saturados y aromáticos.

MINERALOGIA Y GEOQUIMICA: SU EFECTO EN LOS PROBLEMAS AMBIENTALES, PROCESOS TECNOLOGICOS, LA MINERIA Y DESECHOS URBANOS

Jesús Manuel López Kramer ⁽¹⁾, José Gandarillas Hevia ⁽¹⁾, Eduardo Acevedo del Monte ⁽²⁾, Jesús Moreira Martínez ⁽³⁾

(1) Instituto de Geofísica y Astronomía. Calle 212, No. 2906 e/ 29 y 31, Reparto La Coronela, La Lisa, Ciudad de la Habana, Cuba. CP 11600. Email: kramer@iga.cu, pepegh@iga.cu

(2) Centro de Investigaciones Minero Metalúrgicas. Carretera Varona. No. 12028, Capdevila, Boyeros, Ciudad Habana, Cuba. Email: acevedo@ip.minbas.cu

(3) Instituto de Geología y Paleontología. Carretera Central y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón, Ciudad de la Habana, Cuba. Email: moreira@igp.minbas.cu

RESUMEN

El trabajo aborda aspectos de la geología ambiental referidos a los minerales en sus dos vertientes:

- como agentes de contaminación
- como ayuda en la resolución de problemas ambientales

Se analizan aspectos generales relacionados con la Mineralogía y la Geoquímica Ambiental en yacimientos, vertederos y zonas de acumulación de minerales, centrando la atención en el estudio del impacto de los problemas ambientales en la salud humana relacionados con la contaminación con zinc, plomo, arsénico, mercurio y cadmio. Y la utilización de minerales como la zeolita, caolinita, carbonatos, óxidos de hierro y manganeso para resolver estos mismos problemas de contaminación.

Por primera vez para Cuba, se presenta una clasificación de un grupo importante de yacimientos minerales por tipos genéticos y las posibilidades de generación de drenaje ácido en los mismos y su influencia en el medio ambiente.

Se propone también desarrollar un programa de investigación en varios aspectos de la geoquímica ambiental, entre los que se encuentran la comprensión de los ciclos biogeoquímicos de los posibles contaminantes y la evaluación del impacto humano en tales ciclos, mediante la identificación y medición de las fuentes.

ABSTRACT

The work considers aspects of the environmental geology referred to the minerals in two approaches as:

- agents of contamination
- means for resolution of environmental problems

General aspects related to mineralogy and environmental geochemistry of mineral deposits, drains, garbage and mineral tailing dumps are analyzed centering the attention in the study of the impact of the environmental problems on human health related to the contamination with zinc, lead, arsenic, mercury and cadmium.

It is proposed a classification of an important group of mineral locations by genetic types and possibilities of their acid drainage generation.

Interpretation of satellite images, field visits, previous investigations – those where lab techniques like mineragraphy were used, chemical analysis, electronic micro probe as well as an ample bibliographical information on the treated subjects, are included in the applied methodology.

It is also proposed to develop a research program about several aspects of environmental geochemistry, among which are the understanding of biogeochemical cycles of the possible polluting agents and the evaluation of human impact in such cycles, by means of identification and measurement of the sources.

INTRODUCCIÓN

En el caso de la actividad minera es común que fijemos la atención sobre los impactos ambientales de origen industrial más evidentes (impacto visual), olvidando los aspectos mineralógicos y químicos

que se derivan de dicha actividad o de las variaciones geoquímicas naturales asociadas a la simple presencia de un tipo de depósito mineral. Son precisamente estos aspectos en los que está basado el trabajo, esto es, en investigaciones realizadas en temas anteriores en los que se utilizaron modernas técnicas de laboratorio como la mineragrafía, análisis químicos, microsonda electrónica, interpretación de imágenes satelitales incluyendo los datos de las visitas de campo, así como una amplia información bibliográfica sobre los temas tratados.

Muchos minerales son solubles bajo determinadas condiciones físico-químicas. La introducción de estos metales o sales al ciclo exógeno es necesario examinarla bajo la óptica de la geoquímica, por lo que en el trabajo se abordan de forma general aspectos básicos referidos a la mineralogía y geoquímica ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la metodología aplicada se incluye la interpretación de imágenes satelitales, visitas de campo, investigaciones anteriores en las que se utilizaron técnicas de laboratorio como Mineragrafía, análisis químicos, microsonda electrónica y una amplia información bibliográfica sobre los temas tratados.

Se toman como ejemplo un grupo de empresas con problemas ambientales, en parte heredados de compañías mineras foráneas, ubicados en la zona minera de Pinar del Río, los yacimientos polimetálicos Santa Lucía y Castellanos, de pirita Mella y la planta productora de ácido sulfúrico de Santa Lucía. En la Isla de la Juventud el yacimiento de oro Delita, y en la zona urbana e industrial de Ciudad de la Habana están representados por el vertedero de calle 100, y la presa Niña Bonita. Los yacimientos Colina y Beluca ubicados en San José de las Lajas, provincia La Habana que suministran la materia prima a la planta Coco Peredo que produce diferentes surtidos de carbonato de calcio y en Villa Clara la planta de Cloro – Sosa como posible contaminante del río Sagua (Ver Figura 1).

Se mencionan plantas de cemento, asbesto y otras ubicadas en diferentes provincias del territorio nacional y que juegan un papel importante en la economía de Cuba. Esta selección aleatoria permite destacar la necesidad de comenzar de inmediato a tomar las medidas necesarias.

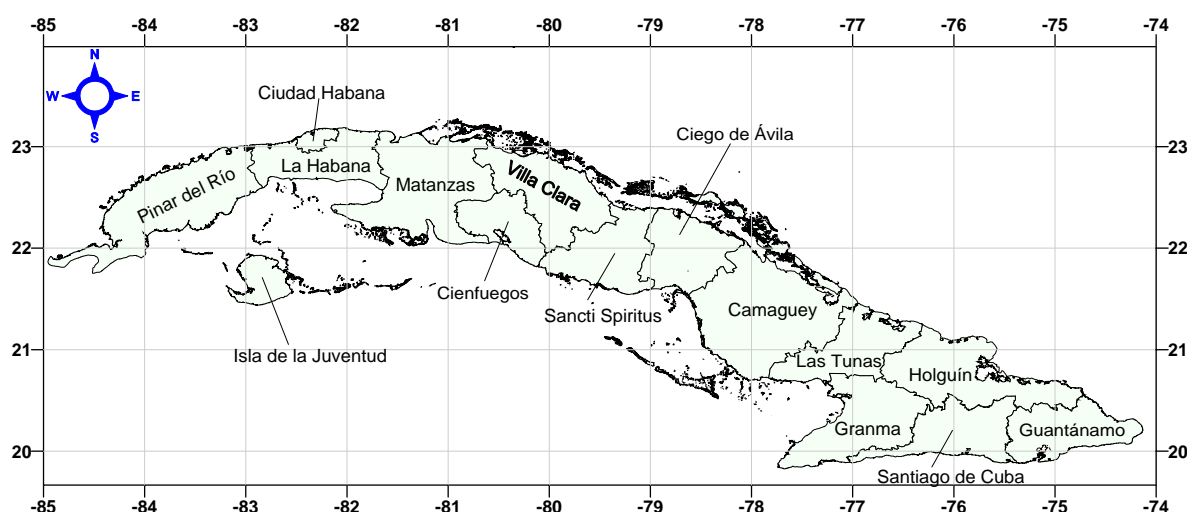


Figura 1. Esquema de la División Político Administrativa de la República de Cuba.

ALGUNOS METALES PESADOS DE MUY ALTA TOXICIDAD

Los efectos de la exposición a cualquier sustancia tóxica dependen de la dosis, duración y características personales.

La evaluación continua de la exposición de la población a compuestos químicos ambientales se realiza por el método conocido como Biomonitorio y consiste en el análisis de la exposición humana a los compuestos químicos por medio de la determinación de los mismos o sus metabolitos en muestras humanas, como sangre u orina. Esta información ayuda a prevenir enfermedades que resultan de la exposición a sustancias químicas contaminantes.

Los minerales a menudo entran en nuestro organismo, en unos casos por ingestión junto con los alimentos, en otros casos a través de la respiración y pueden producir efectos por lo general nocivos para la salud. Así por ejemplo, el polvo de sílice ocasiona la enfermedad denominada silicosis, y los asbestos, la asbestosis. Por otra parte, los minerales pueden alterarse químicamente liberando su contenido metálico, el que puede tener en ocasiones efectos muy tóxicos para la salud humana y ambiental.

Metales pesados

La presencia de minerales de arsénico, telurios, zinc, cobre, plomo, cromo, en las menas de los yacimientos es una fuente conocida de estos elementos, sin embargo, los minerales raros y elementos trazas, con insignificante concentración a menudo resultan significativos en los concentrados industriales o al encontrar un medio natural de concentración.

Krapiva, et al, 1989 y Bortnikov, et al, 1989, refieren la presencia de arsénico (19.6 - 0.4 % de masa), y mercurio (0.01 - 0,12 % de masa) en los cobres grises (tetraedrita – tenantita), de un grupo significativo de yacimientos sulfurados de Cuba. Estos minerales se caracterizan por amplios límites de isomorfismo de metales y semimetales.

En la presa Niña Bonita, ubicada en los límites de Ciudad Habana, entre los municipios La Lisa y Bauta, Cuba, se han producido afectaciones ambientales relacionadas con el desarrollo urbano e industrial que se ha producido en áreas aledañas. Estas alteraciones están relacionadas con los efluentes de los centros industriales, laboratorios, hospitales y pequeños núcleos urbanos que llegan a la presa. Los síntomas de tales afectaciones vienen presentándose desde algunos años atrás cuando se comenzó a observar la muerte, sin causas aparentes de gran cantidad de peces.

En los peces (Campos et al, 1997) se detectaron concentraciones de mercurio y cadmio en el orden del límite máximo admisible para su consumo y en el caso del mercurio se presentan concentraciones por encima del límite admisible para el consumo. En ambos casos, los altos niveles de estos metales en los sedimentos, deben ser en gran medida la fuente desde la cual los peces la incorporan a su organismo, teniendo en cuenta en primer lugar la alimentación bentónica que tienen estos peces durante una etapa de sus vidas y en segundo lugar la elevada asimilación de estos elementos con relación al bajo potencial de eliminación (Tabla I).

Tabla I. Valores promedios de las concentraciones de metales traza (mg/kg) en peces de la presa Niña Bonita). Fuente. Laboratorio Centro de Investigaciones Pesqueras.

Metal/Estadígrafo	Media		Media General	Desviación estándar	Rango	Límite Admisible
	I	II				
CADMIO	0,12	0,12	0,1	0,1	0-0,29	0,1
MERCURIO	0,021	0,43	0,3	0,26	0,01-0,74	0,5

Nota: I) Época de lluvia, II) Época de seca.

La posible presencia de elementos como Pb, Zn, Cd y Cu en los vertederos urbanos de Ciudad de la Habana (Olivares et al, 2006) hacen posible su incorporación al medio mediante la quema de los residuos, aguas superficiales, con la consiguiente contaminación del suelo y manto freático (Figura 2). En algunos casos los vertederos coinciden espacialmente con siembras de viandas y hortalizas con fuerte contaminación gaseosa.



Figura 2. Vertedero ubicado en las proximidades de la calle 100 y Avenida Rancho Boyeros, por cuyos terrenos corre un afluente del Río Almendares que es interrumpido por los desechos, y hacia el que desaguan canales artificiales realizados para el drenaje de los residuales líquidos generados en el vertedero (drenaje ácido). Ciudad de la Habana, Cuba.

Arsénico

El arsénico se encuentra naturalmente en todo un grupo de minerales y puede entrar al aire, al agua y los suelos en el polvo que arrastra el viento o en el agua proveniente del escurrimiento superficial provocado por las lluvias, que se filtra a través del suelo.

La exposición a niveles de arsénico más altos que lo normal ocurre principalmente en lugares de trabajo, cerca de sitios de desechos peligrosos o en áreas con niveles de arsénico naturalmente elevados y puede ser fatal.

Los compuestos inorgánicos de arsénico se usan principalmente para preservar madera. El cobre cromato arsenado se usa para producir madera presurizada. Los compuestos orgánicos de arsénico se usan como plaguicidas.

Los minerales de arsénico cambian de forma bajo determinadas condiciones y los compuestos comunes de arsénico pueden disolverse en agua. La mayor parte del arsénico en el agua terminará eventualmente en el suelo o el sedimento.

Los peces y mariscos pueden acumular arsénico; la mayor parte de este arsénico está en una forma orgánica llamada arsenobetaina, que es mucho menos peligrosa. Ingerir pequeñas cantidades de

arsénico presentes en los alimentos y el agua es la forma más común de exposición en aquellas comunidades que viven en áreas con niveles naturalmente altos de arsénico (Delita, Isla de la Juventud), o respirando aire que contiene arsénico por aplicación de plaguicidas, en la metalurgia, inhalando aserrín o quemando madera que ha sido tratada con arsénico.

El arsénico es muy común en los yacimientos minerales de oro y polimetálicos de sulfuros masivos con cobre, estando presente en varios minerales. En Cuba la arsenopirita es el mineral principal del mayor yacimiento de oro, Delita, ubicado en La Isla de la Juventud. Por datos de análisis de microsonda electrónica a este mineral los contenidos de arsénico varían entre 43.60 – 45.29 masa. % Kramer 1988, estando presente además en los cobres grises (0.44 – 1.02 % de masa). La enargita está presente en las menas del yacimiento de oro Golden Hill, en Las Tunas.

La presencia en el área del yacimiento Delita de una planta piloto que años atrás procesó las menas, existiendo aún concentrados de gravitación y flotación en la instalación diseminados en los alrededores. Es necesario proceder al estudio de esta posible fuente de contaminación la cual de forma preliminar se encuentra en buenas condiciones, sin presentar síntomas de oxidación, pensamos que minerales presentes en las menas como las arcillas (caolín) y el grafito, pudieron servir como barrera protectora al concentrado a su acción sobre el medio ambiente.

En las inmediaciones del Yacimiento Delita se han realizado estudios que relacionan, de forma preliminar, la salud humana con las aguas y suelos. La presencia de As y Pb en las aguas de Delita responden fundamentalmente a estas instalaciones mineras ya inactivas y a los residuos de esta actividad ricos en arsenopirita, galena y sus derivados secundarios que han acelerado la contaminación natural que ocurre en las zonas mineralizadas como resultado de la oxidación de los sulfuros.

Resultados preliminares (Toujague, et al, 2005) identifican ya como contaminantes críticos en el área de influencia de la mina el arsénico en el agua y el plomo en residuos de minería y en sedimento. El cadmio fue identificado como crítico en los residuos de minería y sedimentos y el hierro en todos los medios ambientales. Fueron demostrados en el estudio los niveles de contaminación con plomo, cadmio y hierro; en tanto, la contaminación por arsénico es dada sobre la base de reportes indirectos en agua. Las rutas de mayor importancia resultaron ser los residuos de la minería y los sedimentos. No obstante, la ruta del agua requiere ser analizada con posterioridad para establecer su real magnitud (Toujague, et al, 2005).

Plomo

En Cuba tenemos todo un grupo de yacimientos polimetálicos de diferentes génesis con altos contenidos de plomo y zinc, como lo son Santa Lucía y Castellanos. En el caso de Santa Lucía, ha sido destapado para la extracción de pirita rica en azufre y hoy en día se encuentran drenando aguas contaminadas generando el llamado drenaje ácido hacia zonas cultivadas.

Para el proceso de obtención del ácido sulfúrico, en la planta de Santa Lucía, (Sulfometales) se emplearon durante años las menas de los yacimientos Mella y Santa Lucía (Pb, Zn, Cu, S), además de chatarra de plomo obtenida de acumuladores y otros desechos cuyas cenizas se han acumulado a la intemperie (Figura 3). El puerto de Santa Lucía es activo para la actividad pesquera, la playa es utilizada por la población y se ha creado un centro turístico internacional con un pedraplén en Cayo Jutías, aspectos a tener en consideración en investigaciones de mayor detalle.



Figura 3. Planta productora de ácido sulfúrico de Santa Lucía, Pinar del Río, Cuba. Obsérvese los diferentes colores que indican contaminación (plomo, azufre y otros metales) desarrollada en los alrededores.

Cadmio

Los minerales de cadmio, no se encuentran en concentraciones y cantidades suficientes como para justificar una actividad minera directa para la obtención de este elemento, sino que su presencia como mineral acompañante en algunos yacimientos justifica su obtención.

Entre los minerales de cadmio, la greenockita (CdS) es el más común. Este mineral se encuentra casi siempre asociado con la esfalerita (ZnS). De esta manera, el cadmio se recupera principalmente como un subproducto de la minería, fundición, y refinación del zinc, y en menor grado de la del plomo y cobre.

En el yacimiento Delita se describe el mineral de cadmio gudmundita (Kramer, 1988), en la esfalerita los contenidos de cadmio varían entre 0.24 – 0.61 % de masa. En los yacimientos polimetálicos se han determinado concentraciones de cadmio en varios minerales.

Debido a su toxicidad, el cadmio se encuentra sujeto a una de las legislaciones más severas en términos ambientales y de salud humana. Los especialistas en alimentación fijaron niveles específicos para controlar las concentraciones de cadmio que pueden ocasionar daños renales tras largos períodos de exposición, y también de plomo, causante de anemia y desórdenes hepáticos y neurológicos. Un máximo de 0.4 mg/kg debería encontrarse en el arroz. El cadmio no debería exceder los 2 mg/kg de moluscos, excluidas las ostras y la misma cantidad en los cefalópodos, como los calamares y pulpos.

Mercurio

La forma principal de mercurio en la naturaleza es el cinabrio (HgS), el que constituye la mena principal para la obtención de este metal. En las menas y concentrados de los yacimientos de oro de Cuba se han determinado minerales portadores y concentraciones de mercurio. En el yacimiento Nuevo Potosí de Holguín, Cuba, fue determinada la unión ínter metálica de Au-Ag-Hg (Ag-53 %, Au-35 %, Hg-12 % de masa) por análisis de microsonda electrónica y concentraciones de mercurio de hasta 11 ppm en los concentrados del yacimiento Delita (Kramer, 1988).

Contaminación por metales pesados, específicamente por Hg se ha detectado en la planta de Cloro - Sosa de Sagua, Villa Clara, Cuba, con la posible contaminación del río Sagua La Chica, con una población con tradición pesquera (Medero, et al, 2006). Este río desemboca en el puerto de Isabela de Sagua, con especies marinas concentradoras de este metal como lo son los moluscos y ostiones. La principal fuente de contaminación con mercurio, en relación con la actividad minera, viene de los residuos líquidos y gases emitidos en el proceso de obtención del oro por amalgamación. El mercurio gaseoso emitido es depositado en los suelos que rodean las instalaciones (Figura 4). Esta técnica ha sido ampliamente utilizada en la minería artesanal, causante de la contaminación de los grandes ríos de Venezuela, Colombia y Brasil. En Cuba se utilizó de forma controlada en la pequeña planta ubicada en Aguas Claras, Holguín, y posiblemente en Descanso Meloneras, Placetas, Villa Clara de la cual no se conserva la información.

De todas las especies de mercurio conocidas, la más peligrosa es sin duda el metilmercurio (CH_3Hg). Aunque la forma exacta en que se produce la metilación del mercurio se desconoce, se sabe que en el proceso intervienen bacterias que participan en el ciclo $\text{SO}_4 \rightarrow \text{S}_2^-$. Estas bacterias, que contienen metilmercurio, son consumidas por el peldaño superior de la cadena trófica, o lo excretarán. En este último caso el metilmercurio puede ser rápidamente adsorbido por el fitoplancton y de ahí pasar a los organismos superiores. Debido a que los animales acumulan metilmercurio más rápido de lo que pueden excretarlo, se produce un incremento sostenido de las concentraciones en la cadena trófica (biomagnificación). Así, aunque las concentraciones iniciales de metilmercurio en el agua sean bajas o muy bajas, los procesos biomagnificadores acaban por convertir el metilmercurio en una amenaza real para salud humana.



Figura 4. Gases emitidos en el proceso de obtención del oro por amalgamación. Sur de Bolívar. Colombia.

GENERACIÓN DE DRENAJE ÁCIDO

El decrecimiento del pH en las aguas superficiales y subterráneas asociadas a las zonas minerales o a los depósitos de los desechos de su explotación industrial puede ligarse directamente a la serie de fenómenos físico - químicos que se derivan de la oxidación de especies sulfuradas (particularmente la pirita: FeS_2). La consecuencia directa es la formación del denominado drenaje ácido. El sistema se encuentra así fuertemente regulado por:

1. las cantidades iniciales de pirita en el yacimiento, en las escombreras y depósitos de colas
2. la presencia de bacterias oxidantes (ej. *T. ferrooxidans*)
3. los niveles de oxígeno

Los yacimientos de minerales sulfurosos al exponerse a la intemperie pueden tener un impacto ambiental negativo por la lixiviación producida por acciones climáticas. Estos fenómenos pueden producir drenaje ácido debido a la oxidación química y biológica de los minerales sulfurados.

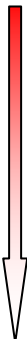
El estudio del comportamiento de estos minerales durante la exploración, explotación y procesamiento ayudaría a diseñar un apropiado manejo lo cual reduciría los riesgos y costos asociados al impacto negativo en el medio ambiente. El conocimiento de la geoquímica de los desechos mineros durante las operaciones mineras y el cierre de minas, es fundamental para el tratamiento de la acidez generada. Las fallas al no identificar el potencial de los desechos mineros de producir drenajes ácidos y la movilización de metales pesados a las aguas (superficiales y subterráneas) con su consiguiente degradación y aporte de niveles de metales pesados al suelo, tóxicos para las plantas y el hombre, son los causantes del fracaso del programa de reforestación. Rectificar estos errores es extremadamente caro. J. Yeates, 1993, menciona dos proyectos en Australia, Captain Flats con \$ 3.0 MM USD y Rum Jungle \$ 20.0 MM USD.

Ejemplos de estudios que dieron la posibilidad de generación de drenaje ácido, lo tenemos en las pruebas realizadas a muestras de minerales de los yacimientos de plata y oro de Santa Lucía, Oro Barita, Susana y Farallón (Castellanos) en Pinar del Río (Figura 5), que arrojaron como resultado un Potencial de Neutralización Neto negativo (según Pilar Pacheco, comunicación personal).

Y.T.Y. Kwong, propone la clasificación de diferentes tipos de yacimientos basado en el estudio de la ocurrencia de drenaje ácido. En la Tabla II se muestran algunos ejemplos para yacimientos cubanos.



Tabla II. Tipos genéticos de yacimientos minerales y su propensión a generar drenaje ácido.

Más propensos	Clasificación genética	Ejemplos cubanos	Minerales
	1. Sulfuros masivos exhalativos sedimentarios	Santa Lucía, Castellanos, Carlota, Guachinango	Pirita, esfalerita, galenita. (Au, Ag)
	2. Sulfuros masivos vulcanogénicos	San Fernando, Antonio, Golden Hill, El Cobre (lentes de sulfuros masivos), Elección. Júcaro, Buena Vista.	Pirita, calcopirita, Zinc, enargita. (Au, Ag).
	3. Au - Ag Epitermales	Loma Jacinto, Jobabo, Florencia, El Pilar.	Pirita, esfalerita, (teluros de Au-Ag-Bi).
	4. Venas de Au mesotermiales	Delita.	Arsenopirita, antimonita, oro, plata, (sulfosales de Pb, As, Sb).
	5. Pórfido cuprífero	Palo Seco, Arimao, Buey Cabón.	Pirita, magnetita, calcopirita, galena, siderita, (Mo, Ag, Au)
	6. Skarns	La Purísima, Guaos.	Pirita, magnetita, calcopirita.
Menos propensos			

Pensar en problemas relacionados con estos agentes como algo lejano, en zonas mineras y grandes complejos fabriles, es un error común, en las ciudades se generan minerales que sin contener metales de alta peligrosidad, por su composición y tamaños de las partículas constituyen en si un riesgo de salud muy importante.

Un aspecto a tener en cuenta en las ciudades son los servicios hospitalarios y laboratorios. Estos concentran gran variedad de reactivos químicamente puros y desechos que de no ser manejados adecuadamente o poseer instalaciones adecuadas para su manejo y tratamiento pueden comprometer el medio ambiente.

En yacimientos como Mella y Santa Lucía, en Pinar del Río, con menas de pirita rica en azufre al ponerse en contacto con el aire los cuerpos minerales, se producen la autocombustión, generando fuego y gases tóxicos.

Las plantas generadoras de electricidad que producen con el llamado crudo pesado cubano que contiene hasta 7 % de azufre, trabajan con un proceso de combustión desde el punto de vista térmico ineficiente, algunas ubicadas en zonas densamente pobladas de Ciudad de la Habana son un ejemplo de este tipo de contaminación con una gama de compuestos de azufre de elevada toxicidad.

Los pozos de producción de petróleo que se ubican al este de La Habana son otro ejemplo de contaminantes que al dejar escapar libremente a la atmósfera el gas acompañante se percibe a kilómetros el olor a huevo podrido típico de la contaminación por los distintos compuestos de azufre presentes o se quema directamente. En los últimos años se ha comenzado a utilizar el gas acompañante de los pozos en explotación para la generación de electricidad con un proceso más eficiente en el proceso combinado que limita esta situación.

Otros ejemplos como la planta productora de ácido sulfúrico de Santa Lucía, que en la actualidad produce directamente a partir de azufre, anteriormente el proceso se desarrollaba utilizando pirita de los yacimientos Mella y Santa Lucía. La Planta de HPAL de Moa, provincia de Holguín, productora de unas 34 000 toneladas anuales de concentrados de níquel y cobalto; algunos de estos ya tienen solución pero en otros aún no se han tomado las medidas correspondientes.

En algunos casos las medidas de control son relativamente simples, e incluyen el control del polvo que se puede levantar en las actividades mineras por el movimiento del transporte de carga, voladuras de roca, o perforación donde es efectivo el uso obligatorio por parte de los operarios de máscaras contra el polvo, mojar los terraplenes y vías de acceso.

El cuarzo y la Silicosis

La fuente del cuarzo se encuentra en las actividades mineras, construcciones, conservaciones de edificios y monumentos, que implican la remoción y trituración de rocas en minas, canteras, o sitios de construcción. Otras actividades que pueden llevar al problema es la limpieza de muros con arena a presión, o la utilización de abrasivos (contengan o no cuarzo) si se emplean en materiales que contengan sílice. El polvo de sílice cristalina es invisible a simple vista, y es tan ligero que se mantienen en el aire y puede recorrer grandes distancias afectando a poblaciones que en principio no deberían ser de riesgo (Higueras y Oyarzun, 2005) de contraer enfermedades pulmonares como la silicosis.

Grandes contaminadoras por esta vía lo han sido las plantas productoras de cemento, Carlos Marx de Cienfuegos, Mercerón de Santiago de Cuba, Cementos Curazao del Mariel, expulsaban a la atmósfera toneladas de material fino que se podía observar en los cañaverales y poblados de los alrededores, hasta que se les instaló el electrofiltro (captador de partículas). La planta productora de carbonato de calcio Coco Peredo en provincia Habana es otro ejemplo que aún perdura.

Asbestos y la asbestosis

Las fibras de asbesto pueden causar problemas serios de salud, si se inhalan pueden interferir en el funcionamiento normal de los pulmones. Tres enfermedades específicas—asbestosis, cáncer del pulmón y otro tipo de cáncer conocido como mesotelioma—han sido relacionadas con la exposición al asbesto (Higueras y Oyarzun, 2005). Estas enfermedades no se desarrollan inmediatamente después de haber inhalado fibras de asbesto y en algunas ocasiones pueden pasar 20 años antes de que aparezcan los síntomas.

Al igual que cuando se fuma, cuantas más fibras sean inhaladas por una persona, mayor será el riesgo de que esa persona desarrolle una enfermedad relacionada con el asbesto. Los problemas más graves causados por la exposición al asbesto han sido experimentados por algunos trabajadores

que laboraron en industrias donde estuvieron expuestos a niveles muy altos de asbesto en el aire (Ej. trabajadores en la industria de fabricación de barcos).

El asbesto es resistente, no se quema, resiste la corrosión y es un buen aislante. Se estima que existen materiales que contienen asbesto en escuelas primarias y secundarias. El asbesto se usa generalmente en las escuelas como aislante y en materiales de construcción. También se ha usado en baldosas para pisos y cielorrasos, en tuberías de cemento-asbesto, en papel corrugado para envolver, en aislamiento acústico y decorativo. Por ejemplo, la pelusa blanca que usted puede ver cuando una pieza de cielorrasos se ha desprendido puede ser un tipo de material de asbesto.

La presencia de la planta asbesto-cemento en Artemisa, provincia La Habana, que produce tanques para el almacenamiento de agua potable, techos para las casas y almacenes, es algo sobre lo cual llamamos la atención, ya que nos hace convivir directamente con la presencia de este mineral y sus desechos que se generan en grandes cantidades en tiempos de ciclones.

ALGUNOS MINERALES EMPLEADOS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS AMBIENTALES

Los carbonatos

Los carbonatos constituyen un grupo mineralógico importante por su variedad y abundancia. Presentan aplicaciones variadas, por su abundancia y el bajo costo de su extracción minera.

Las rocas carbonatadas en nuestro país constituyen aproximadamente el 70 % del total y en ellas se manifiestan los procesos cársicos en diferentes grados. Contamos con abundantes fuentes de estas materias primas con altísima calidad, como ejemplos tenemos los yacimientos Colina y Beluca ubicados en San José de las Lajas, provincia La Habana, Cuba, que suministran la materia prima a la planta Coco Peredo que produce diferentes surtidos de carbonato de calcio con 98 % de CaCO_3 que son utilizados en:

1. Aditivos para pastas dentales, jabones, lodos de perforación para petróleo, producción de tuberías plásticas y otros.
2. Revestimientos de papeles de calidad.
3. Medicamentos.

Dentro del campo medioambiental las calizas por sus características de reaccionar con los ácidos y otros compuestos químicos, descomposición térmica a temperatura relativamente baja (del orden de los 600°C) y dar origen a la denominada cal viva (CaO) o a la cal dolomítica ($\text{CaO}+\text{MgO}$), con importantes aplicaciones son utilizadas en procesos de desulfuración durante procesos de combustión o metalurgia, procesos ambos en los que a menudo se producen óxidos de azufre gaseosos que escapan al medio ambiente, dando origen al fenómeno de lluvia ácida. La presencia de caliza en el medio de combustión, ya sea como lecho fluido, o como aditivo, impide la formación de estos compuestos.

Uno de los mayores problemas que plantea la minería en general y del níquel en particular en el proceso HPAL utilizado por la Moa Níquel, provincia de Holguín, y posiblemente para el procesamiento de las menas del yacimiento San Felipe, en la provincia de Camaguey, es el drenaje ácido (DAM).

Para su tratamiento en general se pueden emplear diversas técnicas, uno de ellos emplea las calizas, CaCO_3 mineral que se puede extraer a bajos costos por medio de una cantera a cielo abierto o en el caso de Moa, se obtiene a partir de los fangos carbonatados (coralinos) depositados en el mar que son dragados.

Zeolita natural

A partir del año 1974, en Cuba se realizó una intensa búsqueda geológica del llamado mineral del siglo la zeolita natural, como resultado de dichos estudios se descubrieron y evaluaron 13 yacimientos con más de 200 millones de toneladas de reservas y se construyeron cuatro plantas con una capacidad de 150,000 t/año cada una.

Paralelamente a los trabajos geológicos se desarrollaron investigaciones sobre las aplicaciones y usos de las zeolitas naturales. Los resultados obtenidos generaron una serie de productos que constituyen renglones importantes de sustitución de importaciones y un importante renglón exportable, países como España, Colombia, Brasil, Italia, Panamá han recibido durante años zeolitas cubanas de diferentes yacimientos para diferentes usos, con un soporte técnico metodológico.

Se han obtenido buenos resultados en aplicaciones en la agricultura, alimentación animal, tratamiento del fango de dragado y la depuración de aguas contaminadas de los puertos, potabilización de aguas, depuración biológica, tratamiento de aguas albañales e industriales contaminadas, como floculantes en el tratamiento de agua potable, eliminación de cloro en aguas para uso industrial, mejoramiento y conservación del suelo, tratamiento de suelos contaminados con sustancias radioactivas, empleo extensivo en áreas verdes, en lechos de animales, obtención de fertilizantes de liberación controlada para su empleo, zeolitas cargadas para substratos (litonita) y agromenas con adiciones de fuentes de materia orgánica entre otras.

Minerales del grupo de las arcillas

Debido a su estructura cristalina, las arcillas son intercambiadores de iones muy eficaces. Las arcillas poseen una carga neta superficial negativa que les permite absorber cationes y materia orgánica. Lo anterior tiene un gran impacto en la composición química de ríos y agua de mar. Están siempre presentes en sedimentos marinos de los cuales en general representan la mayor parte (Huerta, 2005).

Dentro del grupo de las arcillas, las bentoníticas por su plasticidad y capacidad de hinchamiento son aptas para lodos de perforación, impermeabilizantes, filtrantes, decolorantes, se usan preferentemente en la confección de "liners" filtrantes en forma de capa que se colocan en la base de los depósitos de residuales urbanos y/o industriales. El yacimiento principal es Managua ubicado al sur de La Habana. Se utilizan para lodos de perforación, impermeabilizante en obras hidráulicas, piscinas de oxidación (tratamiento de residuales), cerámica, pinturas, soporte de insecticidas, en el tratamiento de licores como floculante y clarificante de la industria cervecera, vinatera, aceites.

Existen en el país otros depósitos como Vado del Yeso en Granma, y Chiqui Gómez en Villa Clara. También dentro del grupo de las arcillas están las arcillas caoliníticas; los principales yacimientos de caolín se localizan en la Isla de La Juventud, en Río El Callejón. Se explotan para cerámica blanca, vajillera, roja, cemento blanco, goma, plástico, papel. Se ha probado con éxito para producir floculante en el tratamiento de aguas de beber (obtención de sulfato de alúmina).

Óxidos y oxihidróxidos de hierro y manganeso

En Cuba son conocidos todo un grupo de yacimientos de minerales de manganeso ubicados al norte de la Ciudad de Santiago de Cuba que fueron parcialmente explotados y se conocen reservas en los yacimientos Barrancas y Los Chivos.

Los óxidos y oxihidróxidos de hierro y manganeso debido a sus propiedades coloidales y estructurales poseen una gran importancia en los procesos naturales (y ahora industriales), en la fijación de metales de alta toxicidad.

El manganeso es necesario para el crecimiento de los recién nacidos, está relacionado con la formación de los huesos, el desarrollo de tejidos y la coagulación de la sangre, con las funciones de la insulina, la síntesis del colesterol y como activador de varias enzimas.

CONCLUSIONES

1. La mineralogía del yacimiento que se explota, él o los metales presentes en los minerales, los procesos metalúrgicos que se emplean y los efectos del clima de una región sobre la posible naturaleza contaminante de las variables anteriores, deben ser tratados con la profundidad requerida, analizando finalmente el problema bajo una perspectiva ambiental más amplia.
2. Es preciso intensificar actividades de investigación en varios aspectos de la geoquímica ambiental, entre los que se encuentran la comprensión de los ciclos biogeoquímicos de los elementos y la evaluación del impacto humano en tales sistemas, mediante la identificación y medida de las fuentes.
3. Existen laboreos mineros, concentrados de minerales y colas de su tratamiento con diferentes niveles de incidencia en el medio ambiente que necesitan ser estudiados en detalle para la aplicación de medidas correctivas y de mitigación específicas para cada caso, con el objetivo de reducir el impacto ambiental que provocó la explotación y beneficio de las menas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores valoran muy positivamente la colaboración de los especialistas: MSc. Rosa María Leal, Ing. Mario Campos, Ing. José Alcaide Orpi, MSc. Pilar Pacheco, Ing. Jorge de Huelbes por las sugerencias y observaciones críticas al borrador del trabajo.

REFERENCIAS

- Campos Dueñas, Mario (1997), Evelio Azcuy Cabañas, Leonel Rodríguez, Gertrudis Valdés, Tomas Torres. Informe. Identificación y evaluación de impactos ambientales en la Presa Niña Bonita, Municipio Bauta. Instituto de Geofísica y Astronomía. La Habana.
- De la Rosa Medero, Daniel (2006). Proyecto: Distribución, Transporte y Bioacumulación del mercurio en el río Sagua La Grande. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas.
- Higueras, P. (2005); R. Oyarzun; Curso de Geología Ambiental, Escuela Universitaria Politécnica de Almadén, Universidad de Castilla-La Mancha, España.
- Huerta Díaz, Miguel Ángel (2005): Curso de Geoquímica de suelos. Instituto de Investigaciones Oceanológicas. Universidad Autónoma de Baja California.
- Kwong, Y.T.Y. (1993) Minesite Acid Rock Drainage Assessment and Prevention. A new Challenge for a Mining Geologist. International Mining Conference. Kalgoorlie – Boulder WA. 5-8 July. Pag. 213 – 218.
- López Kramer, J. M. (1988): Mineralogía y Composición Sustancial de los Yacimientos de Oro de Cuba. Referat, Moscú.
- López Kramer, J. M. (2006): Jesús Moreira Martínez, A. Vera Blanco, P. Pacheco Cabrera, R. Toujague. Mineralogía, Geoquímica y Medidas de Protección Ambiental en Yacimientos de Oro. Revista Universidad Ciencia y Tecnología. Venezuela No. 41.
- Olivares, Susana (2006). Proyecto: Estimación del cumplimiento de las especificaciones sanitarias respecto a metales pesados en alimentos cultivados en la cercanía del aterrador de calle 100 de la Habana. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas.
- Stepanovich Bortnikov, Nikolai (1989), Jesús Manuel López Kramer, Alexander Dimitrievich Guenkin, Alexander. C. Kulnev. Composición Sustancial y Condiciones de Formación del Yacimiento de Oro Delita. (República de Cuba). Geología de los yacimientos Minerales. Pág. 3 – 19, Tomo XXXI. Vol. 5, Moscú.
- Toujague, Regla (2005), Pilar Pacheco, Antonio Vera, Rosa María Leal, Fausto Acosta, Efrén Jaimez, Informe Parcial: Análisis preliminar de las rutas de exposición del arsénico y el plomo en Delita y sus alrededores. (Inédito). Instituto de Geofísica y Astronomía.

- Yakovlevich Krapiva, Leonid (1989), Maia Grigorievna Dobrovolskaia. A. I. Tsepín., Jesús Manuel López Kramer. Los cobres grises de algunos yacimientos y manifestaciones sulfurosas de Cuba. Ciencias de la Tierra y del Espacio. No. 4. Cuba.
- Yeates, J. (1993): Waste rock geochemistry as an aid to the Development of Cost – Effective Mine Waste Planning and Rehabilitation Strategies. International Mining Conference. Kalgoorlie – Boulder WA. 5-8 July 1993. Pag. 219- 220.
- <http://earth.google.com>** :Google Earth Images (2006).

FACTIBILIDAD GEOAMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA MARINA EN LA ENSENADA BAUTISTA. CAYO COCO

J. Artiles Pérez⁽¹⁾, J. Perdomo⁽¹⁾, M. Álvarez⁽¹⁾, G. Godinez⁽¹⁾, J. Gandarrilla⁽¹⁾.

(1) GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina s/n Municipio Regla. Ciudad de La Habana. Email: gem@emarinos.geocuba.cu Teléfonos: 978255, 977575, 970015-18, Extensiones: 107, 114, 118

RESUMEN

En la elaboración del plan general y proyecto ejecutivo de marina Bautista ubicada al sur de cayo Coco, se estableció el acondicionamiento y construcción de la misma en diferentes etapas, en dependencia de la demanda de atraques y servicios. El área se dividió en dos zonas, nominadas: Dársena y Canal de acceso. Teniendo en cuenta la vulnerabilidad de los ecosistemas costeros y con el fin de proyectar esta instalación se realizaron investigaciones ingeniero- geológicas, cuyos objetivos están dirigidos a evaluar la factibilidad para la construcción y dragado en la franja costera orientada a la conformación del territorio técnico y servicios generales.

El programa racional de investigaciones estuvo integrado por: Servicio geodésico, posicionamiento de alta precisión DGPS, perforación y muestreo, ensayos de laboratorio y campo, métodos geofísicos y consulta de información de la historia geológica de la región. Estos estudios permitieron llegar a criterios de categorías de factibilidad ambiental, condiciones de cimentación y clasificación para dragado. Se determinó la naturaleza geológica del basamento rocoso caracterizada como calcarenita color crema, masiva, porosa, con oquedades, cuya resistencia es de muy blanda a blanda. En el área no es apreciable el desarrollo de cavernas marinas de consideración y no se detectaron manifestaciones tectónicas recientes, siendo de riesgo sísmico bajo.

Se resalta el valor práctico de las investigaciones para la evaluación de las condiciones naturales del área de estudio con vistas al ordenamiento territorial de la instalación mitigando los posibles impactos ambientales teniendo en cuenta la vulnerabilidad de estos ecosistemas costeros.

ABSTRACT

In the elaboration of the general plan and executive project of marine Bautista located to the south of key Coco, she settled down the preparation and construction of the same one in different stages, in dependence of the demand of you rob and services. The area was divided in two areas, nominated: Basin and access Channel. Keeping in mind the vulnerability of the coastal ecosystems and with the purpose of projecting this installation they were carried out investigations engineer - geologic whose objectives are directed to evaluate the feasibility for the construction and dredged in the coastal fringe guided to the conformation of the technical territory and general services.

The rational program of investigations was integrated for: Geodesic service, positioning of high precision DGPS, perforation and sampling, laboratory rehearsals and field, geophysical methods and consultation of information of the geologic history of the region. These studies allowed to arrive to approaches of categories of environmental feasibility, foundation conditions and classification for dredged. The geologic nature of the rocky basement was determined characterized as cream, massive, porous calcarenita colour, with hollows whose resistance is of very soft to soft. In the area it is not appreciable the development of marine caverns of consideration and recent tectonic manifestations were not detected, being of seismic risk under.

The practical value of the investigations is stood out for the evaluation of the natural conditions of the study area with a view to the territorial classification of the installation mitigating the possible environmental impacts keeping in mind the vulnerability of these coastal ecosystems.

INTRODUCCION

En la presente ponencia se recogen los resultados de la aplicación de las investigaciones geofísicas e ingeniero – geológicas como parte de los estudios generales a ejecutar para la **elaboración del plan general y proyecto ejecutivo de la primera etapa** para la construcción de marina Bautista en la ensenada del mismo nombre.

Sus objetivos tienen previsto la ejecución de los trabajos para el acondicionamiento y construcción de la marina en tres etapas, las cuales se desarrollarán en dependencia de la demanda de atraques y servicios de las embarcaciones foráneas que arriben a la misma y con capacidad para 300 atraques; teniendo en cuenta el grado de implicación en la calidad del medio ambiente ofrecer las alternativas más adecuadas que permitan disminuir los efectos negativos que ocasiona dicha construcción en la esfera medio ambiental. El área de estudio ha sido dividida en dos zonas, denominadas como: dársena y canal de acceso. (Figura No.1).

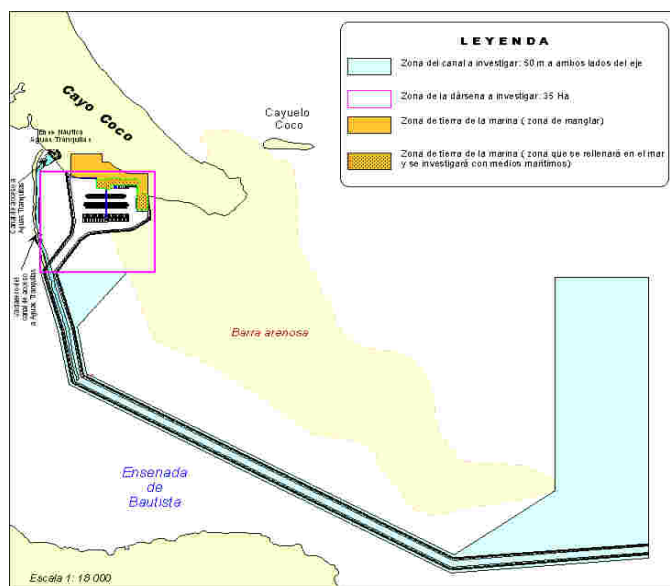


Figura No.1 Ubicación de las zonas de trabajo.

El programa racional de investigaciones estuvo integrado por:

Servicio geodésico de apoyo, posicionamiento de alta precisión DGPS, perforación y muestreo, ensayos de laboratorio, métodos geofísicos, ensayos de campo, consulta de información sobre investigaciones precedentes.

El estudio de las zonas se encamino a:

- Determinación de la profundidad de yacencia del techo de la roca y los espesores de sedimentos no consolidados.
- Determinación y análisis de las propiedades físico - mecánicas de cada elemento ingeniero - geológico para dragado y construcción de muelles.
- Clasificación del material para el dragado.
- Evaluar la factibilidad de dragado (- 3,0 m de profundidad)
- Propuesta de uso del material extraído.
- Evaluar las condiciones de cimentación para los espigones (directas como indirectas).

Desde el punto de vista ingeniero geológico y geofísico, el trabajo estará encaminado al manejo de los recursos marinos naturales y evaluación del sitio a estudiar, propiciando una factibilidad geoambiental del medio.

MATERIALES Y METODOS.

Las particularidades específicas, equipamientos, metodologías, volúmenes y objetivos a cumplir con cada uno de los métodos se plantean en el informe de dicha investigación, Perdomo J. y otros. 2002, aplicados durante los trabajos de mar ejecutados en cada una de las zonas en que fue dividida el área de estudio. No obstante se comentará brevemente de las mismas.

Trabajos Geodésicos.

Los trabajos geodésicos estuvieron encaminados a dar cumplimiento a la siguiente tarea: Garantizar la base cartográfica planimétrica y altimétrica con los puntos de apoyo necesarios para el replanteo y determinación de las coordenadas de las calas de contacto y de muestreo superficial de sedimentos no consolidados en las zonas de difícil acceso para las embarcaciones de trabajo durante la investigación en cuestión y para el emplazamiento de la estación referencial del GPS y del puesto de nivel provisional (PNP).

Sistema de posicionamiento de alta precisión (DGPS).

Para georreferenciar las investigaciones en el espacio acuoso estudiado con la calidad requerida se empleó el sistema de posicionamiento global en su variante diferencial **DGPS**.

Trabajos de Perforaciones (TP).

La metodología a aplicar en el muestreo continuo fue la utilización del método a percusión en los suelos, que consisten en la hincas del muestreador (cuchara cubana) cada 15 cm, penetrando a golpes en el suelo, dado por un martillo de 136 Kg., registrándose el número de golpes en cada sondeo, según las normas establecidas. Se tomaron muestras de suelos (en pomos y bolsas) y roca durante el proceso de perforación en los sondeos para su envío al laboratorio con el objetivo de ser ensayadas para la determinación de sus propiedades físico-mecánicas y químicas.

Ensayos de laboratorio.

Se realizaron los siguientes ensayos:

En suelos: granulometría e hidrómetro, límites de Atterberg, peso específico, humedad natural, contenido de materia orgánica y **en rocas:** resistencia a compresión, humedad natural, resistencia a la tracción.

Medición de las variaciones periódicas de nivel del mar (MAREA).

Para el aseguramiento altimétrico de los trabajos y referir las profundidades medidas hasta el fondo marino en los ecogramas y del techo de la roca en los registros sísmicos, a un nivel nulo único (NMM), se creó un **PNP**, ubicado en el muelle de TGF próximo al muelle de Casasa. Las profundidades en el área se muestran en la figura No.2. (GEOCUBA Ediciones Marinas. Tablas de Marea. Costas de Cuba. Servicio Hidrográfico y Geodésico de la República de Cuba, 2001).

Sísmica somera de reflexión y batimetría acompañante.

Los trabajos de **SSR** y **BA** acompañante se ejecutaron en todo el espacio acuoso hasta donde las profundidades lo permitieron, velando siempre por la integridad de los sensores a remolque en este tipo de observaciones desde un medio flotante.

Sondeo con calas de contacto (CC).

Las **CC** conjuntamente con las calas geotécnicas realizadas fueron empleadas en la interpretación geológica de los registros sísmicos obtenidos.

RESULTADOS Y DISCUSION.

En la zona estudiada existe una estrecha interacción entre relieve, vegetación, complejos litológicos de sedimentos y los procesos hidrodinámicos presentes. Las condiciones extremas principales están representadas en la ocurrencia de fenómenos negativos como frentes fríos y marejadas, alta salinidad de las aguas, poco desarrollo de los suelos y una extensión areal reducida de los cayos.

El área costera está constituida por zonas de gran densidad de manglares y pantanosas que se extienden por todo el extremo este y sur de la península. La misma coincide con áreas de inundación permanente y superficies bajas menores de un metro con sedimentos saturados de humedad (turbosos y limosos) con fuerte olor fétido y color pardo oscuro.

La distribución espacial de los espesores de sedimentos friables experimenta una rápida variación con pendientes que van desde suaves a moderadas, localizándose el máximo valor absoluto de este parámetro con 5,5 m, próximo a la parte central de la zona del canal correspondiente con esta área.

Como resultado de las calas geotécnicas, la interpretación y el procesamiento estadístico realizado a los datos obtenidos en el proceso de ensayos de laboratorio, se logró realizar la caracterización ingeniero – geológica del área estudiada que más adelante describiremos sobre la base de las propiedades físico–mecánicas de cada uno de los elementos detectados. Predominan en el área básicamente 4 Elementos Ingeniero – Geológicos (capas).

Elemento ingeniero – geológico No. 1.

Está compuesta por un **cielo limo-arenoso carbonatado** en ocasiones de consistencia blanda a muy blanda, color gris a gris claro, con un contenido abundante de restos de conchas, caracoles y raíces de Thalassias. El promedio de finos es superior al 60 %, presenta olor fétido, saturado, su compacidad es muy suelta con un número de golpes entre 0 – 4, y según la norma ASTM 2487–90, clasifica como (ML). El espesor máximo es de 7,7 m y el mínimo de 1,5 m.

Elemento ingeniero – geológico No. 2.

Constituido por **arena - limosa carbonatada**, color crema, cierto olor fétido, con restos de conchas y de caracoles, el contenido promedio de finos es de 32 %, el número promedio de golpes es menor de 4 (compacidad muy suelta) aunque en ocasiones llega a superar este valor (compacidad medio densa), según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) y la norma ASTM correspondiente se denominó como (SM). En este elemento esporádicamente aparecen intercalaciones de turba con un espesor promedio de 20 cm. Los espesores mayores de esta capa son de 3,20 m, los mínimos son 0,1 m.

Elemento ingeniero – geológico No. 3.

Este E. I. G está representado por una **calcarenita** color crema, masiva, porosa, con oquedades de 1 – 2 cm, restos de conchas y caracoles y que en ocasiones se recupera en forma de eluvio, sobre todo hacia la parte superior del estrato. Atendiendo al grado de alteración del macizo rocoso en función del índice de calidad de la roca (RQD), las condiciones son de malas a muy malas con un RQD entre 25 – 45 % en sentido general. Según el sistema internacional de clasificación de rocas (ISRM), clasifica como de resistencia muy blanda R1 (3,71 MPa) a blanda R2 (10,97 MPa) como promedio en su resistencia a compresión simple en condiciones naturales (sumergida) aunque en ocasiones llega a ser extraordinariamente blanda R0, fundamentalmente en la parte superior.

Este elemento es el más difundido en toda el área estudiada y alcanza su mínimo espesor con 0,1 m y el máximo con 3,0 m.

Fue característico durante el procesamiento de los ensayos realizados a los núcleos recuperados de este material, gran variación en los valores de resistencia a compresión, para un valor promedio de 9,15 MPa. Se recupera fragmentada en tamaños variables y su resistencia es blanda (R2).

Elemento ingeniero – geológico No. 4.

Es el último elemento, constituido por la roca **caliza organógena**, compacta, fragmentaria, color crema a gris claro, poroso, con grietas y oquedades de 1 cm de tamaño. Su resistencia a compresión simple en condiciones naturales es como promedio 15,68 MPa clasificando como blanda R2 según la ISRM y por su RQD de 45 %, como mala. Es el elemento menos difundido en toda el área.

Según su origen geológico al igual que el elemento, anterior pertenece a las rocas sedimentarias, y constituyen el substrato rocoso de toda el área investigada.

El área de trabajo fue subdividida en dos áreas bien definidas, una interior y otra exterior.

AREA (1) Zona interior (Dársena)

Se caracteriza por presentar profundidades relativamente pequeñas que oscilan entre -0,2 m y -2,5 m. (Rojas R. y Medina S. 2001). (Figura No.2).

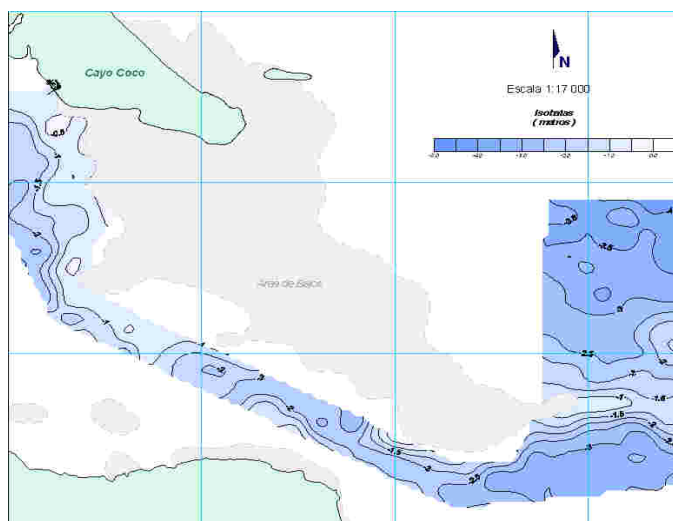


Figura No.2 Mapa de isobatas.

En la zona de la Dársena la configuración de los contornos de iguales espesores describen y delimitan una cuña que penetra en la parte central de la misma con dirección NW – SE, con valores que superan los 5,0 m y divide dicha zona prácticamente en dos partes (ver figura No.3), con un comportamiento muy similar, una al N – NE y la otra al S - SW.

Los valores de isohipsas oscilan entre -2,5 m y -7. m, (ver figura No.4). El rango de variación y las pendientes del atributo muestran un relieve muy irregular con gran cantidad de ondulaciones en su estructura.

Condiciones para el dragado.

Basándonos en los perfiles realizados, y en los planos de profundidad del fondo marino y del techo de la roca con relación al NMM se pudo determinar que para alcanzar las profundidades -3,0 m proyectadas para la construcción de marina Bautista, en su primera etapa, en la **Dársena**, habrá que dragar en roca (EIG # 3) una potencia de 0,5 m ya que las profundidades de yacencia al techo de la roca, en una parte de la zona suroeste de la misma, es de -2,5 m.

Están presentes aquí volúmenes grandes de sedimentos blandos con relación a la profundidad a que yacen los mismos, los cuales aumentan considerablemente en dirección norte, hacia el centro de la dársena con valores entre 4,5 y 5,5 m y se corresponden mayoritariamente con el cieno limo – arenoso (EIG # 1) y en menor grado arena – limosa (EIG # 2). Los espesores mínimos se localizan al suroeste de la dársena (0.8 a 2.0 m), en correspondencia con una elevación de la roca (-2.5 a -3.5 m), la cual deberá ser dragada. En la tabla No. 1 se muestran las características de los EIG para dragado.

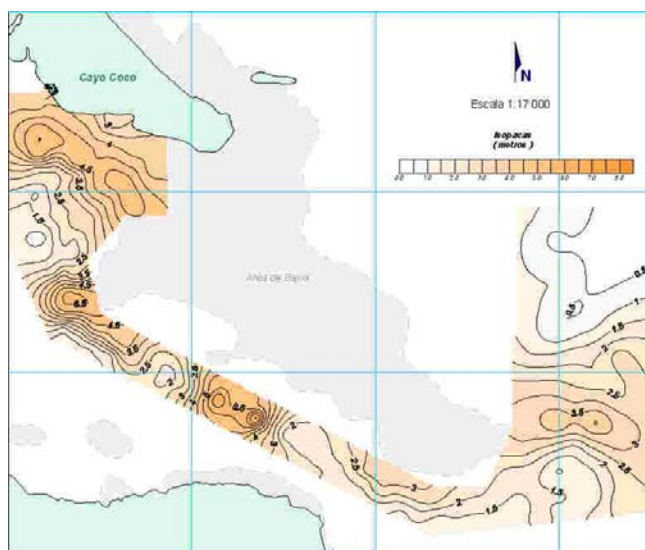
Condiciones de cimentación (preliminares).

De considerarse la cimentación de estructuras sobre pilotes (cimentación indirecta) entendemos factible realizar esta en el EIG # 3, garantizándose el empotramiento de los pilotes en el mismo. Este horizonte aparece generalmente a una profundidad entre -3.5 m y -6.5 m y del cuál en próximas etapas se deben precisar más sus parámetros mecánicos para el cálculo de diseño de los pilotes.

Para la conformación de una plataforma de relleno en el área de la Dársena se debe tener en cuenta que los sedimentos finos que constituyen el EIG #1 (el cual predomina) tienen espesores de consideración y no son favorables como base del relleno por su baja resistencia y alta compresibilidad. Siendo la variante más segura la extracción de los mismos para conformar el relleno directamente sobre la roca (EIG # 3).

De aplicarse el relleno directamente sobre estos materiales no consolidados, como variante más económica se debe tener en cuenta la necesidad de utilizar inicialmente relleno de bloques de roca (rajón, que compacte y desplace estos materiales) hasta superar el NMM y posteriormente por encima de este nivel utilizar ya los materiales de mejoramiento rocoso tradicionales en la conformación de rellenos técnicos, pudiéndose intercalar arena (con carácter confinado) de acuerdo a la cota de terraza a alcanzar; la cuál puede encontrarse en el Área (2) exterior. Posteriormente evaluar complementariamente con calas de investigación y pruebas de carga las características de estabilidad y deformación del área conformada.

El elemento ingeniero – geológico EIG # 1 no debe ser considerado para su empleo como relleno en la conformación de territorios, dado su alto contenido de finos que le confieren elevada compresibilidad. Los elementos EIG # 2 y 3 si se pudieran considerarse como rellenos para la conformación de territorios; como una posible solución de compensación producto de su extracción después de realizado el estudio del posible **impacto ambiental** del dragado de estos elementos.



AREA No.2 Zona exterior (canal de acceso)

Presenta profundidades mayores de $-2,5$ m y espesores de sedimentos no consolidados relativamente pequeños en comparación con la profundidad a que se encuentran, cuyo comportamiento es mucho más regular que en el área No.1. Los mayores espesores, (4,0 m) se localizan sobre la proyección horizontal de lo que consideramos como la continuación de la barra arenosa con profundidades menores de $-1,0$ m.

Por la configuración y la estabilidad de los valores de isohipsas ($-3,15$ m a $-4,5$ m) se puede inferir un paleorelieve bastante aplacerado (o plano) y regular con pendientes casi despreciables.

Condiciones para el dragado.

Basándonos en los perfiles realizados, y en los planos de profundidad del fondo marino y del techo de la roca con relación al NMM se pudo determinar que para alcanzar las profundidades $-3,0$ m propuestas en la zona del canal de acceso habrá que dragar en EIG # 1 ó 2 un espesor aproximado de 2,0 m como promedio general. Aquí el techo del basamento rocoso yace a profundidades que oscilan entre $-3,9$ m y $-5,35$ m y con una yacencia aplacerada (o plana) para toda el área. En esta zona no habrá que dragar en roca, lo cual resulta muy factible para los trabajos de dragado.

Las características para dragado de los sedimentos blandos presentes, (mayoritariamente arena (EIG # 2) y en menor grado cieno (EIG # 1)), se muestran en la tabla No.1.

Tabla No. 1. Clasificación de los E. I. G detectados en el área aplicando las normas de clasificación para dragado según las regulaciones actuales vigentes en el MICONS (1994).

E. I. G.	Denominación	Grupo de suelos Dificultad de Extracción	Grupo de suelos Dificultad de Descarga
EIG # 1	<i>Cieno no estructural fluido</i>	III	1
EIG # 2	<i>Arena limosa poco densa</i>	III	2
EIG # 3	<i>Calcarenita</i>	VIII - IX	3
EIG # 4	<i>Caliza</i>	IX	3

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- A partir de la aplicación combinada de los métodos Geofísicos y Geotécnicos en los estudios para obras hidrotécnicas, se logró evaluar las condiciones naturales de los sitios donde se proyecta la construcción de un determinado objeto de obra (canal de acceso y dársena de atraque) proponiéndose las recomendaciones y soluciones para la cimentación que consideramos más factibles o idóneas, para esta primera etapa de construcción, sobre la base de la determinación de las propiedades físico-mecánicas y químicas de los suelos y rocas que conforman dichos sitios.
- Se determinó la naturaleza geológica del basamento rocoso o del horizonte considerado como estrato base para las cimentaciones directas o indirectas, el cual clasifica como EIG # 3 y cuya resistencia es de muy blanda a blanda en condiciones naturales (saturado), para la zona de la Dársena.
- A partir del análisis conjunto de los mapas de isohipsas e isopacas confeccionados se desprende la **factibilidad** de seleccionar y ubicar la traza más favorable para la proyección del canal de acceso a la futura marina Bautista, lo más próximo posible al N – NE de la misma, donde existe una ligera tendencia al aumento del paleorelieve.

- En la zona estudiada no es apreciable el desarrollo de cavernas marinas de consideración, es principalmente característica la presencia de oquedades en la roca.
- Durante la planificación y manejo del área se deben establecer zonas de vertimientos de residuales y desechos de la obra, teniendo en cuenta que el área costera está constituida por zonas de gran densidad de manglares y pantanosas, coincidiendo con áreas de inundación permanente y superficies bajas menores de un metro.
- El elemento ingeniero – geológico EIG # 1 no debe ser considerado para su empleo como relleno en la conformación de territorios, dado su alto contenido de finos que le confieren elevada compresibilidad. Como materiales de relleno y de construcción durante las labores de conformación de territorios se debe emplear los EIG # 2 y 3 y compensar así el posible déficit de canteras con préstamos cercanos, previo a la realización de un estudio de **Impacto Ambiental**, a fin de mitigar o reducir al máximo sus efectos.
- Teniendo en cuenta la presencia de la barra arenosa al norte del canal de acceso, durante la proyección del dragado se debe valorar la pendiente de su talud, para evitar el asolvamiento del mismo frente a eventos meteorológicos extremos. Además no se deben abrir canales en esta barra, lo que pudiera traer consecuencias fatales para el canal y la zona de playa.
- El área en general reúne condiciones naturales favorables para acometer la obra, puesto que la mayor parte del dragado se realizaría en sedimentos blandos, no obstante se deberá trabajar en función de determinar la relación costo-beneficio de la inversión, recordando que nos encontramos en un ecosistema muy vulnerable y que cualquier acción que se lleve a cabo en este lugar, deberá tener las menores consecuencias posibles, si trabajamos en aras de la sustentabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- GEOCUBA Ediciones Marinas. Tablas de Marea. Costas de Cuba. Servicio Hidrográfico y Geodésico de la República de Cuba, 2001.
- Norma ASTM 2487 – 90, Carta de Clasificación de Suelos.
- Norma ISRM (Sociedad Internacional de Mecánica de Roca), 1977.
- Perdomo J. et. al., (2002). "Investigaciones geofísicas e ingeniero geológicas. Marina Bautista". GEOCUBA Estudios Marinos.
- Perdomo J. y G. Godines, (2001). Informe Técnico, Investigaciones ingeniero – geológicas y geofísicas con alcance de soluciones principales para la Proyección de Marina Santa María en el canal de La Guasa. GEOCUBA Estudios Marinos.
- Perdomo J. y G. Godines, (2000). Informe Técnico, Investigaciones Ingeniero – Geológicas para Proyecto de Dragado y Conformación de territorios en Marina Gaviota, Varadero, Provincia de Matanzas. GEOCUBA Estudios Marinos.
- Regulación de la construcción para la clasificación de suelos y rocas para dragado. MICONS. 1994.
- Rojas R. y S. Medina, (2001). Batimetría Ingeniera para la construcción de una marina en la ensenada de Bautista, Cayo Coco. GEOCUBA Estudios Marinos.

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LAS RUTAS DE EXPOSICIÓN DEL ARSÉNICO Y EL PLOMO EN DELITA Y SUS ALREDEDORES

Pilar Pacheco Cabrera⁽¹⁾, Antonio Vera⁽¹⁾, Regla Toujague⁽¹⁾, Rosa M. Leal⁽¹⁾, Fausto Acosta⁽¹⁾, Efrén Jaimez⁽¹⁾.

(1) Instituto de Geofísica y Astronomía, Calle 212 No 2906 e/ 29 y 31 Rpto. La Coronela, La Lisa, Ciudad de La Habana, Cuba. CP 11 600, E-mail: pacheco@iga.c

RESUMEN

El objetivo del trabajo consistió en el análisis preliminar de las rutas de exposición del arsénico y el plomo en la Mina Delita y sus alrededores.

Se realizó la investigación, en un área de 72 Km² localizada al Oeste de la Isla de la Juventud, donde se aplicó la etapa de Inspección Ambiental según la metodología del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente y la Organización Panamericana de la Salud. Como resultados se identificaron los contaminantes críticos como son: el arsénico, el plomo y el cadmio en el agua, sedimentos y en residuos de minería y el hierro en todos los medios ambientales. Fueron demostrados los niveles de contaminación con arsénico, plomo, cadmio e hierro y las rutas de mayor importancia resultaron ser las aguas, sedimentos y residuos de la minería.

Con la introducción de los resultados de este trabajo se estiman los riesgos a que está sometida la población del área, minimizándose los gastos por servicios médicos para la salud humana expuesta a riesgos por arsénico, plomo, cadmio e hierro, permitiendo definir los contaminantes críticos del sitio y realizar un análisis de las rutas de exposición, con el fin de ejecutar acciones al respecto.

El trabajo se puede Generalizar a otros sitios del territorios como la zona de Santa Lucía–Castellanos, Mina Grande “El Cobre” Santiago de Cuba y otros, expuestos a riesgos por exposición a metales pesados, lográndose una gestión ambiental integral y una mejora continua en la calidad de vida de la población.

ABSTRACT

The objective of the work consisted on the preliminary analysis of the routes of exhibition of the arsenic and the lead in the Mina Delita and its surroundings.

She was carried out the investigation, in an area of 72 Km² located to the West of the Youth's Island, where the stage of Environmental Inspection was applied according to the methodology of the Pan-American Center of Sanitary Engineering and Sciences of the Atmosphere and the Pan-American Organization of the Health. As results the critical pollutants were identified as they are: the arsenic, the lead and the cadmium in the water, silts and in mining residuals and the iron in all the environmental means. The levels of contamination were demonstrated with arsenic, lead, cadmium and iron and the routes of more importance turned out to be the waters, silts and residuals of the mining.

With the introduction of the results of this work they are considered the risks to that it is subjected the population of the area, being minimized the expenses by medical services for the exposed human health to risks for arsenic, lead, cadmium and iron, allowing to define the critical pollutants of the place and to carry out an analysis of the exhibition routes, with the purpose of executing actions in this respect.

The work you can Generalize to other places of the territories like the area of Santa Lucía-Castellanos, it Mines Big The Cobre Santiago of Cuba and other, exposed to risks for exhibition to heavy metals, being achieved an integral environmental administration and a continuous improvement in the quality of the population's life.

INTRODUCCIÓN

El arsénico y el plomo (As y Pb) identificados entre las 20 sustancias más peligrosas a nivel mundial se distribuyen ampliamente en la corteza terrestre Aguilar (2000). Ambos pueden pasar al organismo

humano a través de la cadena alimenticia y causar diversos efectos tóxicos en la salud humana por lo cual constituyen hoy una preocupación para la salud pública.

En los países subdesarrollados continúan indicándose las enfermedades infecciosas como las principales causas de enfermedades y muertes, sin embargo existen riesgos mayores no conocidos hasta hace algunos años, que pueden afectar a grandes poblaciones. Un ejemplo de esto lo constituye la ingestión de metales tóxicos a través del agua o alimentos Aguilar (2000).

En regiones mineralizadas, fundamentalmente vinculadas a depósitos de sulfuros y de oro se han encontrado suelos con hasta 40 mg/kg de As y se ha descrito hidroarsenicismo con concentraciones que variaron desde 0.21 a 12.6 mg/L. En el caso del Pb, se ha descrito intoxicación crónica con la ingestión de entre 10 y 1 mg/L al día.

La absorción oral de As en niños es del 50 % de lo ingerido, siendo eliminado por vía renal el 80 %. Los niños expuestos a As presentan síntomas similares a los adultos: respiratorio, cardiovascular, dérmico, neurológico digestivo y otros. En estudios de exposición crónica, los niños se afectan más severamente, probablemente debido a la elevada exposición con relación al peso corporal. No se requiere de un período largo para presentar lesiones de la piel ocasionadas por exposición al As. La piel es uno de los órganos más afectados por las intoxicaciones arseniacales crónicas. Las lesiones se observan en las palmas de las manos y en las plantas de los pies. Estas lesiones están constituidas por ulceraciones simétricas, hiperqueratosis, hiperpigmentación con manchas blancas y prurito y son precancerosas.

Entre los principales efectos provocados por la intoxicación por Pb se encuentran: anemia microcítica, estatura reducida, dificultades en el habla y la audición y reducción en los niveles del coeficiente intelectual. Una dieta pobre en calcio, hierro o proteínas incrementa la absorción y los efectos tóxicos del Pb. Existe la evidencia de la toxicidad a niveles extremadamente bajos de Pb, Aguilar (2000).

En Cuba no se han identificado aún lesiones de este tipo como resultado de la ingestión de As y Pb. No obstante en trabajos anteriores realizados en la mina de oro Delita y su área de influencia han sido reportados valores de As en agua por encima de los niveles permisibles (Romero, 1982, Toujague et al, 2002) según la Organización Mundial de la Salud (OMS) cuyo límite es 10 µg/L. En el pozo que abastece al poblado Batey de la Mina, aguas arriba de Delita fue reportada en junio del 2001 una concentración de 50µg /L de As. Este hecho pudiera representar un riesgo para la salud de las poblaciones expuestas en esta área y/o en zonas aledañas.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio Ambiente (CEPIS) con el auspicio de la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, son sus siglas en inglés) han desarrollado una metodología para la identificación y evaluación de riesgos a la salud en sitios contaminados OPS/CEPIS (1999).

Esta metodología ha sido diseñada especialmente para los países en vías de desarrollo de América Latina y el Caribe donde los recursos económicos son limitados. El interés es promover la minimización de los residuos y el desarrollo económico sustentable de estos países a pesar de sus limitaciones económicas. La misma cuenta con tres fases: (1) Generación de un listado de sitios peligrosos, (2) inspección de los sitios y (3) evaluación de la exposición en dichos sitios.

La Unidad de Medio Ambiente (UMA) de la Isla de la Juventud (IJ) cuenta ya con un listado de sitios potencialmente peligrosos (fuentes contaminantes potenciales) en el cual se destacan micro industrias, vertederos y áreas minero –metalúrgicas como la mina de oro Delita entre otros sitios. En esta última los estudios analíticos realizados durante años para procesos tecnológicos Alvarez y Castellanos (1986) y según estudios recientes en aguas superficiales y subterráneas en el área Toujague et al. 2002 permiten considerar el área de la mina Delita y su área de influencia como un

sitio peligroso. Por todo ello se ha escogido esta área como caso de estudio donde se aplicará la segunda fase de la citada metodología OPS/CEPIS (1999), la de inspección de un sitio peligroso, siendo específicamente el objetivo de esta primera parte de la investigación el análisis preliminar de las rutas de exposición del arsénico y el plomo en Delita y sus alrededores, Isla de la Juventud.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la Inspección Ambiental del Sitio se utilizó la "metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados", que es una adaptación desarrollada por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de las Enfermedades (ATSDR), perteneciente al Departamento de Salud de los Estados Unidos. Incluye también aspectos desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

Para la toma y preservación de las muestras se utilizaron las normas ISO 5667/1, 2 y 3: 85 y para el muestreo de sedimentos para análisis de la contaminación la NC: 93-01-111:87.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.1 Visita al sitio de estudio: Mina Delita y zonas de su área de influencia

Para la visita al sitio de estudio se realizó una fase preparatoria donde se recopiló toda la información cartográfica digital base (red de drenaje, poblados cercanos, áreas cultivadas y escenarios de peligro definidos en estudios anteriores), se discutió el plan de muestreo y fueron preparados los materiales de trabajo de campo y de muestreo.

Las visitas al área de estudio fueron registradas con fotos y entrevistas a la población. A través de las mismas fue posible conocer aspectos de interés como: frecuencia de uso del agua de los pozos, tiempo de residencia en el local, principales enfermedades que aquejan a la población y quejas sobre el sabor, olor y color del agua. Estas informaciones servirán para discutir los resultados del análisis ambiental.

1.2 Muestreo y análisis ambiental

Se realizó un muestreo de aguas, sedimentos, suelos y residuos de minería en los sitios donde está expuesta la población a la contaminación. Los resultados de los análisis se muestran en las Tablas I, II, III y IV.

Como se puede observar en la Tabla I la mayor concentración de arsénico en el agua resultó ser en el Guinche de la mina y su valor promedio fue de 9236.31 $\mu\text{g/L}$; y las mayores concentraciones de plomo y cadmio fueron en el Estero el Soldado. Las concentración promedio de plomo fue de 7.87 $\mu\text{g/L}$ y la de cadmio de 4.11 $\mu\text{g/L}$.

Se destacan los valores de los puntos de la cuenca El Soldado vinculados con la Mina Delita: Guinche de la mina y Manantial de la mina, evidentemente comunicados a través de los túneles de la mina. Se reporta un valor significativo en el Estero el Playazo El Soldado y disminuye la concentración hacia el Este de la mina en los puntos: Pozo 3, Bodega y Bacallao.

Tabla I Resultados de los análisis de metales pesados en las aguas.

No.	Punto de muestreo	Valores por muestra (µg/L)		
		As	Pb	Cd
1	Pozo V-28	11.6	1.074	0.20
2	Pozo Casa Malva	5.00	1.641	0.09
3	Pozo Bodega	4.36	0.516	0.00
4	Pozo los Blanquitos	4.46	2.644	0.04
5	Pozo Mijial 2	0.0	0.534	0.00
6	Pozo Mijial 1	0.0	2.364	0.05
7	Manantial de La Mina	44040	10.31	4.01
8	Pozo 3 del manantial de la mina	78.2	1.513	11.51
9	Estero el Playazo El Soldado	575	53.18	19.17
10	Guinche de la mina	66080	27.54	5.89
11	Pozo S 7	15.00	1.590	0.00
12	Cala Aeropuerto Siguanea	18.85	2.751	0.00
13	Pozo V-30 AA	3.17	1.865	0.04
14	Pozo Bacallao	0.12	2.635	0.06
Promedio		9236.31	7.87	4.11

Tabla II Resultados de los análisis de metales pesados en los sedimentos.

No.	Denominación	Valores por muestra (mg/kg)								
		As	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Cd	Ni	Cr
15	Sedimento Manantial La Mina	2148	1.66	7.54	36823	1.16	85.1	0.41	1.81	9.13
16	Sedimento Jeep 2	1191	11.6	72.2	31277	15.5	399	1.29	2.31	6.22
17	Sedimento en El Playazo El Soldado	94.13	35.2	1099	33060	19.5	265	6.31	23.8	16.61
17a	Lama del yacimiento, El Soldado, utilizada como fango terapéutico.	0.212	1.63	18.4	5120	7.22	2.39	0.08	0.97	8.43
Promedio		858.34	12.5	299.2	26570	10.85	187.9	2.0	7.2	10.1

Tabla III Resultados de los análisis de metales pesados en los suelos.

No.	Denomina- ción	Nivel (cm)	Valores por muestra (mg/kg)								
			As	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Cd	Ni	Cr
18	Suelo del sembrado de toronjas	0 a 2	2.20	5.70	7.65	2824	8.16	1.81	0.01	3.94	5.72
19		2 a 10	1.13	6.68	4.66	8636	5.23	2.44	0.00	4.03	6.27
20	Suelo del piñero	0 a 2	2.01	4.09	6.63	11052	37.0	3.91	0.19	5.12	8.81
21		2 a 10	3.36	4.52	5.59	13497	33.3	5.65	0.08	5.47	11.4
22	Suelo del sembrado de frijoles (Los Blanquitos)	0 a 2	0.18	7.07	41.96	13678	46.7	7.73	0.29	5.68	10.4
23		2 a 10	0.21	8.72	45.55	18702	51.0	10.5	0.29	6.79	16.6
Promedio			1.52	6.1	18.7	11398	30.2	5.3	0.1	5.2	9.9

Tabla IV Resultados de los análisis de metales pesados en los residuos de minería.

No.	Denominación	Valores por muestra (mg/kg)								
		As	Cu	Zn	Fe	Mn	Pb	Cd	Ni	Cr
24	Material de la Cuña de la tolva	778	15.1	151	10323	0.00	1889	3.74	0.72	0.95
25	Concentrado	1793	42.9	494	42882	1.83	3308	17.8	21.8	1.97
26	Material fino blanco	0.07	0.38	1.84	46369	0.00	11.8	0.00	0.65	1.06
27	Colas	78.7	4.35	16.6	57754	0.00	95.8	0.50	0.59	1.28
28	Material del camino Estero El Soldado: (este material es residuo de la mina que fue usado para rellenar la carretera)	35.3	6.17	27.6	12212	13.6	26.0	0.24	3.80	7.57
Promedio		537.01	13.8	138.2	33908	3.1	1066.1	4.4	5.5	2.6

En la Tabla II se observa que la mayor concentración de arsénico en las muestras de sedimentos resultó ser en el sedimento del Manantial de la Mina y la concentración promedio fue de 858.34 mg/kg; y que los sedimentos del Playazo El Soldado poseen las mayores concentraciones de Cu, Zn, Mn, Cd, Ni y Cr; y solo superado por el hierro en el sedimento del Manantial de la Mina y por el plomo en el sedimento del Jeep 2.

En la Tabla III se observa que el suelo, correspondiente al nivel de 2 a 10 cm, del sembrado de frijoles Los Blanquitos posee las mayores concentraciones de metales; y que la mayor concentración de arsénico en las muestras de suelos fue en el Suelo del piñero, con una concentración promedio de 1.52 mg/kg.

En la Tabla IV, el concentrado posee las mayores concentraciones de los metales: As, Cu, Zn, Pb, Cd y Ni; solo superado por el material del camino del Estero del Soldado (Mn y Cr) y el hierro en las colas.

1.3 Selección de contaminantes críticos.

Resulta difícil obtener un valor de referencia de la contaminación en algunos medios ambientales. Países como Alemania y Holanda cuentan con normas nacionales para este fin pero las mismas no se adaptan a las condiciones de suelos tropicales. Es por ello que para la selección de los contaminantes críticos en este trabajo, los resultados analíticos (concentración) serán comparados con los valores de referencia indicados por la Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ASTDR), denominados Guía de Evaluación para Medios Ambientales (EMEG por sus siglas en inglés).

La EMEG, aunque no es una norma ambiental, sirve como referencia para definir los contaminantes críticos del sitio. Su uso se fundamenta en el hecho de que para su cálculo se toma en consideración la dosis con la cual el contaminante no causa daño alguno (MRL de la ASTDR o el RfD de la EPA). De esta forma, la EMEG se convierte en una guía ambiental de máxima seguridad. De esta forma, el contaminante cuya concentración en el ambiente supere a la EMEG en cualquiera de los medios se considera un **Contaminante Crítico** y deberá ser objeto de un análisis toxicológico. Un contaminante que no rebase a la EMEG en alguno de los medios analizados podría ser descartado.

El cálculo de la EMEG se obtiene multiplicando la dosis de referencia (RfD) de la base de datos IRIS de la EPA o el Nivel de Riesgo Mínimo (MRL) de la ATSDR por el peso corporal y dividiendo el producto entre la tasa de ingestión diaria de agua, suelo o polvo, o lo que es lo mismo:

$$\text{EMEG} = \frac{\text{MRL ó RfD (mg/kg/día)} \times \text{PC (kg)}}{\text{TI (kg ó L/día)}}$$

Donde:

MRL o RfD – Dosis de Riesgo Mínimo (MRL) o Dosis de Referencia (RfD)

PC – Peso corporal (10 kg / niños menores de 3 años, 14 kg / niños de 3 a 6 años, 70 kg / adultos)

TI – Tasa de Ingestión diaria de agua = 1 L / niños y 2 L / adultos

Tasa de Ingestión diaria de suelo = 350 mg/niño y 50 mg/adulto

Tasa de Ingestión diaria de polvo = 35 mg/niño y 5 mg/adulto

(Al no existir un valor confiable en la literatura para el cálculo de la ingesta de polvo se utilizó un factor de incertidumbre de 10 con el factor de ingesta de suelo)

Considerando que los niños constituyen el sector de mayor riesgo, dado su bajo peso corporal, fueron seleccionados para los fines de este trabajo, en los cálculos será considerado siempre el peso corporal de 10 kg el cual corresponde en media a un niño de hasta 3 años.

Los resultados de los cálculos de la EMEG y su comparación con la concentración de cada contaminante se muestran en la Tabla V.

Tabla V Resultados de los cálculos de la EMEG comparado con la concentración de cada contaminante.

	Medio	Dosis (mg/kg/día)		PC (kg)	TI (L/día ó mg/día)	EMEG (µg/L ó mg/kg)	Concentración (µg/L ó mg/kg)		Concentración / EMEG	
		MRL	RfD				Máx.	Prom.	Máx.	Prom.
As	agua		0.0003	10	1	3	66080.00	9236.31	22026.67	3078.77
	residuos		0.0003	10	350	8.57	1793.00	537.01	209.18	62.65
	suelo		0.0003	10	350	8.57	3.36		0.39	
	sedimento		0.0003	10	350	8.57	2148.00	858.34	250.60	100.139
Pb	agua					10	53.18	7.87	5.32	0.79
	residuos					250	3308.00	1066.12	13.23	4.26
	suelo					250	10.50		0.04	
	sedimento					250	399.00	187.87	1.60	0.75
Cd	agua		0.0005	10	1	5	19.17	4.11	3.83	0.82
	residuos		0.0005	10	350	14.29	17.80	4.46	1.25	0.31
	suelo		0.0005	10	350	14.29	0.29		0.02	
	sedimento		0.0005	10	350	14.29	6.31		0.44	
Mn	residuos		0.02	10	350	571.43	13.60		0.02	
	suelo		0.02	10	350	571.43	51.00		0.09	
	sedimento		0.02	10	350	571.43	19.50		0.03	
Cr	residuos		0.003	10	350	85.71	7.57		0.09	
	suelo		0.003	10	350	85.71	16.60		0.19	
	sedimento		0.003	10	350	85.71	16.61		0.19	
Cu	residuos	0.01		10	350	285.71	42.90		0.15	

	suelo	0.01		10	350	285.71	8.72		0.03	
	sedimento	0.01		10	350	285.71	35.20		0.12	
Zn	residuos		0.3	10	350	8571.43	494.00		0.06	
	suelo		0.3	10	350	8571.43	45.55		0.01	
	sedimento		0.3	10	350	8571.43	1099.00		0.13	
Fe	residuos		0.3	10	350	8571.43	57754.00	33908.00	6.74	3.90
	suelo		0.3	10	350	8571.43	18702.00	11398.17	2.18	1.30
	sedimento		0.3	10	350	8571.43	36823.00	26570.00	4.30	3.00

1.3.1 Análisis para Arsénico

Como se observa en la Tabla V el nivel máximo de As en las aguas supera 22026 veces la EMEG, mientras que el nivel promedio supera en 3078 veces.

El valor máximo de arsénico en los residuos de la minería superó el valor de referencia en 209 veces y en los sedimentos 250 veces. El valor promedio de Arsénico en los residuos de la minería superó el valor de referencia (62 veces) y en los sedimentos (100 veces), por lo que el arsénico se considera un contaminante crítico en el área.

1.3.2 Análisis Plomo

Dado que no existe hasta el momento RfD ni MRL para plomo (se encuentra en proceso de análisis por la ATSDR) no es posible calcular su EMEG. Por ello, para definir su probabilidad de riesgo por plomo por la vía oral fue empleado el valor de referencia (EMEG) de 10 µg/L Este valor es recomendado por la OMS.

El valor máximo de plomo en los residuos de minería superó el valor de referencia (13 veces) y en los sedimentos (1 vez). El valor promedio de Pb en los residuos de minería superó (4 veces) el valor de referencia. De esta forma, el Pb es considerado un contaminante crítico en Delita, principalmente por los elevados valores identificados en los residuos de la minería.

1.3.3 Análisis Cadmio

Como se observa en la Tabla V el valor máximo de cadmio en agua superó 4 veces la EMEG y el valor promedio no, el hecho de haber sobrepasado el valor guía implica que este metal sea considerado un contaminante crítico en el área.

Los valores máximos de cadmio en los residuos de minería superaron la EMEG. Aunque los valores promedios se mantuvieron en todos los casos dentro del valor guía (EMEG), el hecho de haber sobrepasado el valor guía en un medio ambiental implica que este metal sea considerado también un contaminante crítico en el área.

1.3.4 Análisis Manganeseo

Como se observa en la Tabla V en todos los medios ambientales el manganeso se encuentra dentro del valor guía, por tanto, este elemento no se considera un contaminante crítico en Delita.

1.3.5 Análisis Níquel

Al no existir RfD ni MRL para el níquel en la ruta oral no es posible calcular su EMEG. No obstante la Directiva 86 / 278 / CEE plantea que la concentración máxima permisible para suelos agrícolas es de 75 mg/kg, muy superior al valor máximo de níquel reportado en los análisis.

1.3.6 Análisis Cromo

En el caso del cromo los valores de MRL reportados son para la ruta: inhalación. En estudios realizados en la isla de Vieques, Puerto Rico (ATSDR, 2003) fue calculado como RfD para Cr VI, vía oral un valor de 0,003 mg/kg/día.

Para este valor, la EMEG sería de 85,71 mg/kg (ver Tabla V) resultando que, en ninguno de los medios ambientales estudiados la EMEG es superada. Por tanto el cromo no constituye un contaminante crítico en Delita.

1.3.7 Análisis Cobre

Como puede apreciarse en la Tabla V, las concentraciones de cobre en todos los medios se encuentran por debajo de la EMEG aquí calculada a partir de la MRL (ATSDR, 2004), no constituyendo por tanto este metal un contaminante crítico.

1.3.8 Análisis Zinc

De acuerdo con los resultados de la Tabla V, el valor de la EMEG, calculado a partir de la RfD (ATSDR, 2004), tampoco es superado en ninguno de los medios estudiados. De esta forma, el zinc no constituye un contaminante crítico en Delita.

1.3.9 Análisis Hierro

Como se observa en la Tabla V las concentraciones tanto máximas como medias de hierro superaron la EMEG, calculada a partir de la RfD de estudios en Vieques (ATSDR, 2003), en varias veces en todos los medios ambientales, siendo los residuos de minería y sedimentos los de mayor impacto. Considerando estos resultados el hierro es considerado un contaminante crítico en el área de Delita y merece un estudio posterior. Estos datos corroboran las quejas de la población en cuanto al sabor terroso del agua. Esto indica que el hierro se encuentra biodisponible en los suelos, sedimentos y residuos de Delita pasando al medio acuático. No obstante, los estudios en agua ofrecerán una información más completa al respecto.

1.4 Análisis preliminar de las rutas de exposición

1.4.1 Ruta Agua

Excepto los pozos de abastecimiento Mijial 1 y 2, y el Pozo Bacallao, los restantes presentan valores de As superiores a la guía EMEG de 1 a 26 veces. El valor más notable es el del Pozo 3 del manantial de la mina que supera en 26 veces la guía, por lo que todos los pozos de abasto de agua deberán ser objeto de atención para próximos monitoreos.

Los altos valores de As se asocian fundamentalmente al Manantial de la mina que lava las menas subterráneas y brota durante todo el año y al guinche.

1.4.2 Ruta Sedimento

En esta ruta, el arsénico, el plomo y el hierro superaron las guías EMEG. Esto indica que es una ruta a ser estudiada con mayor detalle por constituir una fuente potencial para la biodisponibilidad de estos metales a los cuerpos de agua por lo que la calidad de vida de la biota acuática también puede estar siendo afectada.

Los niños que juegan, o entran sin permiso al Playazo El Soldado, que participan con sus padres de la pesca en el Estero y consumen los peces aquí pescados, constituyen el sector de mayor riesgo.

1.4.3 Ruta Suelo

Para esta ruta solamente el hierro superó la guía ambiental. Probablemente la combinación de factores: suelos pobres, más bien arenosos en todos los casos, tipo: Acrisol Háptico y acidez elevada, (pH: 4,0-5,9) permitan que los metales pesados se mantengan en solución y migren con mayor facilidad hacia ambientes más acogedores para su precipitación, posiblemente los drenajes del área (altos valores de metales en los sedimentos de corriente).

El hierro, por su parte, merece un análisis de destacar en lo adelante y aunque es un elemento necesario para la salud humana, por formar parte de la hemoglobina, su exceso en el organismo es nocivo.

1.4.4 Ruta Residuos

En esta ruta, el arsénico, el plomo, el cadmio y el hierro superaron las guías EMEG. Considerando que los residuos de la minería constituyen la principal fuente de contaminación para el ambiente en el área, se deberá disponer de un lugar seguro para su disposición final.

CONCLUSIONES

1. Los contaminantes críticos en el área objeto de estudio resultaron ser: el arsénico y el plomo en las aguas, en los residuos de minería y en los sedimento, el cadmio en las aguas y en los residuos de minería y el hierro en todos los medios ambientales.
2. Los niveles de contaminación por arsénico, plomo, cadmio e hierro fueron demostrados en el estudio.
3. Las rutas de mayor importancia son las aguas, los residuos de la minería y los sedimentos.
4. La población de mayor riesgo son los niños, porque representan al grupo poblacional más susceptible a los efectos nocivos de los contaminantes críticos identificados.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar G.P., 2000. Riesgo en la Salud por exposición a Plomo y Arsénico en niños de comunidades de la provincia INGAVI. *Tesis de Maestría en Ciencias de la Salud*. (Bolivia).
- Álvarez A. y J. Castellanos, 1986. Investigaciones sobre el beneficio de la mena compleja aurífera del yacimiento Delita. *Oficina Nacional de Recursos Minerales*. (Cuba).
- ATSDR. 2003. Evaluación de la vía de exposición del suelo. *Resumen de las Evaluaciones de Salud Ambiental Realizadas por la ATSDR en el Campo de Bombardeo de la Isla de Vieques*. (Puerto Rico).
- ATSDR. 2004. Guide of Minimal Risk Levels. (USA).
- ATSDR. 1994. Environmental data needed for public health assessments. *A Guidance Manual*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. (Atlanta Georgia).
- Bosch M. y et al., 1990. Prospección Detallada, yacimiento Delita. *Inventario 4190*. (CIPIMM, Cuba).
- CEPIS/OPS. 1999. Metodología para la identificación y evaluación de riesgos a la salud en sitios contaminados. *Curso de autoinstrucción*. (USA):1-14
- Díaz Barriga F. y et al., 1999. Evaluación del riesgo por la exposición a Plomo. *Sección 2B. Evaluación del riesgo para la salud en sitios contaminados con plomo*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (Perú).
- Díaz-Barriga F, et al., 1999. Evaluación de riesgos para la salud en la población expuesta a metales en Bolivia. Cap.2. Evaluación preliminar del riesgo en salud. Zona metalúrgica de Vinto Oruro. CEPIS/OPS. (Bolivia)
- Garapko I. y et al., 1974. Informe sobre el levantamiento geológico y las búsquedas a escala 1:100 000. Cuba.
- IRIS (2005). Integrated Risk Information System. Base de datos de la EPA. (USA).

- Mejía J. y et al., 1999. Un método para la evaluación de riesgos para la salud en zonas mineras. *Salud Pública*. (México), 41(II):132-140
- Molerio L. y R. Toujague, 2004. Arsenic in hard rock aquifer: multivariate optimization of the groundwater-monitoring network. *In: 32nd. International Geological Congreso*. (Italy).
- Norma Cubana 93-01-111:87. Muestreo de sedimentos para análisis de la contaminación.
- Normas ISO 5667/1, 2, 3:85. Toma y Preservación de las muestras de agua.
- Romero J., 1982. Resumen del informe sobre las posibilidades de desaguar la mina de oro Delita, en la Isla de la Juventud. *Oficina Nacional de Recursos Minerales*. (Cuba).
- American Public Health Association - American Water Works Association - Water Pollution Control Federation, 1989. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *20 th Edition*. (Washington): 1134p.
- Toujague R. y L. Molerio, 2002. Identificación y caracterización de las fuentes de arsénico en la región de la mina Delita, Isla de la Juventud. (Cuba).

VALORACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DIEZ DE OCTUBRE. MEDIDAS A IMPLEMENTAR

María Gertrudis Valdés Hernández⁽¹⁾, Jorge Olivera Acosta⁽¹⁾, Jose Fernando Alcaide Orpi⁽¹⁾, Mario Guerra Oliva⁽¹⁾, Efrén Jaimez Salgado⁽¹⁾, Joel Villariño Ordóñez⁽¹⁾

(1) Instituto de Geofísica y Astronomía, Calle 212 No. 2906 e/ 29 y 31, La Coronela, La Lisa, La Habana, CUBA. Email: gertrudis@iga.cu

RESUMEN

El presente trabajo recoge de manera amplia e ilustrativa, el estado ambiental que presenta el Municipio Diez de Octubre. Es el resultado de la culminación del Proyecto Estudio Ambiental del Municipio Diez de Octubre el cual presento 3 resultados parciales: Diagnostico Ambiental, Atlas Ambiental e Informe Final del Proyecto.

Se presenta información sobre la situación del medio ambiente y los recursos naturales del Municipio, así como las interacciones positivas y negativas de los principales medios (Atmósfera, Medio Urbano, Agua, Suelo, Residuos). Esta información, junto con las características socioeconómicas constituye la base a la hora de fijar prioridades del desarrollo sostenible en una ciudad.

También se muestra un plan de medidas a implementarse por el gobierno local y las diferentes organizaciones municipales.

La información procesada fue brindada por diferentes direcciones e instituciones del Municipio. Estas instituciones fueron: Poder Popular, Dirección Municipal de Planificación Física, Dirección Municipal de Salud Publica, 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 brindo 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.

ABSTRACT

The present work picks up in a wide and illustrative way, the environmental state that it presents the Municipality Ten of October. It is the result of the culmination of the Project Environmental Study of the Municipality Ten of October which I present 3 partial results: I Diagnose Environmental, Atlas Environmental and Formless End of the Project.

Information is presented on the situation of the environment and the natural resources of the Municipality, as well as the positive and negative interactions of the main means (Atmosphere, Half Urban, it Dilutes, Floor, Residuals). This information, together with the socioeconomic characteristics constitutes the base when fixing priorities of the sustainable development in a city.

A plan of measures is also shown to be implemented by the local government and the different municipal organizations.

The processed information was offered by different addresses and institutions of the Municipality. These institutions were: to Be able to Popular, Municipal Address of Physical Planning, Municipal Address of Health Publishes, Address of Communal Services, Municipal Delegation of the Agriculture, Municipal Address of Statistic, Municipal Address of Housing, Address of Hygiene and Epidemiology, Delegation CITMA of City of Havana, State bigger than the Defense, and others. You toasts of general way, bring up to date and a brief characterization of the state of the current environment, identifying the main problems that affect the environmental quality of the Municipality.

INTRODUCCION

La investigación tuvo como objetivo general realizar la valoración del estado actual del medioambiente con vista a mejorar la planificación y gestión ambiental en el territorio, 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 además de un plan de medidas a implementarse por el gobierno municipal y las diferentes direcciones de la localidad.

Este estudio crea las bases para futuros planes 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.

Principales objetivos:

- Ofrecer una amplia valoración e identificación de los diferentes problemas ambientales existentes en el Municipio.
- Plantear medidas que deberán implementarse por el Gobierno Municipal y las diferentes direcciones locales.

Para ello se recogió y proceso además, la información brindada por diferentes direcciones e instituciones del Municipio. Estas instituciones fueron: 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.

MATERIALES Y METODOS

Los materiales que sirvieron de base para el desarrollo del trabajo se relacionan a continuación. La base cartográfica empleada para la realización de los estudios de diagnóstico fue a escala 1: 25 000 que comprende el territorio del Municipio Diez de Octubre.

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 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 y además se realizaron recorridos de campo para las comprobaciones. 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 primarios (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 Comunes y otros.

Para el desarrollo del trabajo fueron utilizados diferente 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. 7.5 y el Vertical Mapper V.3

Metodología de los Trabajos

Para dar cumplimiento a los acuerdos de la Agenda 21 de Medio Ambiente se han configurado diferentes metodologías de trabajo que incorporan el análisis territorial local como elemento de partida. Una serie de estudios y de análisis técnicos permiten hacer un diagnóstico (potencialidades y déficit) a partir del cual se elabora un plan de acción o conjunto de líneas estratégicas y actuaciones concretas que habrá que ir incorporando para acercarse al objetivo del desarrollo sostenible. Este Plan Municipal de Medio Ambiente o Plan de Acción constituye la base de la Agenda 21 Local, implicando en éste proceso a las diferentes administraciones así como a otros agentes, sectores de interés y grupos de ciudadanos.

Para diversas áreas de Cuba se han realizado estudios sobre el medio ambiente, generalmente relacionados con obras constructivas de envergadura, importantes para la economía nacional. En estas evaluaciones se incluyen elementos físicos geográficos, geológicos, hidrológicos, climáticos, etc.

Consideramos que las investigaciones de municipalidades resultan de gran efectividad, ya que en tal unidad convergen en espacio y tiempo, el impacto real de los sucesos naturales y antrópicos, con su consecuente afectación a los bienes y a las personas.

El punto de partida del equipo de investigación fue el de analizar la metodología de las diferentes experiencias nacionales e internacionales disponibles con la intención de adecuarlas a la realidad del municipio. De esta manera, en la elaboración de éste diagnóstico ambiental primero se revisó la ofrecida por algunos estudios de diagnósticos realizados en municipalidades españolas (Granada, La Rioja, etc.), así como también estudios de este tipo en municipalidades del México como (Municipio de Ecatepec, Coacalco, etc.), en Brasil en el municipio de São Paulo, en todos 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 íntegro 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 diagnósticos recogen los mismos indicadores para el análisis ambiental municipal que las consultadas en la literatura internacional.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Generalidades del Municipio Diez de Octubre.

El Municipio Diez de octubre se encuentra situado dentro de la zona Central de la Ciudad. Limita al Norte con el Municipio Habana Vieja; al Este con el Municipio San Miguel del Padrón; por el Sur con el Municipio Arroyo Naranjo y por el Oeste con el Municipio Cerro. Estos límites están definidos por la Vía Blanca, el Río Luyanó; la línea del Ferrocarril Central y la Calzada de Vento respectivamente.

El Municipio Diez de Octubre se caracteriza por ser uno de los más populosos de la provincia Ciudad de La Habana. Posee una población de 232 828 habitantes en el año 2000, que representa el 10,6% del total de la capital y el 2.87% de su población urbana. Ocupa una extensión de 12.2 km², lo que representa el 1.7 % del área total de la Ciudad y un 0.036% aproximadamente de área urbanizada, lo que lo define como un territorio casi totalmente urbanizado, cuya densidad poblacional es de 190 hab. / ha. Se concentra en este Municipio una gran población, lo que da un índice del alto peso que significa el área urbanizada de carácter residencial. Esta área residencial que cubre el 80 % del área total del territorio se caracteriza por su desarrollo compacto a partir de una cuadrícula octogonal,

existiendo notables variaciones en las dimensiones de las manzanas, y en la dirección y trazado de la red vial.

A partir del trabajo de campo y las entrevistas realizadas a los representantes de las diferentes direcciones municipales se pudo definir el estado ambiental y cuales eran los principales problemas ambientales que afectaban al Municipio los cuales se detallan a continuación.

Principales problemas ambientales detectados en el Municipio Diez de Octubre.

❖ Descarga de residuales no tratados a los cuerpos de aguas receptores.

Una parte del Municipio Diez de Octubre se sirve por el alcantarillado, pero la otra parte vierte al Río Luyanó sin recibir tratamiento alguno. Esto se pudo comprobar en varios recorridos efectuados por el territorio en los que participaron especialistas del Gobierno, de la delegación CITMA de Ciudad de La Habana y del Instituto de Geofísica y Astronomía

La dirección del Gobierno Territorial en conjunto con el Especialista de Medio Ambiente que atiende el Municipio y la Comisión de Medio Ambiente, han llevado a cabo una labor de gran importancia con las inspecciones realizadas a los diferentes centros contaminadores, lo que ha dado como resultado que algunas industrias realizaran cambios en sus tecnologías y otras han sido cerradas como por ejemplo, el cambio de tecnología en la Destilería Habana en la que no se utilizan mieles para la fermentación y se procesa a través de alcoholes logrando minimizar la contaminación de las corrientes superficiales.

❖ Altos niveles de ruido en determinadas zonas.

El sonido se define como cualquier variación de presión que el oído humano pueda detectar, siempre y cuando esta variación de presión se produzca en un intervalo de tiempo corto, por lo menos veinte veces por segundo, es decir a una frecuencia de 20 Hz.

Los niveles máximos admisibles y de tolerancia del ruido se establecieron en Cuba a partir de un estudio experimental realizado por el Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. (INHEM) en animales y humanos entre los 47 y 67 dB(A), en dependencia de la naturaleza del sonido y del periodo vigilia-sueño en el medio residencial.

Según las Normas Federales Brasileñas sobre ruido ambiental se establecen como niveles máximos de ruido diurno los siguientes:

En zona residencial	45 dB(A)
En residencial urbana	55 dB(A)
En el Centro de la Ciudad (Negocios, comercios, etc.)	65 dB(A)
Área industrial (Fuente ABNT, NBR 10151.)	70 dB(A)

Las Normas Colombianas establecen los límites máximos permisibles para zonas receptoras de 65 dB para zona comercial y 75 dB para zona industrial.

Hay que destacar la importancia que tiene para la salud humana y el bienestar de la sociedad en general considerar el ruido entre los elementos contaminantes del medio ambiente, demostrar a partir de los resultados arrojados por estudios realizados en nuestro país la necesidad de incluir el ruido urbano como un elemento importante entre los posibles contaminantes potenciales del medio ambiente.

En el Municipio, los altos niveles de ruido en zonas residenciales se ha convertido en uno de los problemas más sensibles para la población, convirtiéndose en causa de numerosas quejas fundamentalmente donde las molestias son causadas por instalaciones recreativas que han provocado algunas quejas y el incremento de los parques de vehículos (claxon y reproductoras).

Hay que señalar que toda la población que vive en las cercanías de las principales vías de acceso al Municipio sufren de stress sonoro debido a la gran circulación de vehículos que transitan por ellas a diario y al abuso de los claxon con lo cual no se respeta ni la cercanía a zonas hospitalarias, ni asilos de ancianos u otras entidades que por el servicio que prestan, requieren de silencio y tranquilidad. El Gobierno Municipal debe velar por esto y exigir a las autoridades competentes que se haga cumplir lo establecido en la ley.

❖ **Inadecuado manejo de residuos sólidos.**

El servicio de recogida de desechos sólidos tiene algunas deficiencias debido a la poca estabilidad de la recogida periódica ya que para recoger 1525 m³ de basura diaria distribuido en 9 consejos sólo se cuenta con un colector, 8 KP-3 y 15 carretas lo que hace imposible recoger la totalidad de la basura del Municipio. Según estudio preliminar se debería contar al menos con 4 colectores, 30 tractores y 12 camiones. Esto repercute inevitablemente en la sanidad del Municipio generando focos de insalubridad y micro vertederos en las vías públicas, parques y solares yermos.

Aunque se cuenta con 2036 contenedores en diferentes puntos del Municipio, se mantienen algunas dificultades con la recogida y transportación, uniéndose esta situación a la gran indisciplina social y la falta de educación ambiental existentes, esto conlleva además a que personas inescrupulosas lancen a las corrientes fluviales los residuos sólidos domésticos en envases no biodegradables los que provocan obstrucción en cauces de arroyos, malos olores y deterioro del paisaje urbano. Además se visitaron como objetivo de uno de los recorridos realizados, dos vertederos clandestinos en el que botan escombros, restos de poda, chatarra, desperdicios que van desde materiales recuperables hasta medicamentos (vertedero clandestino de Quinto Distrito y en la Loma del Burro).

❖ **Situación deficiente de los viales.**

El 74% de los viales del Municipio se encuentran en regular y mal estado, pueden observarse numerosos baches, muchos de ellos de gran dimensión, los cuales en tiempo de lluvia constituyen un peligro tanto para el tránsito como para los peatones, constituyendo una de las causas de accidentes.

❖ **Mal estado constructivo de la vivienda.**

El deterioro progresivo está presente en las viviendas y funciones que se le asocian (equipamientos, servicios, centros de animación, espacios públicos, etc.) y se relaciona con otros también de gran importancia, como los riesgos de desastres por huracanes, ciclones y lluvias prolongadas, y con algo que por su inmediatez diaria tiene un fuerte impacto, que es la imagen urbana degradada que presenta el Municipio en general.

Las zonas de vivienda constituyen el primer problema del Municipio por el deterioro acumulado, y entre los aspectos que componen su problemática se destacan:

La falta de atención a la contención del deterioro, pues las nuevas viviendas lejos de destinarse a sustituir aquellas que son irreparables y críticas, se han dirigido en su mayoría a desagregar núcleos y a otros intereses. En lo que respecta a la rehabilitación y preservación del fondo que debe mantenerse, las acciones en medida importante no corresponden con la estructura ni la distribución territorial de las patologías y deficiencias que deben enfrentarse.

La forma puntual en que se han venido realizando las nuevas construcciones, las rehabilitaciones y la preservación del fondo existente, han provocado entre 1995 y 1999 el traslado de personas de este municipio hacia zonas periféricas de la Ciudad en la cual también se han involucrado Municipios como la Habana Vieja, Centro Habana y Cerro por las características de ser estos junto con nuestro Municipio, municipios centrales con alto índice de nivel constructivo de mayor deterioro. No debe dejar de señalarse la ausencia de vegetación y espacios de participación social en las zonas de edificación compacta. (Dirección Municipal de Planificación Física. 2004)

Desde hace tres lustros el Municipio viene siendo sometido a un proceso que afecta su estructura a causa de cambios de uso, localizaciones y nuevas edificaciones, que han dependido de menores costos para rehabilitar y reparar, quedando relegadas a un segundo plano las conveniencias de los usuarios y de la ciudad

Además de ello se abandonaron las localizaciones junto a las vías de circulación del transporte urbano colectivo de edificaciones que tradicionalmente contenían equipamientos, servicios y funciones de centros de animación urbana, (tomando por Ej. la Calzada de Diez de Octubre) para ser ocupadas finalmente por viviendas que en el momento actual hacen disfuncionales esos sitios y refuerzan el deterioro y la imagen urbana degradada que ya existe.

El abandono por un lado y por otro las invasiones de que son objeto los espacios públicos, así como las agresiones a los escenarios urbanos y a la arquitectura, lo cual se aprecia en todo el Municipio, constituye parte importante de la problemática urbano arquitectónica actual.

❖ **Insuficiente cantidad de consultorios médicos.**

Existe insuficiencia de consultorios médicos para dar capacidad al nivel poblacional tan grande que presenta el Municipio así como el deterioro de las instalaciones existentes, requiriéndose el mantenimiento de las mismas. Se prevé la terminación de edificaciones que incluyen en un primer nivel el consultorio médico. Para el presente quinquenio se pretende dar reparación y mantenimiento a diversas instalaciones.

❖ **Deficiente estado técnico de la red de suministro de agua potable.**

La red de abasto de agua, del Municipio cuenta con una extensión de 343 Km. y 58 500 acometidas instaladas. Tomando en cuenta que esta red tiene más de 60 años de explotación y no ha sido rehabilitada, además de la topografía del terreno que somete a altas presiones este sistema motiva que el estado de la misma sea de malo.

En los recorridos realizados se pudo constatar que numerosos salideros de agua potable eran reparados y al poco tiempo se volvía a romper la tubería, esto evidencia el mal estado en que se encuentran. Además se pudo observar el alto riesgo a la contaminación que presentan ya que en numerosos casos los albañales corren junto a estas tuberías rotas pudiendo representar esto un peligro para la salud de los pobladores, los cuales pueden contraer enfermedades infecciosas y de otra índole contagiosa, Ej. En la esquina de las calles Durege y Zapote.

❖ **Inadecuado saneamiento de ríos y zanjas.**

Tanto el Río Luyano como los tramos de zanjas que existen en el Municipio, se encuentran saturados de desechos sólidos, escombros, restos de poda y otros desperdicios que la población de forma inconsciente arroja a los mismos ya que en muchas ocasiones no disponen de los lugares ni los mecanismos adecuados para su correcta disposición (escombros, restos de poda). También se pudo

constatar el descontrolado abuso de los criaderos de puercos en las márgenes del río (Consejo Luyano)

❖ **Contaminación atmosférica. Fuentes móviles y fijas.**

Entre los problemas que más preocupan a la humanidad en nuestros días se encuentran los relacionados con la creciente contaminación de la atmósfera. En Cuba, desde hace algunos años, los sistemas de monitoreo de la contaminación del aire en asentamientos humanos han venido sufriendo un deterioro por problemas de equipamiento especializado y limitaciones de recursos materiales, a pesar de esto el país, representado por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente y el Ministerio de Salud Pública, realiza todos los esfuerzos para fortalecer, perfeccionar y desarrollar la actividad de vigilancia y protección de la atmósfera.

Cualquier sustancia en el aire que en dependencia de su concentración y del tiempo de exposición pueda ocasionar daños a la salud humana, la biota o provocar el deterioro de los materiales se denomina contaminante del aire. Ellos son emitidos a la atmósfera por diferentes fuentes que pueden tener un carácter natural si no hay intervención del hombre o artificial si son el resultado de la acción de los seres humanos, en ambos casos los contaminantes pueden ser emitidos en forma de partículas sólidas o líquidas (material particulado o aerosoles es decir el humo y el polvo) gases y vapores.

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. Por ejemplo: La quema de la vegetación da origen al hollín, a la liberación de dióxido de carbono, monóxido de carbono, y óxido de nitrógeno. La combinación de energéticos fósiles (carbón, petróleo, y sus derivados) libera importantes cantidades de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, ciertos tipos de hidrocarburos y el hollín. El motor de los vehículos emite monóxido de carbono, hidrocarburos, hidróxido de carbono, óxidos de nitrógeno, oxidantes fotoquímicos y el plomo que se agrega a la gasolina para evitar detonaciones.

Efectos de los contaminantes del aire.

Dióxido de Azufre:

En Zonas de alta concentración puede provocar bronquitis, asma e incluso cáncer pulmonar y en casos extremos altera el sistema nervioso y destruye los glóbulos rojos. Además es el principal responsable de la lluvia ácida.

Monóxido de Carbono:

Es altamente tóxico, reduce la percepción visual y la habilidad manual y en altas concentraciones provoca desde dolores de cabeza hasta angina de pecho.

Óxidos de Nitrógeno:

Son altamente tóxicos, a medida que aumenta su concentración provocan escozor de ojos, bronquitis y reducen la capacidad pulmonar. Son también causantes de la lluvia ácida.

Partículas en suspensión:

Transportan plomo, manganeso, aluminio. Su toxicidad depende del tamaño ya que las más grandes son retenidas por el vello nasal y ciertas células. El plomo es la más peligrosa ya que su acumulación en la sangre provoca hipertensión, anemia, insuficiencia renal y alteraciones nerviosas.

Fuentes de contaminación móviles.

Vehículos automotores

A nivel internacional el creciente incremento del parque automotor con empleo de combustible fósil por motores de combustión interna, contribuirá al calentamiento del planeta en alta medida y un ejemplo de ello es que la combustión por tanques de gasolina puede incrementar entre un 30 y un 40% dicho calentamiento al arrojar entre 300 y 400 libras de dióxido de carbono y producir una importante cantidad de monóxido del mismo, además las fuentes, móviles aportan entre un 40 y un 80% (en dependencia del país) del total de las emisiones antropogénicas de los óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, compuestos de plomo e hidrocarburo sin quemar, sin contar que los gases de escape debido al transporte resultan ser extremadamente molestos por originarse a nivel del suelo y no existir chimeneas de ventilación, ni estar separadas por áreas de protección sanitaria de las zonas residenciales como en el caso de las industrias

Nuestro país aún cuando, de una parte, no cuenta con un parque automotor tan grande como en los países industrializados y de la otra, la drástica reducción en el consumo de combustible que hemos venido enfrentando en el periodo especial, no puede estar ajeno al papel que juegan las fuentes móviles en la contaminación del aire, por ello resulta conveniente hacer una reflexión partiendo de nuestra concepción de desarrollo sostenible sobre la influencia que tiene para la contaminación ambiental el empleo de combustible fósil. por los motores de combustión. interna. Es útil indicar además que en ocasiones los efectos de los gases de escape pueden ser mayores que los que cabría esperar en base al número de vehículos que circulan, si estos vehículos son viejos, con un estado técnico defectuoso o están mal conservados.

Las concentraciones de contaminantes del aire generadas por las fuentes móviles dependen de el contenido de sustancias nocivas en los gases emitidos por los vehículos, el flujo del transporte, los tipos de vehículos, las características físicas del entorno y las condiciones meteorológicas según Lidenan (1985)

Por estar el Municipio Diez de Octubre tan urbanizado, el mismo se encuentra surcado por numerosas vías de comunicación como son la Calzada de Diez de Octubre, Calzada de Luyanó y Vía Blanca por las que transitan a diario un gran número de vehículos y transporte de pasajes (10 rutas). Es importante destacar el hecho de que la mayoría de estos vehículos se encuentran en mal estado técnico, provocando sobre todo un deficiente mecanismo de combustión y esto provoca una gran contaminación por Dióxido de Carbono y otros gases que resultan nocivos (como se expone anteriormente) para la salud humana y también las fachadas de las viviendas y monumentos aledaños a dichas arterias, así como a su vez producen contaminación sónica.

❖ **Problemas relacionados con los suelos.**

El suelo constituye el gran soporte de la vida, cualquier afectación que ocurra provocando daños, implicará también daños a la vida.

Son numerosos los vertederos que a diario se crean, que son eliminados y vueltos a crear en el mismo lugar o en otro cercano al anterior y en breve plazo. Esta acción, desarrollada por todas las comunidades y barrios del Municipio trae consigo el rápido deterioro, empobrecimiento y

envenenamiento de los suelos. La mayoría son vertederos que no poseen ninguna protección y mucho menos selección de la basura, por tanto, lo mismo se botan restos de poda, que escombros, baterías de carros, desechos domésticos, chatarra, etc. Dichos vertederos, como es lógico también originan gran cantidad de lixiviados que además de contaminar los suelos, se infiltran hacia los acuíferos, aportando nuevos elementos degradantes a las ya empobrecidas aguas de nuestros mantos, además de constituir un foco de criaderos de roedores u insectos.

Es significativo el hecho de que estos vertederos se ubiquen en cualquier sitio, sin tener ninguna conciencia ambiental de las consecuencias que a largo y corto plazo pueden provocar.

El principal problema ambiental de los suelos en el Municipio Diez de Octubre lo constituye la Pérdida del Fondo Agrícola, como una consecuencia directa del proceso de urbanización, con casi el 90 % del territorio urbanizado. No obstante existen algunos pequeños paños de suelos con alguna calidad productiva que permiten la siembra de cultivos varios como viandas y hortalizas, así ocurre en la Loma del Timón, específicamente en la Finca La Capitana.

En la Loma del Burro existe un grave problema que esta afectando intensamente los suelos y degradando indiscriminadamente el paisaje del lugar y es referido a las excavaciones a cielo abierto de material de construcción conocido como recebo o coco, las cuales se han ido desarrollando en las laderas sobre la corteza de intemperismo de las margas, existiendo en la actualidad un frente de extracción de aproximadamente 200m² de superficie, sin contar las excavaciones abandonadas que suman 5 o 6, las cuales se encuentran en cotas inferiores sobre la ladera norte y se hayan sometidas al intemperismo, formando cárcavas las cuales contribuyen al incremento de la erosión de estos suelos y las laderas en general.

❖ **Problemas relacionados con los peligros naturales y antrópicos a los que se expone la población.**

Tipos de eventos que pueden producirse en el Municipio:

a) **Desastres naturales:**

Huracanes
Inundación
Sismos
Deslizamiento de suelos.

b) **Desastres tecnológicos:**

Accidentes químicos
Incendios urbanos e industriales
Derrumbes
Explosiones

Desastres naturales

Huracanes

Nuestro país en general, así como nuestra provincia pueden ser azotados por huracanes o intensas lluvias, fenómenos meteorológicos de frecuencia anual que son acompañados de vientos de magnitud variable, de potencia destructiva, así como lluvias o chubascos que pueden causar derrumbes de inmuebles, pérdida de cubiertas en construcciones perentorias, afectación del fluido eléctrico, caída de árboles y otros daños.

Con el paso del huracán Charly en el mes de Agosto del 2004, en el Municipio ocurrieron numerosos derrumbes parciales y totales. En recorridos realizados se pudieron constatar entre otros, dos de ellos en viviendas cuyos techos se desplomaron a punto de ocasionar lesiones a sus moradores, esto provocó que los escombros derivados fueran acumulados en la calle y aun permanecen obstruyendo la vía si ser recogidos por comunales.

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 destacándose los consejos Santo Suárez, Acosta y Tamarindo. 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.

Las pendientes más elevadas favorecen la ocurrencia del fenómeno, condicionando las direcciones principales de confluencia de la escorrentía superficial.

En el Municipio existe una red de alcantarillado en mal estado por su envejecimiento y falta de evacuación de los residuales, afrontándose la situación más crítica en el colector de Lawton. Por otra parte los 51 Km. de drenaje con 3558 tragantes resultan insuficientes para la evacuación de las aguas pluviales lo que hace que el Municipio cuente con 41 zonas de inundación.

Las zonas proclives a estas inundaciones están rodeadas por edificaciones generalmente de viviendas y del sector industrial como fábricas, que están en mal estado constructivo y que dificultan la evacuación. En el caso del Municipio se producen con mayor relevancia en su zona centro-oeste, siendo los Consejos mas afectados por esta problemática: Santos Suárez, Luyanó, Sevillano, Tamarindo, Vibora y Vista Alegre con algunas situaciones puntuales como la zona colindante a Vento y otros puntos específicos dentro del resto de los Consejos.

Zonas de inundación.

Luyanó

Vía Blanca desde Fábrica a 10 de Octubre
Concha desde Calzada de Luyanó a Vía Blanca
Calzada de Luyanó y Porvenir

Tamarindo

Zapote y Durege
Tamarindo e/ 10 de Octubre y Rabi
Rodríguez y Maboá
Santa Emilia y Serrano
10 de Octubre desde Vía Blanca hasta Rodríguez

San Benigno e/ Santos Suárez y Enamorado

Santos Suárez

General Lee de Mayía a Cortina
Vía Blanca y Vento
Santa Catalina y Saco
Juan Bruno Zayas y Milagros
Libertad y Cortina
Lacret y Cortina
Libertad y Juan Delgado

Acosta

Santa Catalina y San Anastasio
San Mariano y San Anastasio
Dolores y Lawtón
San Anastasio y Dolores
4ta y Lagueruela
1ra y Acosta

Vista Alegre

24 de Concepción a Lindero
Dolores y Ayala
16 y Santa Catalina a Este
17 de Dolores a A

Víbora

Vista Alegre y Vento
Aranguren y Goicuría
Aranguren y Mayía
Espadero y Mayía
Acosta y Final

Lawton

Tejar de 14 a 16
Pocito de 14 a 16
Fabrica de 14 a 16
Fabrica de Ferrocarril a D
Calle Orta y Río (zona colindante con el río)

Jesús del Monte

Reyes y Quiroga
Reyes y Tres Palacio
Quiroga y Blanquízal

Sevillano

Oeste y San Miguel

Ursula y Agustina

En recorrido realizado, se tuvo la oportunidad de visitar una de estas áreas de inundación en los alrededores de la calle Durege y Zapote del Consejo Tamarindo, donde en el 2000 y 2003 el agua subió a la inimaginable altura de 2 metros, llegando incluso (según testimonio de vecinos) a tapar la señalización vial ubicada en un poste eléctrico de esta esquina.

En este lugar se han hecho numerosas rejillas de descarga que no han resuelto la situación, debido a que al llover, toda el agua de escorrentía drena en esa dirección por ser la zona mas baja. Al analizar el mapa geomorfológico y de relieve se puede apreciar que por la zona central de los Consejos Tamarindo y Santo Suárez en lo fundamental, existe un paleo valle correspondiente a un antiguo río o arroyo que según los pobladores se llamaba Agua Dulce y dicho paleo valle ha sido totalmente urbanizado en la actualidad, impidiéndose el drenaje natural de las aguas de escorrentía las cuales no tienen otra alternativa que acumularse.

Sismos

La Ciudad de la Habana

La Ciudad de la Habana a pesar de estar situada en una zona de baja sismicidad y bajo peligro sísmico es una mega ciudad con una alta vulnerabilidad a las amenazas naturales en particular por el actual grado de deterioro de numerosos inmuebles. Se caracteriza por una tasa anual de ocurrencia de eventos muy baja.

En el Municipio Diez de Octubre, los principales escenarios de peligros corresponden al de un sismo local que generalmente produce aceleraciones grandes en la superficie del terreno afectando las construcciones rígidas con reducido número de plantas, esencialmente viviendas con más de ochenta años de construcción.

La vulnerabilidad del territorio ante los efectos de un sismo de moderada intensidad ($7 = 6-7$ grados MSK) es de alta a muy alta, con incidencia mayor en los Consejos Populares, Luyanó, Jesús de Monte, Tamarindo, Santos Suárez, Acosta, sobre todo las áreas aledañas a la Calzada de Diez de Octubre por ser estas construcciones las mas antiguas con casas que hace muchos años no reciben mantenimiento y cuyas estructuras y basamentos se encuentran deteriorados y además considerando los siguientes parámetros:

Más de 500 habitantes por manzana.

Criticidad de las edificaciones: mayor del 75 %.

Tipología constructiva: del tipo II y III hasta 3 plantas.

No obstante no haber ocurrido ninguna catástrofe de este tipo debe abordarse con el mayor interés este peligro potencial para el territorio y se debe realizar un estudio profundo al respecto en un futuro.

Deslizamientos de suelos.

Este peligro pudiera ocurrir en las laderas de mayor pendiente como la ladera Norte de la Loma del Burro más si se tiene en cuenta que en ella están realizándose actividades ilícitas de excavaciones que desequilibran la estabilidad de la ladera.

Desastres tecnológicos.

Derrumbes de edificios

Ocurre como resultado del estado de deterioro que presenta gran número de inmuebles de distinto uso, pero en particular de las viviendas, en los que ocurren con frecuencia derrumbes de distinto grado, con ruina total o parcial de este, la obstrucción de vías e incomunicación de los vecinos por la pérdida o daño de elementos de circulación vertical, situación extendida a la mayor parte del territorio.

En el territorio existen numerosos derrumbes que ocurren a diario, sobre todo en áreas aledañas a la Calzada de Diez de Octubre.

La mayoría de las edificaciones son viejas estructuras, que fueron diseñadas para un determinado uso y hoy se utilizan en otro, falta de mantenimiento en interiores y fachadas, construcciones con poca o ninguna solidez, remodelaciones sin criterios técnicos constructivos o arquitectónicos, entre otros, son los factores que conllevan al aumento de los derrumbes, todo esto unido al factor climatológico con la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos como son los ciclones y huracanes tropicales, sudes, tormentas eléctricas, tornados e intensas lluvias o sequías prolongadas, conllevan a la aceleración de los mecanismos destructivos y el deterioro de las construcciones.

Al ser estos riesgos de connotación nacional están contemplados en los planes de prevención y protección de la Defensa Civil Nacional y por ende en cada territorio.

Incendios Urbanos

Distintas causas pueden provocar incendios de menor o mayor envergadura por explosión o inflamación de combustibles almacenados, fallas en el circuito eléctrico o deficiente manipulación de productos, sustancias inflamables con la incidencia particular en:

Gasolineras
Depósitos de alcohol y kerosén
Tiendas
Laboratorios
Almacenes
Industrias

Estos eventos provocan en general afectaciones materiales a los inmuebles así como grandes pérdidas económicas al país.

En el Municipio no se han reportado afectaciones por esta causa.

Accidentes químicos

(Escape de productos tóxicos industriales)

En la mayoría de los Municipios existen objetivos con productos tóxicos industriales cuyo escape puede afectar a la población residente en el área de influencia en torno a la misma. Es obligación de las comisiones de Medio Ambiente velar porque tengan elaborados los planes de contingencia y contra catástrofes, validados estos por los organismos correspondientes.

La comisión de Medio Ambiente del Municipio, vela constantemente mediante las inspecciones, el estado de almacenes y depósitos de productos tóxicos, no habiéndose reportado ningún hecho de esta índole.

Peligro por contaminación de las aguas.

Los principales problemas ambientales asociados a las aguas superficiales, están dados por el nivel de contaminación de las mismas. La falta de conciencia ambiental, escasez de recursos y mal manejo

de los residuales sólidos y líquidos, constituyen factores decisivos en la calidad de las aguas de arroyos y ríos.

Para nadie resulta desconocida la cantidad de fábricas, industrias, talleres, viviendas, hospitales y otras numerosas dependencias que hoy día no cuentan con una adecuada disposición de sus residuos sólidos y líquidos, todo debido a una incorrecta gestión ambiental de la institución. Esta situación conlleva en el peor de los casos a que la mayoría de los residuos líquidos sean vertidos de forma directa y sin previo tratamiento a las redes de drenaje natural o lo que es peor, al acuífero.

En el Municipio Diez de Octubre, su río principal, afluentes y otros cursos menores están contaminados por innumerables centros que de forma inconsciente vierten sus residuales líquidos y sólidos sin ningún tratamiento así como por aguas residuales domesticas las cuales en su mayoría son descargadas de forma directa a las corrientes fluviales .

Otros problemas que se asocian son:

Fosas que desaguan en las zanjas y calles en general
Residuos sólidos urbanos arrojados a las zanjas.

Salideros en diferentes tramos de la red de distribución de agua potable a la población, lo cual puede provocar que el agua estancada (ya sea pluvial, albañal o de los mismos salideros) penetre en las tuberías de abastecimiento, provocando la contaminación de la tubería y por ende la del agua.

Escombros acumulados desde el paso del ciclón en Agosto que ya se han convertido en basureros que están produciendo lixiviados.

Peligros Biológicos.

En el Municipio Diez de Octubre las principales causas de peligros biológicos se vinculan a:

1. Existencia de micro vertederos 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.
2. Vertido de desechos industriales sin tratamiento a la red fluvial: Un número importante de fábricas, servicios y la población en general, hacen uso indiscriminado de los cursos fluviales para deshacerse de sus desechos líquidos y sólidos.
3. Deficiencias en la incineración de desechos tóxicos peligrosos y en el manejo de sus cenizas como ocurre por lo general en incineraciones abiertas en vertederos, esta es otra práctica que entraña riesgos para la salud por los volúmenes de gases tóxicos que se generan: CO₂, CO, N₂O, SO₂ y otros.
4. Inadecuado manejo de los desechos hospitalarios los cuales constituyen fuente de peligro biológico potencial por la naturaleza de las actividades que en ellos se realizan.

Medidas a implementar el Gobierno y las Direcciones Municipales.

1. **Relacionados con la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas y su aprovechamiento más racional.**

- Aplicar consecuentemente las disposiciones que en materia de protección ambiental están vigentes en la Ley N° 81 del Medio Ambiente, aprobada en Julio de 1997.
- Caracterizar en los plazos más cortos posibles los residuales líquidos que vierten los centros industriales, responsabilizando a los mismos con la realización de los análisis que se requieran.
- Exigir la construcción de las plantas de tratamiento de residuales u otras soluciones tecnológicas que puedan instrumentarse de manera que se garantice el correcto tratamiento y disposición de los residuales.
- En los centros que disponen de plantas de tratamiento, exigir y controlar el funcionamiento de las mismas, velando por la realización sistemática de controles químico - bacteriológicos en las tomas de entrada y salida de dichas plantas.
- Los Gobiernos Municipales deberán velar porque se efectúen con la sistematicidad necesaria los análisis químicos - bacteriológicos de todos los embalses que se encuentran en explotación, garantizando el uso más racional de estas aguas, con todas las garantías para las especies que habitan o se cultivan en estos entornos y en especial para la salud del hombre, principal consumidor de este recurso.
- Hacer un estudio de factibilidad económica acerca del completamiento del 100% de la red de alcantarillado; vinculando el mismo con la evaluación económica de los costos que implican la realización de pozos de infiltración, que actualmente se emplean ante la ausencia de redes de alcantarillado en algunos Consejos.
- Llevar a vías de hecho programas de Educación Ambiental con la población residente en las proximidades de los principales cursos fluviales del territorio.

2. Relacionados con el manejo y disposición de los residuos sólidos urbanos

- Recomendamos la realización de un estudio Geólogo- Geotécnico y ambiental para la selección de nuevas áreas que garanticen la correcta ubicación de los vertederos.
- Efectuar el relleno sanitario o tapado de la basura con la sistematicidad que establecen las normas técnicas para el tratamiento de los residuales sólidos urbanos (preferiblemente diario, o al menos en días alternos).
- Mejorar el servicio de recogida de basura al sector residencial, buscando alternativas, dentro de la difícil y problemática situación de carencias de equipos y parque automotor para estos fines.
- Impedir que se produzcan manipulaciones e incineraciones de basuras en áreas de vertederos y el vertimiento de desechos no autorizado por porteadores privados y estatales.
- Recomendamos la realización de un programa piloto de recolección clasificada de la basura, como primer paso, para el logro de un aprovechamiento más racional de los desechos urbanos.
- Mejorar la limpieza de las lagunas de oxidación para que estas cumplan con su función.

3. Relacionados con peligros naturales

- Recomendamos la realización de cartografías detalladas con técnicas geólogo-geofísicas para la predicción de eventos por procesos cársicos, deslizamientos, etc.
- En general debe evitarse el crecimiento urbanístico hacia las zonas antes mencionadas y en caso de ser muy necesario debe preverse la evaluación Ingeniero-geológica de las áreas en cuestión.
- Recomendamos la elaboración y ejecución de un proyecto de investigación dirigido a evaluar desde el punto de vista ingeniero - geológico e hidrogeológico las zonas afectadas por riesgos de inundación, de manera que puedan obtenerse como resultado del mismo, de forma casuística, las medidas correctivas que contribuyan a atenuar o eliminar el fenómeno.

4. Relacionados con los suelos y su uso potencial

- Para el logro de una agricultura sostenible en los municipios recomendamos:

Suelos muy productivos:

- Se recomienda al Gobierno Municipal, a la Dirección de Arquitectura y de la Agricultura que eviten que se siga extendiendo el desarrollo urbanístico sobre las áreas que ocupan estos suelos.
- Utilizar las áreas disponibles en cultivos de vegetales y hortalizas.

Suelos Productivos

- Se recomienda la utilización de los mismos en ciclos largos, impidiendo con ello dejar los suelos descubiertos durante periodos prolongados.
- Utilización de la tracción animal con el fin de frenar el proceso de compactación que se aprecia en los mismos, evitándose el empleo de maquinaria agrícola pesada.

Suelos improductivos

- Se recomienda no emplear con fines agrícolas
- En general para todos los suelos se recomienda la racionalización en el uso de los agroquímicos (herbicidas, fungicidas, e insecticidas), todos de efectos colaterales nocivos para la salud, los suelos, el aire y las aguas. Para el control de plagas y enfermedades recomendamos dar prioridad a la búsqueda de especies resistentes a las enfermedades y los parásitos.

5. Relacionados con los procesos erosivos

- Debe evitarse la aradura incorrecta y la roturación excesiva. Se recomienda siempre se roture contrario a las pendientes del terreno.
- Priorizar la realización de cultivos acorde con las propiedades agro productivas de cada suelo.
- Similarmente, deben aprovecharse algunos suelos con problemas perspectivas de erosión para la implantación de nuevas y vastas áreas forestales y/o frutales.

6. Relacionados con la contaminación del aire.

- Utilizar la metodología que se deriva del estudio realizado para señalar de forma cualitativa y preliminar descriptiva el estado de la calidad del aire en los territorios, para tratar de mitigar la deficiencia que existe en las redes de monitoreo del estado de la atmósfera ya que si bien debido a la situación de periodo especial, las fuentes de emisiones de contaminación atmosférica en el país habían decaído en un alto porcentaje, debemos considerar, que en los últimos años se ha estado produciendo una recuperación de la economía y con ella el incremento de las fuentes fijas y móviles de contaminación y de no darle el seguimiento requerido al estado de la calidad del aire en la actualidad, podrían presentarse problemas mayores, en el futuro.
- En el país se han venido confrontando problemas con la red de Monitoreo de la atmósfera, por tal motivo se propone el empleo de un modelo de cálculo (Bonito Lara 1992) de las concentraciones de monóxido de carbono en las vías de tránsito.
- Disminuir la contaminación atmosférica por la emisión de polvos y gases industriales con el empleo de filtros en las chimeneas de las industrias, así como calcular la altura adecuada de la misma para que tenga una menor influencia en los lugares poblados.

1. Relacionados con aspectos socio-culturales.

- Lograr se explote eficientemente la infraestructura cultural, potenciando que sus medios sean divulgadores de mejores hábitos y costumbres en la población.
- Contribuir a la educación ambiental de la población, explotando la infraestructura cultural de que dispone el territorio.
- Desarrollar proyectos comunitarios en barrios marginales.

8. Relacionadas con la salud de la población.

- Recomendamos a la Dirección Municipal de Salud la realización de investigaciones conjuntas con Instituciones Científicas a fin de profundizar en las causas del surgimiento de algunas enfermedades epidémicas, considerando la dimensión ambiental.
- Consideramos que de forma general todas las medidas correctivas del Plan de Medidas que se proponen contribuirán al logro de un mayor bienestar y calidad de vida de nuestra población.

9. Relacionados con el Paisaje Natural

- Distribuir adecuadamente las propagandas gráficas (vallas, carteles, señalizaciones y otros) de manera que armonicen con el entorno y sean estéticamente agradables.
- Restaurar los daños ocasionados al paisaje relacionados con la construcción de canteras las cuales una vez culminada su función deben de ser rellenadas y reforestadas para que no se conviertan en nuevos focos de contaminación.
- Prohibir la pequeña minería a cielo abierto y clandestina de extracción de material de construcción (recebo o coco)

10. Medidas relacionadas con la contaminación Sonora.

- Al preparar un nuevo proyecto constructivo debe estar incluido el ruido entre las variables ambientales a ser estudiadas, con un previo levantamiento cartográfico del ruido de fondo en el lugar, una estimación del ruido que será originado en cada fuente, y del nivel compuesto del ruido para un caso más crítico (es decir con todas las fuentes funcionando a la vez) Debe realizarse un análisis de las direcciones predominantes de los vientos, la topografía, la vegetación e identificación de puntos críticos o sea las áreas más habitadas aledañas al futuro centro y que serán las más afectadas.
- En localidades que existen grandes afectaciones por ruido se debe estudiar la posibilidad de mitigar este a partir del apantallamiento, el aislamiento, o la reducción del ruido de forma eficiente.
- Elaborar un plan de seguimiento en las mediciones de los niveles de ruido velando porque se observe el nivel establecido por las Normas y los Patrones Legales.
- Hacer un estudio de posibles medidas mitigadoras para focos contaminados que pudieran incluir soluciones ingenieriles, barreras protectoras, cambios en el trayecto de camiones y acciones ante la comunidad.
- Utilizar la información que se deriva de este informe para realizar un estudio cuantitativo a partir de mediciones "in situ" con el equipamiento adecuado.

CONCLUSIONES

1. El Municipio Diez de Octubre posee todos sus cursos de aguas superficiales contaminados, tanto por residuales líquidos domésticos e industriales así como por residuales sólidos.
2. Existe una pérdida importante del fondo agrícola por la fuerte urbanización que este presenta.
3. La ocurrencia de inundaciones tiene como principales causas: la realización de construcciones sin respetar el relieve ni el drenaje natural del territorio, edificándose muchas veces en los paleo valles de antiguos ríos, además de la insuficiente capacidad de evacuación de los tramos de zanjias, para regular las avenidas debido fundamentalmente a la colmatación del cause, obstrucción del curso del río por vertimiento de desechos sólidos, mal estado técnico de los conductos de drenaje por su falta de mantenimiento sistemático y factor de escurrimiento bajo, no acorde con el desarrollo actual de la urbanización.
4. Existe un serio deterioro de inmuebles, lo que provoca derrumbes tanto parciales como totales a diario.

BIBLIOGRAFIA

- Barceló Carlos. 1995" El ruido Urbano en Ciudad de La Habana.. Parte I. Fenómeno Físico. Serie Salud Ambiental. Saneamiento Ambiental. INHEM. Cuba
- Báscones M. Y Gallego E. (s/f): Problemática Geoambiental y desarrollo. Tomo I. V Reunión Nacional de Geología Ambiental y ordenamiento del territorio.
- Bonito Lara L. A. 1991 "Criterios para la prevención y vigilancia de la contaminación atmosférica Urbana."Tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias".Habana.
- 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.
- Instituto de Suelos 1999. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Editorial AGROINFOR
- Planificación Física 2004 Estado General de la Agricultura Urbana.
- Sanchez, S. M, Aguilar, U, et al 1992. Estudio Ambiental de Nicaragua.
- Valdés, M. G. Et al 2003. Diagnóstico Ambiental del Municipio Cerro. IGA. Inédito. Ciudad de La Habana. Cuba.

MAPA PRELIMINAR DEL ÍNDICE SENSIBILIDAD AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO MARIEL, EN LA FRANJA COSTERA NOROCCIDENTAL DE CUBA

Orlando H. Álvarez Hernández⁽¹⁾, Julio E. Gómez Herrera⁽¹⁾, Lourdes Miranda Góngora⁽¹⁾, Idelfonso R. Díaz Barrios⁽²⁾, Mario Guerra Oliva⁽³⁾

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo. Washington No. 169, esq. Churrucá. Cerro, C. de La Habana, Cuba.
E-mail: oral@ceinpet.cupet.cu

(2) GEOCUBA, IC. Calle 4 e/e 3ra. Y 3ra A, Miramar. C. 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.
ZIP 11 600, E-mail: puma@iga.cu

RESUMEN

Dentro de los aspectos a analizar en el contexto de la protección del Ambiente por la explotación off shore de la industria petrolífera, uno de los más importantes es el relacionado con los derrames de hidrocarburos, para lo cual han sido propuestos Índices de Sensibilidad Ambiental con el objetivo de asignar valores numéricos a la sensibilidad de una ribera ante un derrame de hidrocarburos, utilizando para ello las clases de ribera que comúnmente son encontradas en cualquier lugar del mundo. Los mapas del Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA) o mapas de Sensibilidad Ambiental (MSA) son un componente íntegro en casos de contingencia, planeamiento y valoración de derramamientos de los hidrocarburos. Ellos sirven como la primera fuente de información en caso de un derramamiento de hidrocarburos accidental. La zona objeto de estudio es la comprendida en la zona costera, desde la bahía del Mariel hasta la bahía de Cárdenas, la cual se estudiará por fases. En el presente trabajo se comenzó por la zona del municipio Mariel, lo cual permitirá elaborar la base metodológica necesaria para la realización de estos estudios en el resto de la zona y su posterior utilización en otras zonas del país. En el presente trabajo los autores se propusieron obtener información que permitieran la confección mapas preliminares del Índice de Sensibilidad Ambiental en zonas del municipio Mariel, en la costa noroccidental de Cuba. Se presenta un resumen de la información recopilada, así como los mapas preliminares de ISA.

ABSTRACT

Inside the aspects to analyze in the context of the protection of the Environment for the exploitation off shore of the oil industry, one of the most important is the related with the spills of hydrocarbons, and there have been proposed Indexes of Environmental Sensibility with the objective of assigning numeric values to the sensibility of a riverside before a spill of hydrocarbons, using for it the riverside classes that commonly are found in any place of the world. The maps of the Index of Environmental Sensibility (ISA) or maps of Environmental Sensibility (MSA) are an entire component in cases of contingency, planning and valuation of spills of the hydrocarbons. They serve as the first source of information in the event of an accidental spill of hydrocarbons. The area of study is in the coastal area, from the bay of the Mariel until the bay of Cárdenas, which will be studied by phases. In this work began with the area of the Mariel municipality, that will allow elaborating the necessary methodological base for the realization of these studies in the rest of the area and its later use in other areas of the country. In Presently work the authors intended to obtain information that allowed to making preliminary maps of the Index of Environmental Sensibility in areas of the Mariel municipality, in the north western coast of Cuba. A summary of the gathered information is presented, as well as the preliminary maps of ISA.

INTRODUCCIÓN

La problemática del medio ambiente y el logro de un desarrollo sostenible, constituyen un tema de constante vigencia en el ámbito internacional al que no siempre se recurre de la manera más adecuada. El uso incorrecto de los recursos naturales, sumado a los efectos de la dinámica

interactiva de los procesos físico-geográficos y socioeconómicos, conduce a modificaciones y transformaciones de la estructura de los diferentes elementos del medio ambiente, que caracterizan a un espacio geográfico (J.A.L. Machín, 2004). La sensibilidad del hábitat ante los derramamientos de petróleo es una función de varios factores, incluyendo (1) el grado de exposición a los procesos de remoción naturales, (2) la productividad biológica y habilidad de recuperarse ante la exposición al petróleo y aceites, (3) el uso humano del hábitat, y (4) la facilidad de remoción del petróleo y aceite (NOAA y API, 1994). Estos factores se usan para evaluar la sensibilidad global del hábitat natural al petróleo y aceite como parte del Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA). Siguiendo este acercamiento, diez o más tipos de ambientes se identifican, cada uno de los cuales tienen grados diferentes de sensibilidad al petróleo y aceite derramado y distintas recomendaciones para la respuesta de emergencia y la limpieza. El uso del Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA) es fundamental para los planes de contingencia ante derramamientos de petróleo y aceite. La información de sensibilidad ambiental puede parecer demasiado directa al principio; esta simplicidad, sin embargo, permite tomar las decisiones rápidas y eficaces en caso de un derramamiento de petróleo y/o aceite (Beisli, C.H., F. Pellon de Miranda, E. Campos Pedroso y L. Landau, 2003).

Los mapas del Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA) o mapas de Sensibilidad Ambiental (MSA) son un componente íntegro en casos de contingencia, planeamiento y valoración de derramamientos de los hidrocarburos. Ellos sirven como la primera fuente de información en caso de un derramamiento de hidrocarburos accidental. Los mapas de ISA contienen tres tipos de información: la clasificación de la línea de la costa (específicamente, sensibilidad a HIDROCARBUROS), uso de los recursos humanos, y los recursos biológicos. La elaboración y actualización de estos mapas, son tareas de gran importancia para la planificación de acciones a tomar, ante eventuales derrames de petróleo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona objeto de estudio es la comprendida en la zona costera, desde la bahía del Mariel hasta la bahía de Cárdenas, la cual se estudiará por fases. En el presente trabajo se comenzó por la zona del municipio Mariel (Figura 1), lo cual permitirá elaborar la base metodológica necesaria para la realización de estos estudios en el resto de la zona y su posterior utilización en otras zonas del país. Se utilizó el mapa digital de la República de Cuba a escala 1: 25 000 confeccionado por la Agencia de Cartografía Digital de GeoCuba La Habana (2005), se generó un mapa de la zona a escala 1: 25 000 que sirvió de base cartográfica general para el presente informe, el cual brinda la ubicación de las principales poblaciones, carreteras y caminos, tipos principales de vegetación, ríos, etc.

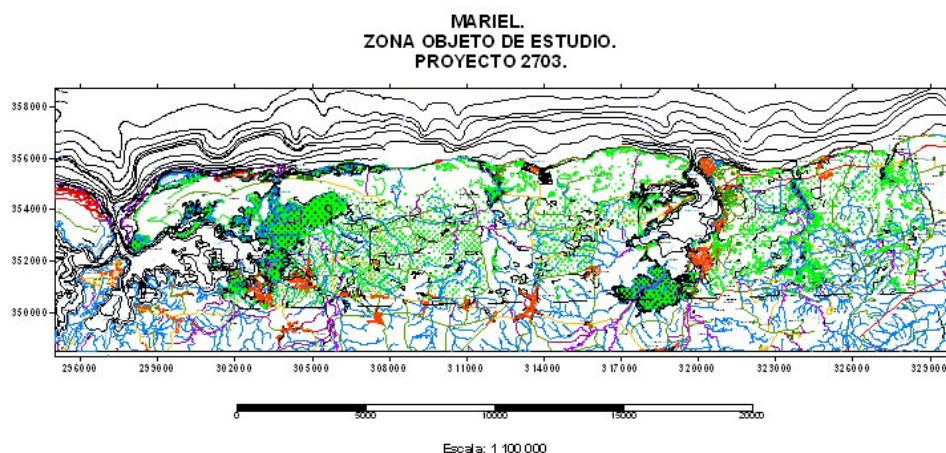


Fig. 1. Zona objeto de estudio.

Fuente: Confeccionado en el Ceinpet a partir de la información suministrada por GeoCuba La Habana.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el objetivo de responder a estas necesidades se utilizan informaciones obtenidas en estudios e investigaciones anteriores, así como información cartográfica incluida en mapas publicados o confeccionados para la organización por la Agencia de Cartografía Digital de la Empresa GeoCuba La Habana. De igual forma se realizó una solicitud a todas las empresas de CUPET a través de la Dirección Técnica a fin de poder incorporar las facilidades de la Unión a los mapas de Índice de Sensibilidad Ambiental que se generen, los cuales pueden ser incorporados al Sistema de Información Geográfica proyectado a medida que los mismos sean entregados para su digitalización.

Los suelos en la zona objeto de estudio son arcillas del tipo húmicos carbonáticos a partir de depósitos cuarcíticos (Mapa Suelos, ICGC, 1978).

En el mapa de suelos y vegetación de la figura 2, se observan los suelos de la zona costera del municipio Mariel, donde existe un predominio de calizas duras y calizas suaves con vegetación de manglar, alguna arenisca donde hay sembrados de caña de azúcar y un grupo de suelos clasificados como desconocidos, los cuales coinciden, en general, con zonas bajas donde predomina la vegetación de marismas costeras, manglares, etc.

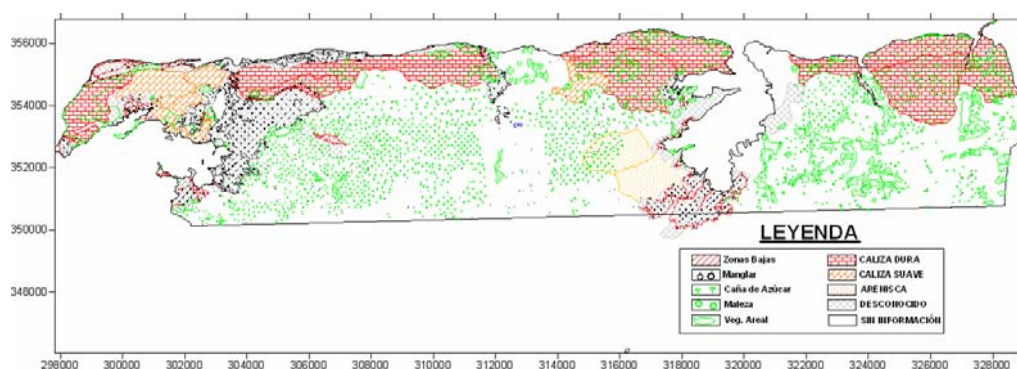


Fig. 2. Suelos y vegetación de la zona costera del municipio Mariel.

La vegetación en la zona costera está representada por herbazales ruderales y pratenses (*Panicum reptans*) con aislados arbustos secundarios (*Eugenia axillaris*) (Mapa Vegetación, ICGC, 1978).

En la figura 3 se muestran las zonas que en Cuba y los países más cercanos poseen arrecifes coralinos y vegetación de mangle. En la figura 4 se muestran las zonas con vegetación de mangle y costera en el municipio Mariel.



Fig. 3. Zonas de mangle y arrecifes coralinos en Cuba y países adyacentes.



Figura 4. Mapa de la distribución de los Manglares y vegetación costera en el municipio Mariel. (Álvarez, 2005)

Para la obtención de la figura 4, se utilizó la imagen Landsat TM[®] 16/44 del 11 de enero del 2000, la cual fue transformada de la proyección WGS 84 al Sistema de Coordenadas Lambert Norte para Cuba de la Proyección Cónica Conforme de Lambert mediante las facilidades brindadas por el Sistema ER Mapper 6.1, y se utilizó una máscara de la zona de estudio con el objetivo de limitar el tamaño de la imagen. Es de destacar la extensión de los bosques de mangle y vegetación costera en general, que en el municipio superan los 23 km², con una extensión de costa superior a 30.1 km, por lo cual, y debido a la alta sensibilidad ecológica que poseen estos ecosistemas, es necesario sean incluidos en los planes de contingencia ante derrames de hidrocarburos en el mar e incluso en tierra debido a que no es posible realizar labores de limpieza en estos ecosistemas pues el desastre que acarrearía la acción antrópica sobre los mismos sería, incluso, superior a los producidos por el derrame propiamente.

Se utiliza el Sistema de Coordenadas Lambert Norte para Cuba de la Proyección Cónica Conforme de Lambert. El área de estudio se enmarca entre las siguientes coordenadas planas. X : 295000 – 330000 ; Y : 348500 – 358700. Estas se corresponden con las coordenadas geodésicas siguientes:

LATITUD: 22° 57' 15.02" N y 23° 3' 0.34" N;
LONGITUD: 82° 39' 31.03" W y 82° 59' 55.60" W

El trabajo parte de la creación del Modelo Digital del Relieve y la Red de Drenaje, a partir de los cuales es posible aplicar un complejo de métodos morfométricos y geomorfológicos. Para estos fines se emplearon varios sistemas automatizados reconocidos en esta esfera tales como el Surfer 8.0, Mapinfo 5.0, ER Mapper 6.1, ENVI 4.1 y el Sistema TN Studio 3.0.

Se obtuvo el Modelo Digital del Terreno (DEM;), adicionándole la Red de Drenaje Superficial y la información cartográfica general (Figura 5), lo cual ha servido de base para la interpretación de las características esenciales de la costa, aspecto de vital importancia para la definición del tipo de Índice de Sensibilidad Ambiental en las zonas costeras. Teniendo como base el DEM se pudieron trabajar varios mapas morfológicos y morfométricos, tales como los mapas de pendientes (Figura 6) y los mapas de relieve sombreado (Fig. 7), que contribuyen a definir el ISA en el primer caso y a determinar zonas elevadas en la costa en el segundo caso.

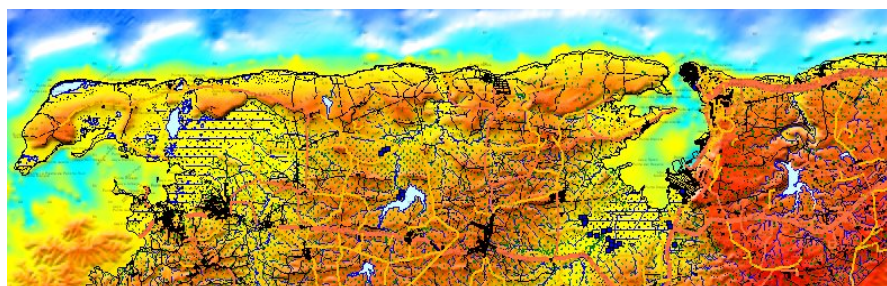


Fig. 5. Modelo Digital del Terreno obtenido con el software Mapinfo 5.0 con la información cartográfica superpuesta.

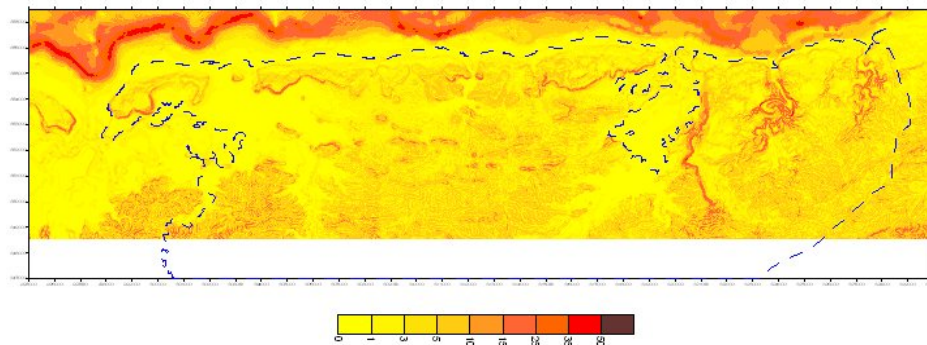


Fig. 6. Mapa de pendientes obtenido con el Surfer 8.0.

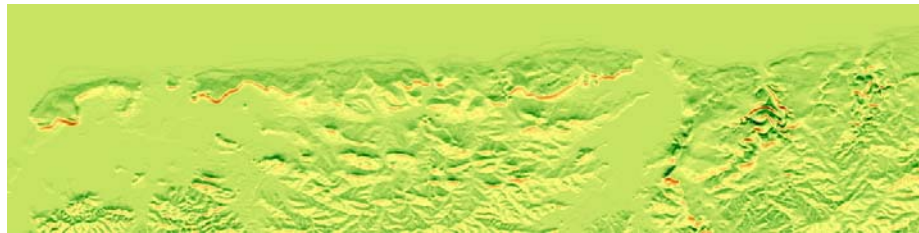


Fig. 7. Mapa de sombras desde la dirección Norte confeccionado en el software Idrisi Kilimanjaro.

En las Figuras 7a, 7b se muestran algunos de los resultados de todos los parámetros (sensores remotos, cartografía y análisis geomorfológico), donde se pueden interpretar las diferentes categorías de los Índices de Sensibilidad Ambiental en la zona de estudio.

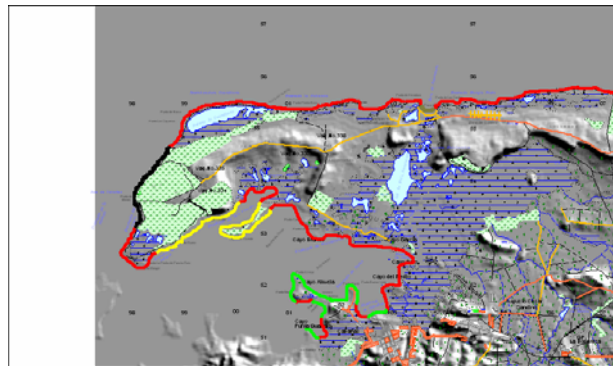


Fig. 7a. Caracterización preliminar de los ISA en la zona Oeste del Municipio Mariel.

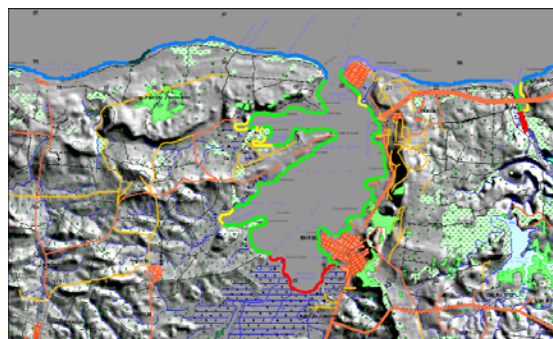


Fig. 7b. Caracterización preliminar de los ISA en la zona de la bahía del Mariel.

En la leyenda correspondiente a las figuras 7a y 7b, los valores corresponden al Índice de Sensibilidad Ambiental.



Leyenda correspondiente a los tipos de Índice de Sensibilidad Ambiental

CONCLUSIONES

- 1.- Se obtuvo la información fundamental para la confección de los Mapas del Índice de Sensibilidad Ambiental por derrames de hidrocarburos en zonas costeras del municipio Mariel en la provincia La Habana.
- 2.- Se obtuvieron los Modelos Numéricos de Terreno, los Mapas de Pendientes y se caracterizó la zona costera desde el punto de vista Geomorfológico-Paisajístico, así como se obtuvieron parámetros para la energía de las olas en zonas costeras del municipio Mariel.
- 3.- Se realizó una caracterización preliminar de los Índices de Sensibilidad Ambiental en el municipio Mariel teniendo en cuenta los aspectos anteriores, así como los resultados del procesamiento digital de imágenes de satélite, corroborándose y rectificando en el terreno algunos valores de ISA asignados a los distintos tramos costeros.

BIBLIOGRAFÍA

- Beisli, C.H., F. Pellon de Miranda, E. Campos Pedroso y L. Landau (2003): "Generation of oil sensitivity index information in western amazonia, brazil, using dual season sar image mosaics of the global rain forest mapping project.". Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, p. 823-830.
- Geocuba La Habana (2005): Mapas digitales 1 : 25000 de Cabañas, La Boca, Mariel, Mujica y Playa Herradura.
- ICGC (1978): Mapa Suelos,
- ICGC (1978): Mapa Vegetación,
- Machín, J.A.L. (2005): "Estudio del relieve para la gestión ambiental, con el uso de sistemas de información geográficos (SIG)". Revista Internacional de Ciencias de la Tierra MAPPING Interactivo.
- NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration) and API (American Petroleum Institute) (1994): "Options for minimizing environmental impacts of freshwater spill response", 135

IMPACTOS AMBIENTALES PREVISIBLES DEL TRASVASE ESTE-OESTE

Hugo Ivonnet Borrero⁽¹⁾ , Elaine Julia Pino Santiesteban.⁽²⁾

(1) *Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Holguín (RAUDAL), Carretera Central Vía Bayamo Km 2 ½, Holguín.*

(2) *Empresa Militar de Proyectos e Investigaciones, Carretera Central Vía Bayamo Km 2 ½, Holguín.*

RESUMEN.

El trabajo expone algunos aspectos acerca de la problemática surgida a raíz de la decisión del Gobierno Cubano de acometer la mayor obra hidráulica concebida en Cuba hasta la fecha: el Trasvase Este-Oeste, el cuál está destinado a conducir el excedente de agua existente en la parte oriental de la Provincia de Holguín hacia las secas regiones situadas más hacia el Oeste de dicha provincia, así como también hasta la Provincia de Las Tunas y probablemente hasta Camaguey.

Esta obra constituye un reto desde el punto de vista hidráulico, constructivo, de proceso inversionista y logístico, ya que existe el financiamiento aprobado para hacerla realidad en un breve plazo. Pero también nos enfrenta a otros problemas de estos tiempos: ¿Cómo compatibilizar ambientalmente esta gigantesca intervención humana sobre el medio ambiente natural y socioeconómico de regiones completas? ¿Cómo convertirla en una obra sostenible? ¿Cómo abordar los estudios ambientales imprescindibles para este complejo Proyecto? ¿Cómo llevar adelante el Proceso de Evaluación del Impacto Ambiental simultaneando los estudios ambientales, el diseño y la construcción, dado el breve plazo previsto para materializar su ejecución? ¿Cómo explotar la Obra Hidráulica, minimizando las amenazas naturales y antrópicas propias de tan vulnerable sistema?

Los Autores exponen algunas ideas sobre cómo dar respuesta a las interrogantes planteadas. De manera particular se exponen los impactos ambientales negativos que pueden derivarse de la construcción y explotación de los distintos tipos de obras hidráulicas que componen el Trasvase (Presas, Túneles y Canales), así como la forma de abordar su caracterización, valoración y evaluación; al igual que la necesidad de establecer un riguroso monitoreo ambiental que permita conocer oportunamente la evolución de tales impactos y adoptar tempranamente las medidas correctoras que reduzcan los efectos ambientales negativos al entorno.

INTRODUCCIÓN.

A fines del 2004 fueron tomadas trascendentales decisiones por parte del Gobierno Cubano en relación con el Desarrollo Hidráulico del País y en especial de las Provincias Orientales, para paliar por el momento y eliminar a largo plazo los efectos de la prolongada sequía que sufre ese territorio. Se decidió movilizar los recursos necesarios (financieros, materiales y humanos) para en un brevísimo plazo (no más de 5 años) construir el Trasvase Este-Oeste, de manera que alrededor del año 2010 se termine definitivamente con el desabastecimiento de agua que se ha convertido en un verdadero desastre por la extensión de sus efectos sobre varias provincias del país, la afectación a la Economía Nacional en decenas de millones de pesos y el deterioro de la Calidad de Vida de cientos de miles de personas.

No hay posibilidad alguna de alcanzar el Desarrollo Sostenible de las Provincias Orientales si no se resuelve la endémica escasez de agua que padece esta extensa región. Por eso afirmamos que **el Trasvase Este-Oeste es el obligatorio camino hacia la sostenibilidad del Oriente Cubano**. Ahora bien, el trasvase como Proyecto en sí también tiene que alcanzar su propia sostenibilidad.

El Trasvase Este-Oeste no es más que el proyecto de conducción, por medio de la construcción de un conjunto de Presas, Túneles y Canales, del agua excedente en el extremo oriental de la Provincia

de Holguín hacia la parte Oeste de la misma, continuando luego hacia la Provincia de Las Tunas y con posibilidades futuras de llevarlas incluso hasta la Provincia de Camaguey.

Para llevar a vías de hecho tamaño proyecto hay numerosas instituciones participando, entre las que se destacan: el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, el MICONS, la Unión de Construcciones Militares, Geocuba, el CITMA, etc, con las entidades y organizaciones de los territorios implicados.

El inicio de los trabajos se produjo de manera inmediata a las decisiones, prácticamente sin esperar por las asignaciones de los recursos necesarios para las inversiones, que irán llegando sobre la marcha. El propósito es darle valor de uso a la Primera Etapa del Tránsito a fines del año 2007.

Consideramos un deber ineludible el de alertar a tiempo a las autoridades, inversionistas, proyectistas, constructores y demás personas que deben tomar decisiones respecto a este Proyecto acerca de las variadas y complejas implicaciones ambientales que se derivan de una obra como esta. Entonces se puede **plantear como problema** el siguiente: ¿Cómo compatibilizar ambientalmente esta gigantesca intervención humana sobre el medio ambiente natural y socioeconómico de regiones completas?

Es por eso que esta investigación persigue los siguientes objetivos:

Objetivos del Trabajo.

1. Identificar algunos de los impactos previsibles de ocurrencia debido a la realización del Tránsito Este-Oeste.
2. Expresar algunas ideas acerca de la forma de llevar a cabo el Proceso de EIA en una obra de este tipo.
3. Establecer algunos de los Indicadores de Sostenibilidad para el Seguimiento de la Situación Ambiental en los territorios afectados por el Tránsito.
4. Esbozar algunas de las medidas correctoras que pudieran aplicarse para la mitigación de los efectos ambientales provocados por el Tránsito durante su construcción y explotación.

CAP I: ANTECEDENTES.

Las provincias orientales de Cuba han estado sometidas a un período de intensa sequía cuyos efectos se hicieron muy evidentes durante los años 2004 y 2005, con grandes afectaciones económicas y sociales para las provincias de Holguín, Las Tunas y Camaguey. Sin embargo, la mayoría de la población del país desconoce en su real magnitud las severas afectaciones que están sufriendo las provincias orientales en su desarrollo socio-económico debido a la sequía que se prolonga ya desde hace varios años, como producto de un gradual cambio climático, que ha reducido en más del 50 % el acumulado anual de lluvias respecto a la media histórica de la región.

Unas provincias se vieron más afectadas que otras, pero en general todas estuvieron prácticamente al borde de una situación de desastre por esta causa. En los últimos tiempos se ha declarado eventualmente la emergencia en algunas provincias por intensa sequía y el gobierno ha tomado medidas para centralmente apoyar financieramente y con otros recursos a los territorios más afectados, debido a que ya los efectos estuvieron incidiendo de manera directa sobre la población, pero en realidad los efectos sobre el medio ambiente vienen siendo considerables desde hace años.

Encima del déficit de lluvia acumulado en los últimos años tenemos que el año 2004 resultó ser el más seco de los últimos 50 años y el 2005 arrancó en sus primeros meses por el estilo, lo que condujo a una situación extremadamente difícil, impidiendo que se extendiera el pánico entre la población el hecho de que existe absoluta confianza en que por parte del Gobierno se tomarían las medidas necesarias para enfrentar resueltamente los problemas, como así ha sido y gobierno y pueblo logrado evitar que se llegara a producir un verdadero desastre, movilizandolos recursos y poniendo en tensión las fuerzas, para con organización y tesón trabajar día a día, en algunos casos

SEGUNDA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS '2007.

Memorias en CD-Rom, La Habana, 20-23 de Marzo de 2007

durante casi dos años, en el abasto a la población, la protección del ganado, el aseguramiento del mínimo indispensable a los cultivos fundamentales para la alimentación de la población. Ha prevalecido la solidaridad con los más desprotegidos y vulnerables.

Contrariamente a lo que ocurre en la parte Oeste de Oriente, hacia el Este de la Provincia Holguín se mantiene el régimen de las precipitaciones acorde con la media histórica e incluso en ocasiones se producen intensas lluvias que provocan grandes inundaciones en particular sobre las ciudades de Sagua de Tánamo y Mayarí, que han amenazado incluso su propia existencia, causando cuantiosas pérdidas a la economía estatal y también en los bienes de la población, no produciéndose también numerosas pérdidas de vidas humanas debido a las oportunas evacuaciones que se han llevado a cabo como parte de las medidas de defensa civil. Esto hace que también se hayan tomado decisiones por parte de la Dirección del país sobre la necesidad de poner término a la vulnerabilidad que presentan estas dos ciudades ante el peligro de inundaciones. El Trasvase Este-Oeste también contribuirá a lograr este importante propósito.

En la década de los 90 se iniciaron los trabajos para llevar a vías de hecho el Trasvase Este-Oeste en el Tramo Melones-Sabanilla, debiéndose paralizarse los mismos debido a la aguda contracción económica que sufrió el país a causa de la desaparición de la Unión Soviética y el Campo Socialista. En ese entonces se efectuaron gran parte de las investigaciones, una parte del diseño y se comenzaron a construir la Presa Melones y algunos tramos de túneles. Algunos de los trabajos ejecutados en dicha época se perdieron producto de las avenidas que se produjeron en el Río Mayarí y otros son susceptibles de recuperarse con trabajos adicionales. Precisamente los primeros esfuerzos en esta etapa se han encaminado a la actualización de la topografía y el diseño, bajo la óptica y conceptos contemporáneos (no en balde han transcurrido más de 10 años de impetuoso desarrollo tecnológico) para la terminación de la Presa Melones y los túneles que se habían paralizado. Se revisarán también todos los diseños e investigaciones que se habían hecho en aquella época, pues han cambiado normas, métodos y se han incrementado notablemente las posibilidades de la computación tanto en hardware como en software. Hay que tener en cuenta también la dimensión ambiental que se introduce ahora con mucha fuerza y apoyada por la legislación ambiental, prácticamente inexistente en los años 90.

CAP II: IMPACTOS PREVISIBLES DEL TRASVASE ESTE-OESTE.

En la actualidad, generalmente se conocen los impactos que casi siempre están presentes durante la construcción y explotación de los diferentes tipos de proyectos, en este caso, de las obras hidráulicas e inducidas del Trasvase Este-Oeste. Lo que varía en amplios rangos son las características y magnitudes de estos impactos, según sea la mayor o menor envergadura de las obras y la mayor o menor fragilidad del medio receptor. La interacción Proyecto-Entorno puede pronosticarse e incluso modelarse, pero el grado de precisión que se alcanzará en tal empeño dependerá en gran medida de la calidad con que se realice el Proceso de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA), que no es más que el conjunto de requisitos, pasos y etapas de un análisis ambiental preventivo.

Según la legislación ambiental (Resolución 77/99), **Evaluación de Impacto Ambiental**, es el procedimiento que tiene por objeto evitar o mitigar la generación de efectos ambientales indeseables, que serían la consecuencia de planes, programas o proyectos de obras o actividades, mediante la estimación previa de las modificaciones del Medio Ambiente que traerían consigo tales obras o actividades y, según proceda, la denegación de la licencia necesaria para realizarlos o su concesión bajo ciertas condiciones. Incluye una información detallada sobre el sistema de monitoreo y control para asegurar su cumplimiento y las medidas de mitigación que deben ser consideradas.

Las partes esenciales de este proceso son:

- Elaboración del Proyecto.
- Realización del Estudio de Impacto Ambiental (EslA).
- Consulta a las instituciones y organismos de la Administración interesados.

- Participación pública posterior a la publicación del Estudio de Impacto Ambiental.
- Incorporación de los resultados del Estudio de Impacto Ambiental y de las aportaciones del público en la toma de decisiones para autorizar el Proyecto.
- Declaración de Impacto Ambiental.
- Licencia Ambiental.

La Evaluación de Impacto Ambiental es un instrumento para la prevención pues se aplica a obras, instalaciones o actividades, planes y programas sectoriales previo a su aprobación y ejecución. Es muy dudosa la utilidad de las EIA cuando ya los proyectos están ejecutándose o las instalaciones en marcha.

Tendrá los objetivos siguientes:

1. Asegurar que los problemas potenciales a ocasionar al medio ambiente, sean debidamente previstos e identificados en una etapa temprana del diseño y planificación del proyecto, presentando opciones para la toma de decisiones;
2. Examinar en qué forma el proyecto puede causar daños a la población, a las comunidades, a otros proyectos de desarrollo social y al medio ambiente en general;
3. Identificar las medidas para prevenir, mitigar, controlar, rehabilitar y compensar los posibles impactos negativos y realzar los posibles impactos positivos, según proceda, estableciendo las vías para mejorar la conformación del proyecto de obra o actividad; y
4. Propiciar la evaluación y valoración económica de los efectos ambientales previstos y el costo de su reducción.

La Declaración de Impacto Ambiental es el informe que emite el organismo responsable del medio ambiente en base al EslA, a la participación pública, la consulta institucional y a sus propios estudios.

La Licencia Ambiental es el documento oficial que, sin perjuicio de otras licencias, contiene la autorización que permite acometer la realización de una obra o proyecto, en la cuál se establecen los requisitos y condiciones bajo los cuales se otorga, así como el período para el cual es válida.

Por su envergadura y/o complejidad, hay proyectos que requieren obligatoriamente de un Estudio de Impacto Ambiental previo al otorgamiento de la licencia ambiental, entre los que se incluyen las Obras Hidráulicas (presas o embalses, canales de riego, acueductos, y obras de drenaje, dragado, u otras obras que impliquen la desecación o alteración significativa de cursos de agua).

Los resultados cualitativos del Proceso de EIA van a depender, entre otros, de los siguientes factores:

1. Grado de exigencia de la Autoridad Responsable (Centro de Inspección y Control Ambiental de la Agencia de Medio Ambiente y el Delegado Provincial, o la persona en quien este delegue en cada territorio. para que se cumplan los distintos pasos establecidos en la Legislación Ambiental).
2. Experiencia del o de los equipos multidisciplinarios que realicen los Estudios de Impacto Ambiental en la temática específica que aborden.
3. Integralidad del análisis que se lleve a cabo del Trasvase Este-Oeste en su conjunto como Sistema.
4. Profundidad con que se estudien las posibles sinergias derivadas de la construcción y explotación de este complejo sistema.
5. Tiempo que se dedique al estudio de las diferentes variables a considerar.
6. Calidad del monitoreo que se establezca para dar seguimiento al comportamiento de los distintos indicadores ambientales fijados con el fin de conocer la evolución ambiental de los territorios abarcados por el Proyecto.
7. Financiamiento que se dedique para asumir el Costo Ambiental del Proyecto.

8. Coordinación que se establezca entre los ambientalistas, el Inversionista, el Proyectista y el Constructor para poder ir venciendo las distintas etapas con un amplio flujo de información y la cooperación consciente entre las partes, para el logro de un proyecto ambientalmente compatible y económicamente viable.

Este es un Proyecto que se acomete con sentido de urgencia, interiorizado por parte de todas las partes involucradas en el mismo, incluidos los expertos en materia ambiental. Desde el inicio ha quedado definido, por parte de las máximas autoridades, lo inevitable que es su ejecución, dada la imperiosa necesidad desde el punto de vista social y económico de que se lleve a cabo en el menor plazo posible. Es decir, la viabilidad del Proyecto no es objeto de discusión, independientemente del impacto ambiental que provoque. A la vez, se ha pedido al CITMA que se realicen los estudios necesarios y se tomen las medidas pertinentes con el fin de mitigar los impactos ambientales negativos que del mismo se deriven.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, el Proceso de EIA necesariamente tendrá que llevarse a cabo de manera flexible y dinámica. Primeramente la Solicitud de Licencia Ambiental se realizará en un momento donde todavía no están definidos muchos aspectos de la Solución General del Proyecto, ni tampoco están concedidas las Microlocalizaciones, las cuáles se puntualizan todavía en el terreno por parte de los Organismos de Consulta e incluso aún se producen cambios de trazado y del carácter de algunos objetos (por ejemplo: se eliminan presas, hay tramos que pasan de túnel a canal y viceversa). Sobre la marcha se van tomando decisiones y se va precisando el Proyecto a medida que avanza el grado de estudio. Es seguro también que obligatoriamente la concesión de la Licencia Ambiental se condicionará a la realización del Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) y al cumplimiento de las Medidas Correctoras emanadas de éste. Por tales razones hay que comenzar los EsIA de los distintos Objetos de Obra sin tener todos los detalles del Proyecto para ir ganando tiempo e ir iniciando el monitoreo de los distintos factores ambientales para acumular datos estadísticos previos al inminente inicio de las construcciones. Se hace necesaria la creación de varios equipos multidisciplinarios que trabajen simultáneamente pero atendiendo los distintos tipos de obras (hidráulicas e inducidas), por ejemplo, un Equipo para los EsIA de las Presas, otro para los túneles, otro para los Canales y otro para las Obras Inducidas (viales y accesos, campamentos, viviendas). Lógicamente debe haber un equipo, dirigido por el Especialista Principal de todo el EsIA, que se encargue de conciliar de manera integral y por territorios todo lo que se va haciendo, coordine entre los diferentes equipos y se encargue de la redacción final del Informe. Se propone esta división temática ya que los Proyectistas están organizados de esta forma y ello permitirá una mejor interacción con ellos durante todo el proceso de diseño-construcción. Además la especialización por tipos de obra permitirá evaluar de manera uniforme los mismos objetos (todas las presas, todos los canales, todas las Estaciones de Bombeos, etc); aparte de que facilita al Equipo la identificación y valoración de impactos, así como la propuesta de medidas correctoras y del monitoreo, ya que serán repetitivas y pueden incluso agruparse en el Informe.

Por no estar todavía definidos los proyectos deben efectuarse los EsIA, primero como un Informe Ambiental Preliminar y más tarde se puede entregar el Informe del Estudio de Impacto Ambiental. En el Informe Ambiental Preliminar se hará mayor énfasis en la Línea Base Ambiental, es decir, acopiar la mayor información en el Estado Cero (o sin Proyecto) de todas las características del Entorno Natural y Socio-Económico, que permita evaluar el estado de la Calidad Ambiental y fijar los Indicadores de Partida de las distintas variables que caracterizarán a los Factores Ambientales presentes a lo largo del trazado. También en esta Etapa se procederá a la Identificación de todos los Impactos Previsibles Positivos y Negativos, valorándolos sólo de forma cualitativa, de manera preliminar pues sólo se cuenta con informaciones tentativas del Proyecto que aún pueden sufrir modificaciones significativas. Con la información anterior se podrá guiar a los Proyectistas e Inversionistas para la toma de decisiones respecto a variantes o alternativas de proyecto antes de entrar en la Etapa de Ingeniería de Detalle.

Cuando se tenga mayor precisión de las características de diseño se elaborará el Informe del EsIA para las Etapas de Construcción y Explotación, el cuál ya contará con una valoración cuantitativa de los Impactos Ambientales (Negativos y Positivos) y se propondrán las Medidas Correctoras pertinentes en cada caso. En esta Etapa se definirá también el Costo Ambiental del Proyecto para que se incorpore al Presupuesto General del mismo. También se definirá el Sistema de Monitoreo que se dejará montado para la Construcción y Explotación de la Obra. Estos elementos de salida del EsIA son los que se tendrán en cuenta como condicionantes para la expedición de la Licencia Ambiental por la Autoridad Responsable.

Este Informe del EsIA se utilizará para efectuar los ajustes necesarios al Proyecto de Ingeniería de Detalle (PID) y durante la Construcción y Explotación de las Obras será un instrumento de gestión ambiental y una herramienta muy útil para el trabajo conjunto Proyectista- Constructor-Inversionista-Usuario con el Equipo Ambiental de manera de que según sea la evolución ambiental se podrán hacer correcciones en caso de desviaciones significativas de lo pronosticado.

Impactos negativos de las Presas, Túneles y Canales.

Presas.

Las presas causarán grandes cambios y desequilibrios en el ecosistema natural de las áreas de emplazamiento aguas arriba y abajo del cierre de las mismas. En la Primera Etapa sin lugar a dudas los mayores impactos negativos vienen aparejados a la construcción y explotación de la Presa Melones, que embalsará más de 430 millones de metros cúbicos de agua, con una cortina de 84 metros de altura y un espejo de agua de varios kilómetros cuadrados. Entre los principales están:

- Impacto de ocupación significativo por la extensa área que ocupa el vaso de la presa, así como su franja hidrorreguladora.
- Cambio de uso del terreno, consecuencia directa del anterior, que afecta cultivos agrícolas, áreas forestales y producciones pecuarias tradicionales.
- Afecta numerosas viviendas y a sus pobladores que deberán marcharse hacia otros lugares, cambiando su modo de vivir y de trabajar, sus costumbres y relaciones socio-culturales.
- Sensibles cambios en los ecosistemas situados aguas abajo, particularmente en la Bahía de Nipe debido a la regulación del caudaloso Río Mayarí, principal suministrador de agua dulce a dicha bahía, por lo que cambiarán las condiciones de salinidad de las aguas de la misma.
- Gran afectación al extenso humedal situado cerca de la desembocadura del Río Mayarí dentro de la Bahía de Nipe, un ecosistema muy frágil y de gran importancia ecológica debido al gran número de especies de flora y fauna que habitan allí. Las variaciones en la cantidad de agua dulce y por ende de la salinidad en dicha área (donde se mezclan el agua dulce y salada) así como la falta de los nutrientes provenientes de las avenidas del río provocarán agudos cambios en el hábitat y cadena alimentaria con consecuencias impredecibles para el futuro.
- Dentro de los humedales de la Bahía de Nipe hay Manglares que en sí constituyen importantísimos ecosistemas cuyo deterioro puede producir a corto o largo plazo importantes cambios ecológicos, en muchos casos irreversibles, por lo que requieren especial atención. El bosque de mangles por su versatilidad funcional, ostenta cuatro importantes funciones: Protector del Litoral; Protector de aguas y suelos; Productor y como Área de Protección y conservación de la Fauna Silvestre.
- Afectaciones a especies de la fauna acuática de la Bahía de Nipe que causarán merma en los volúmenes de poblaciones de peces y por ende de la producción pesquera que ha sido sostén tradicional para muchas familias de pobladores asentados en los alrededores de la misma.
- Afectaciones a usuarios aguas abajo de la Presa que durante mucho tiempo han empleado las aguas del río para el riego de sus campos y para la actividad pecuaria.

- Incremento de la salinización de suelos que ya en estos momentos se encuentran afectados por la sequía que padece el territorio. Baste decir que en tiempos de estiaje, sin estar todavía construida la presa, se ha incrementado notablemente la salinización del agua en muestras tomadas alrededor de 4 Km aguas arriba de la desembocadura. Este incremento repercute en los suelos aledaños al río y a la costa en general, debido a la intrusión salina.
- Incremento de los índices de contaminación de la Bahía de Nipe al disminuir el caudal de agua limpia que llega y sin embargo continuar produciéndose los vertidos a ella de la carga contaminante proveniente de industrias y poblados aledaños a la misma.
- Sensibles cambios en la dinámica de las aguas superficiales y subterráneas.
- Pérdida de sitios arqueológicos de inestimable valor.
- Cambios en la composición físico-química de las aguas superficiales y subterráneas.
- Cambios radicales en el paisaje natural del territorio.
- Efecto barrera significativo para las personas y los animales. Se afectarán incluso muchos viales actuales que serán interrumpidos por las aguas debiendo entonces los usuarios desviarse grandemente de sus recorridos habituales. Esto implicará en muchos casos la construcción de puentes pero en otros casos será imposible hacerlo.

Hay peligros y riesgos asociados a tales construcciones principalmente si se tiene en cuenta la complejidad tectónica de la región, con comprobados movimientos neotectónicos y fallas activas que pudieran poner en peligro en un momento dado la estabilidad de los diques de las obras hidráulicas y causar grandes daños aguas abajo de los mismos en caso de su rotura.

Grandes volúmenes de aguas embalsadas, en zonas de esta complejidad geológica pueden activar fallas o provocar movimientos de fallas activas que generen movimientos sísmicos de varios grados.

Estas son cuestiones que requieren de detallados estudios de microregionalización sísmica y de evaluación de riesgos.

Túneles.

Los túneles también provocan impactos negativos durante su construcción y explotación, entre los que están:

- Pérdida en la estabilidad de los macizos, causando derrumbes y deslizamientos que pueden llegar a ser considerables.
- Peligro para la salud e incluso la vida de los constructores.
- Cambios en la morfología del terreno producto del laboreo, principalmente en la zona de los portales.
- Creación de grandes escombreras que afectan al paisaje natural.
- Afectaciones a la flora y fauna durante el proceso constructivo.
- Afectaciones a la calidad del aire debido a las emanaciones provenientes de los equipos de construcción.
- Contaminación sónica.
- Cambios en la circulación de las aguas subterráneas.
- Estrés en personas y animales.

Canales.

Entre los impactos negativos más considerables que provoca la construcción y explotación de canales están:

- Efecto barrera para especies de animales y plantas, así como para el propio hombre.

- Requiere de la construcción de puentes y obras de fábricas para mantener el tránsito en los lugares de más importancia.
- Produce cambios considerables en la composición física y química de las aguas en las áreas receptoras del agua trasvasada.
- Cambios ecológicos profundos por transformaciones en el hábitat tanto en los lugares de origen como de destino de las aguas.
- Cambios en los niveles de las aguas subterráneas.
- Puede provocar salinización de los suelos si no se tiene un control efectivo de la calidad del agua que se traslada.
- Provoca empantanamientos en determinadas áreas.
- Son fuente de vectores dañinos a la salud humana.
- Cambios en el paisaje natural y en la morfología del terreno.

CONCLUSIONES.

1. Las provincias orientales se encuentran actualmente en situación de emergencia debido a la intensa sequía que sufre este territorio desde hace varios años.
2. No hay posibilidad alguna de alcanzar el Desarrollo Sostenible de las Provincias Orientales si no se resuelve definitivamente el problema de la escasez de agua en esta región. En las condiciones actuales la solución más factible es el Trasvase Este-Oeste.
3. El Trasvase Este-Oeste debe a su vez construirse y explotarse de manera ambientalmente compatible, mediante un flexible y dinámico proceso de Evaluación del Impacto Ambiental que transcurrirá en un brevísimo plazo durante el cuál se solapan y simultanean las etapas de diseño, construcción y explotación del mayor sistema hidráulico del país.

RECOMENDACIONES.

1. Profundizar en las afectaciones al Desarrollo Sostenible de las Provincias Orientales provocado por la sequía, así como en el estudio de las causas que han dado lugar a la misma y en la búsqueda de soluciones a corto, mediano y largo plazo para paliar sus negativos efectos.
2. Simultanear los EsIA mediante varios equipos multidisciplinarios que encaren éstos por tipos de obras (Presas, Túneles, Canales, etc) y un equipo que coordine e integre de manera general estas investigaciones.
3. Efectuar el EsIA en 2 partes: un Informe Ambiental Preliminar que se desarrolle ahora, cuando todavía no están definidos totalmente los proyectos y un Estudio de Impacto Ambiental Detallado cuando se concluya la Ingeniería de Detalle.

BIBLIOGRAFÍA.

- CITMA. Resolución 77/99.
Gaceta Oficial. Ley 81. Del Medio Ambiente.
Hernández Fonet, Isel. Consideraciones Ambientales del Trasvase Este-Oeste. Trabajo Final de Diplomado. Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya", Holguín, 2001.
Herrera Puebla, Julián y López, Gilberto. Estudio del Impacto Ambiental de los Sistemas de Riego y Drenaje. Revista Voluntad Hidráulica No 94 La Habana. 2001.
Hidalgo Hidalgo, Arturo y Hernández Fonet, Isel. Peligros y Riesgos Geoambientales del Tramo Melones-Sabanilla. Trasvase Este-Oeste. EIPHH, Holguín, 2003.
Ivonnnet Borrero, Hugo. Estudios de Impacto Ambiental en Obras Turísticas. Tesis de Maestría, ISMM Moa, 1997.
Ivonnnet Borrero, Hugo. Evaluación del Impacto Ambiental, Niveles de Aplicación. Curso de Postgrado Impartido a la Maestría de Gestión Ambiental. Holguín, 2004.
Ivonnnet Borrero, Hugo. Metodología de Estudio del Impacto Ambiental. EMPI FAR, Holguín, 1997.

- Ivonne Borrero, Hugo. Evaluación del Impacto Ambiental, Procedimientos Metodológicos. Curso de Postgrado impartido a la Maestría de Gestión Ambiental. Holguín, 2004.
- Reyes Verdecia, Ana Eglis. Los Manglares: una solución para la reforestación de franjas hidroreguladoras en cauces fluviales. Revista Voluntad Hidráulica No 95. La Habana, 2003.
- Rodríguez Rojas, Jorge. Generalidades sobre el Tránsito Este-Oeste. EIPHH, Holguín, 2005.

ESTUDIO GEÓLOGO-AMBIENTAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS LUYANÓ Y MARTÍN PÉREZ

Nyls Gustavo Ponce Seoane, Jorge L. Díaz Comesañas, Ramón Rivada Suárez, Adelaida Castellanos Silván

Instituto de Geología y Paleontología (IGP). Vía Blanca y Carretera Central.CP 11000. San Miguel del Padrón. Teléfono 696–7232. e-mail: nyls@igp.gms.minbas.cu

RESUMEN

Las cuencas hidrográficas de los ríos Luyanó y Martín Pérez son las áreas de drenaje más importantes hacia la Bahía de La Habana, que es el cuerpo receptor de ambas corrientes.

En estas cuencas se han establecido y desarrollado asentamientos poblacionales e industriales que hacen más complejo su funcionamiento, pues a través de estas arterias fluviales a la bahía son vertidos diariamente los residuales de la actividad urbano- industrial, contribuyendo de esta forma al elevado grado de contaminación de sus aguas y sedimentos y al alto grado de deterioro ambiental que presenta; de aquí la importancia que tuvo la realización de este estudio que debe considerarse como apoyo a la solución de la problemática existente en torno a la rada habanera.

El objetivo del trabajo fue la caracterización de los elementos del medio en estas cuencas, alteradas por la antropización, y conocer los impactos que dañan el entorno con el fin de utilizar la información obtenida en los trabajos de gestión y manejo territoriales para remediar sus problemas y la contaminación que recibe la bahía. Se caracterizó con este fin el medio ambiente abiótico(geología, geomorfología, clima, red de drenaje, procesos erosivo-acumulativos) y biótico(vegetación fundamentalmente), así como el uso y ocupación del terreno y el estado actual del medio ambiente al establecer la relación entre las formaciones estables(con elementos naturales) e inestables(totalmente antropizadas). Se estableció un Plan de Medidas como saneamiento de vertidos, tratamiento primario de las aguas, plan de reforestación, reforestación en las márgenes de los ríos y otras que ha sido aplicado en la confección de la estrategia y el plan de acción ambiental del Gobierno municipal de San Miguel del Padrón y que debe jugar un papel importante en la estrategia para la aplicación del plan de acción para el saneamiento y rescate ambiental de la bahía de La Habana.

ABSTRACT

The hidrographic basins of Luyanó and Martín Pérez rivers are the most important drainage areas towards Havana Bay that is the receiver of both currents.

In these basins many groups of people and industries have been established and developed and this makes it functioning, because through these fluvial arteries, the Bay is daily full of the industrial urban residual activity, so contributing to a great contamination of waters and sediments and the great environmental deterioration it shows; so it is important the making of this study as supporting of the existing troublesome solution around Havana port.

The objective of this work was the characterization of the elements of the environment in these basins altered by the human activity and the knowledge of the impacts that hurt the environment to use the piece of information obtained in the jobs of territorial management to solve its problems and the contamination in the Bay. So, it was characterized the abiotic environment(geology, geomorphology, climate, drainage net, accumulative – erosive processes) and biotics (vegetation mainly), as well as the use and occupation of the land and the real situation of the environment to establish the relation between the stable formations (with natural elements)and unstable (completely antropized). A group of measures were taken as a way to improve the poured, primary water treatment, reforestation plan of the riverside and others that have been applied in the making of the strategy and the environment action plan San Miguel del Padrón municipal government, which must play an important role as to the strategy to application the action for the improvement and environmental rescue of Havana Bay.

INTRODUCCIÓN

Para la realización de una gestión ambiental científicamente argumentada de un territorio, se requiere de la caracterización de todos sus elementos medioambientales (línea base ambiental), de los impactos en él provocados y de las correspondientes medidas de mitigación y rehabilitación de las zonas afectadas, que le sirvan como base a las administraciones territoriales para poder llevar a cabo la misma.

Las cuencas hidrográficas de los ríos Luyanó (30 Km²) y Martín Pérez (12 Km²) son las áreas de drenaje más importantes hacia la Bahía de La Habana, que se convierte así en el cuerpo receptor de ambas corrientes (Fig. 1), por lo que estas cuencas pueden considerarse como zonas significativas de aporte de sedimentos, producto de la erosión en ellas.

En las mismas se han establecido y desarrollado asentamientos poblacionales e industriales que hacen más amplio y complejo su funcionamiento, pues a través de estas arterias fluviales a la bahía es vertida diariamente la mayor parte de los residuales de la actividad urbano industrial sin tratamiento previo, contribuyendo de esta forma al elevado grado de contaminación de sus aguas y sedimentos y por consiguiente al alto grado de deterioro ambiental que actualmente presentan estos ecosistemas; he aquí la importancia que tuvo la realización de este estudio que debe considerarse como un apoyo sustancial en la solución de la problemática existente en torno a la rada habanera.

OBJETIVOS

El objetivo fundamental del trabajo fue la caracterización de los elementos del medio abiótico y biótico fundamentales en estas cuencas alteradas por la antropización y conocer los impactos que dañan el entorno de las mismas con el fin de utilizar la información que se obtuvo en los trabajos de gestión y manejo territoriales para remediar la contaminación que recibe la bahía y que debe jugar un papel fundamental en la estrategia para la aplicación del plan de acción para el saneamiento y rescate ambiental de la Bahía de La Habana entre otros aspectos.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para la realización de esta investigación fue aplicado el análisis multidisciplinario en diferentes temáticas acompañado con recorridos, muestreos y observaciones de campo. Se realizó además la recopilación y sistematización de la información; se interpretaron fotos e imágenes de satélites. Se realizó el levantamiento morfométrico de las áreas y se confeccionaron los mapas en formato digital.

DESARROLLO Y RESULTADOS DEL TRABAJO

Conforme a los objetivos a cumplir como resultados de estos trabajos se confeccionaron los siguientes mapas con su correspondiente texto explicativo que dieron origen a sendos informes en los que se caracterizan estas cuencas y que a continuación resumimos.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

En las cuencas investigadas afloran rocas antiguas de edades que oscilan entre 80 y 65 Millones de años (Ma) de las Formaciones Vía Blanca y Peñalver del Cretácico superior, de la Formación Capdevila, del Paleógeno (50 Ma).

En la cuenca del río Luyanó aparecen además rocas algo más jóvenes de las Formaciones Colón y Universidad, del Neógeno (15 Ma), que no se manifiestan en la cuenca del Martín Pérez.

Por último, en ambas cuencas, en las orillas de los ríos, en sus valles de inundación y en sus terrazas fluviales, así como en sus desembocaduras aparecen depósitos arcillosos, areno-arcillosos, mezcla de guijarros, gravas, arenas y limos provenientes de las diferentes Formaciones geológicas presentes en las áreas de estas cuencas y que son de edad Cuaternario indiferenciado (1 Ma).

TECTÓNICA

Las fallas en los territorios de las dos cuencas están débilmente expresadas y puede decirse que estas estructuras no constituyen causa de peligro por su movilidad debido a que la mayor parte de ellas no están activas.

Es de destacar la existencia de una falla importante, de dirección submeridional, a lo largo del río Luyanó hasta la Bahía de La Habana.

Fue confeccionado un mapa geológico a escala 1:25 000, con elementos de tectónica.

Como parte de los estudios geológicos se realizaron trabajos geofísicos acompañantes para la determinación de la relación sedimento- basamento, así como las zonas contaminadas a lo largo de los perfiles geofísicos.

CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

El relieve de las cuencas se caracteriza por estar formado por la combinación de llanuras y elevaciones. Las elevaciones, generalmente, forman franjas y son perpendiculares al perfil longitudinal de los ríos, aunque en el Martín Pérez se ubican sólo en la parte Este de la cuenca.

PENDIENTES

En las cuencas se observan valores de pendientes que oscilan entre 1 y 45 grados.

Los valores más bajos, entre 1 y 12 grados se asocian con los diferentes tipos de llanuras (fluviales, onduladas, parte baja de las laderas y puntos más elevados de las llanuras).

Los rangos de pendientes entre 12 y 20 grados se localizan en los puntos más elevados de las cuencas y los que oscilan entre 20 y 45 grados se sitúan fundamentalmente en lugares puntuales situados en los parteaguas Sur de las cuencas. Son terrenos que pueden servir para áreas boscosas. No se observa valores mayores de 45 grados.

Se confeccionaron sendos mapas geomorfológicos y de pendientes a escala 1:25 000.

ANÁLISIS DEL PROCESO DE EROSIÓN – ACUMULACIÓN

El trabajo se acompañó con un análisis de los procesos de erosión– sedimentación en el área de la cuenca, así como de un análisis de muestras de sedimentos de fondos.

El agua es el agente más activo en la dinámica de la erosión en las cuencas objetos de estudios. En ellas la red del escurrimiento superficial está asociada con los valores más altos de las pendientes lo que provoca una disminución de la infiltración y un aumento del escurrimiento superficial, generando un arrastre ladera abajo favorecido por la gravedad. Este proceso ocurre en la porción media–superior de las cuencas donde las características son más favorables.

Este proceso erosivo– acumulativo que comienza y se extiende por todos los desniveles del terreno, arrastra los sedimentos hacia las partes más bajas y de estas, hacia las corrientes temporales y

permanentes donde comienza un proceso de erosión– acumulación que se repite en los niveles más bajos en dependencia de la dinámica fluvial.

La reactivación de estos procesos se relaciona con las crecidas de los ríos, en los cuales los volúmenes y velocidad de las aguas aumentan considerablemente y con ello su fuerza viva que utiliza en erosionar los fondos y las riveras, acumulando lo erosionado más tarde cuando su fuerza disminuye. Una parte de los sedimentos que arrastran son depositados, llevando las partículas más pequeñas en suspensión hacia las partes más distantes, continuando su movimiento hacia la cuenca de recepción que recibe el aporte y que en este caso es la Bahía de La Habana.

Todos los conjuntos litológicos (formaciones) que afloran en las áreas aportan sedimentos a la cuenca, particularmente las rocas de las formaciones Vía Blanca y Peñalver.

De las cuestiones tratadas se pueden considerar dos momentos:

Uno, que tiene que ver con la erosión, que se corresponde con las formaciones geológicas que constituyen la fuente primaria de aporte, y el traslado de los sedimentos hacia partes mas bajas del relieve.

Y dos, cuando el material forma parte de la propia dinámica del río, donde comienzan los procesos erosivos acumulativos y nuevamente de erosión y redeposición regidos por la dinámica fluvial.

Estos procesos de erosión acumulación que de forma natural ocurren en la cuenca, son afectados de manera continua y frecuente por la acción humana, degenerando muchos de ellos en procesos acelerados de erosión (erosión antrópica), como por ejemplo la reducción continua y creciente de las áreas de la cuenca por la urbanización y la actividad agrícola y de otros aspectos como vertederos próximos a las corrientes superficiales y el vertimiento de basura, escombros y residuales líquidos, industriales y domésticos, directamente a la corriente

AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

Los ríos Luyanó y Martín Pérez, que desembocan en la Bahía de la Habana por la Ensenada de Guasabacoa, han sido y son utilizados como receptores de las aguas residuales producidas por las zonas urbano - industriales de los municipios San Miguel del Padrón, Guanabacoa, 10 de Octubre, Regla y Arroyo Naranjo principalmente. Esta situación ha determinado la existencia de pésimas condiciones higiénico– sanitarias y ambientales en casi toda la red hidrográfica de ambos ríos.

El deterioro de la calidad original de las aguas provocada por los vertimientos, sistemáticos e indiscriminados, de desechos líquidos y sólidos en estas corrientes superficiales, es una manifestación de la irresponsabilidad y de la ausencia total de medidas de control disciplinarias y de preservación de esos recursos hídricos.

Es inobjetable, por tanto, que los ríos Luyanó y Martín Pérez inciden negativamente en la calidad y el estado de las aguas de la Bahía de La Habana, constituyendo una de las principales fuentes de contaminación, aportándole una elevada carga contaminante proveniente de los residuales domésticos, industriales, agropecuarios y mixtos, líquidos y/o sólidos que van recibiendo a todo lo largo de sus cursos hasta sus desembocaduras en la bahía.

De acuerdo con investigaciones realizadas en años anteriores y en esta investigación (ver Contaminación), se posee una buena información sobre la identificación y características de los focos contaminantes que vierten sus desechos a estos ríos, donde predomina, grosso modo, la naturaleza orgánica de las aguas residuales.

En cuanto a las aguas subterráneas podemos decir que las cuencas de los ríos Luyanó y Martín Pérez están ubicadas principalmente sobre el complejo poco acuífero desarrollado en las rocas fisuradas del Paleógeno y del Cretácico. La profundidad del agua subterránea en estas áreas está entre los 2,5 y 3,0 metros y siempre en relación con elementos tectónicos y morfoestructurales. En general. Los gastos específicos son del orden de 1 a 5 l/s, aunque localmente pueden ser mayores. Esta agua son hidrocarbonatadas cálcicas y cálcicas sódicas con mineralización de 0,5 mg/l (Rocamora y Guerra, 1997)

Durante las investigaciones no se observaron pozos criollos u otras calas o perforaciones de donde se pudieran tomar muestras de esta agua.

FUENTES CONTAMINANTES

Las principales fuentes contaminantes industriales en ambas cuencas fueron:

Río Luyanó

Fca. de Siphoret
Fca. de Detergente Líquido
Planta "Andrés Luján"
Motores Taíno
Embalses Metálicos "L. Melián"
Fca. de Levadura.
Pasteurizadora "El Lucero"
Fundición "Sergio Gonzáles"

Río Martín Pérez

Empresa Ramón Peña
Embotelladora
Talleres del ICP
Fca. de Plásticos Habana
Fca. de Pomos Plásticos

La principal fuente de contaminación urbana es el sistema de alcantarillado que vierte directamente las aguas albañales a los ríos y la población que vierte los residuos sólidos (basura) a los mismos. Fue confeccionado un mapa con la ubicación de los principales focos contaminantes.

VEGETACIÓN

En el área de las cuencas se encuentran diferentes Formaciones Vegetales que se caracterizan por presentar un alto grado de alteración, condicionado por los distintos niveles de asimilación antrópica a que han sido sometidos los territorios de las mismas. Es por eso que abundan las especies ruderales, así como algunas introducidas por su valor de uso, como es el caso de las plantaciones frutales. También existen numerosas áreas dedicadas al cultivo de especies de ciclo de vida corto.

El levantamiento de la información relacionada con la vegetación de las cuencas se realizó mediante la combinación de la interpretación de fotos aéreas y las observaciones directas en el terreno, lo que permitió la confección de sendos mapas de vegetación por cuenca a escala 1:10 000, para el cual se empleo la clasificación por formaciones vegetales según Capote y Berazaín (1984). Según esta clasificación las formaciones presentes en las áreas son:

Formaciones arbóreas (bosques secundarios, bosques de galería, plantaciones)
Formaciones arbustivas (matorrales secundarios)
Formaciones herbáceas (complejo de sabanas antrópicas y pastizales, herbazales inundados)
Vegetación cultural (cultivos varios)
Vegetación ruderal – es la asociada a zonas urbanizadas.

USO Y OCUPACIÓN

Para la confección del Mapa de Uso y Ocupación se utilizaron los datos de anteriores trabajos de los municipios que interesan ambas cuencas que fueron actualizados mediante la fotointerpretación aérea, el análisis de las hojas topográficas, así como por recorridos de campo para las comprobaciones.

Como resultado se separaron 14 clases de uso y ocupación, que son:

Áreas urbanas, de cultivos varios, de terrenos baldíos, boscosa, de plantaciones frutales, industriales, de servicio, suburbanas, receptora de efluentes, de uso social, impactadas por la minería, presas, cementerio.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y REHABILITACIÓN

Debemos destacar que además del alto grado de contaminación orgánica en las dos arterias fluviales, se demostró la contaminación por metales pesados (Mn, Zn, Pb, Ni y Co) de los sedimentos de fondo de ambos ríos.

La solución de los principales problemas ambientales de las cuencas de los dos ríos debe ser visto con un enfoque sistémico e integrador y no como una solución aislada, pues ellos se concatenan en sus consecuencias y efectos sobre el ser humano.

Dada esta realidad, resulta imprescindible señalar aquellos aspectos que son necesarios acometer, en un plan de medidas de carácter general, para minimizarlos y darle solución a corto, mediano y largo plazos, con la finalidad de proteger los medios receptores (ríos y bahía) de las aguas y sedimentos residuales y la mitigación de los problemas ambientales de ambas cuencas hidrográficas para la eliminación de cualquier efecto dañino, tanto para el hombre como para sus recursos naturales.

Teniendo en cuenta que estas cuencas hidrográficas naturales ocupan una gran parte del municipio San Miguel del Padrón, pero que están compartidas entre varios municipios capitalinos que poseen problemas comunes y que requieren de una verdadera cooperación inter-municipal; y considerando que, tanto las cuencas como las aguas de los ríos, son un BIEN PÚBLICO cuya gestión integral debe realizar la administración del Poder Popular Provincial, se recomiendan las siguientes medidas a tomar:

- Crear una comisión a nivel provincial para que se ocupe de los problemas ambientales de ambas cuencas.
- Priorizar la recogida de basura urbana en la zona de los núcleos poblacionales situados en la cuenca, para evitar el vertimiento espontáneo al río de los desechos sólidos domésticos.
- Garantizar que las aguas residuales urbanas e industriales que vierten a los ríos, sean objeto de tratamiento mediante el establecimiento de las correspondientes plantas.
- Caracterizar y monitorear los efluentes industriales de cada identidad o empresa ubicada en las cuencas.

- Establecer un sistema de monitoreo de las aguas del río que permita realizar una vigilancia efectiva del mismo.

Los procesos erosivos en las cuencas hidrográficas de los ríos Luyanó y Martín Pérez se producen fundamentalmente en sus periferias o límites (parteaguas), cuyo uso es fundamentalmente agrícola (frutales, plantaciones y cultivos) o terrenos ociosos a los cuales hay que prestar especial atención en cuanto a medida de conservación de los suelos como reforestación, sistema de terrazas etc.

- Realizar la reforestación para los diferentes ecosistemas, especialmente en las márgenes de los ríos y áreas más elevadas afectadas por la erosión.

- Confeccionar un programa de información y educación ambiental dirigido a los núcleos poblacionales y comunidades que habitan la cuenca.

CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación han creado las bases del sistema de gestión y manejo ambientales de las áreas que ocupan las cuencas de los ríos Luyanó y Martín Pérez. De ser aplicado este sistema, constituirá la base para el desarrollo económico sustentable de esta región que ocupa casi la totalidad del Municipio San Miguel del Padrón.

Se han creado las bases también para la sustentación de nuevos proyectos para la solución de los problemas concretos que afectan las cuencas investigadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Cañete Pérez C., Ponce Seoane N., Díaz Comesañas J.L., et. al. "Estudio Geológico Ambiental Integral del Municipio San Miguel del Padrón. IGP, Ciudad de La Habana, 1994, 26 p.
- Cañete Pérez C., Ponce Seoane N., Díaz Comesañas J.L., et. al. "Estudio Geológico Ambiental Integral del Municipio Guanabacoa". IGP, Ciudad de La Habana, 1997. 91 p.
- Capote R.P. y Berazaín R. (1984). Clasificación de las formaciones vegetales de Cuba. Rev. Jardín Botánico Nacional. Vol. No. 2, 49 pp.
- Cardona O. "Gestión Ambiental para la prevención". Agid Report No. 88, pp 75 – 87.
- García J. M., Travieso H., Abreu O. et. al. " Evaluación de la carga contaminante afluente a la Bahía de La Habana, aportada por los ríos Luyanó, Martín Pérez y Arroyo Tadeo". Voluntad Hidráulica, 1980, pp. 34 – 58.
- Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Instituto de Geografía, 1989.
- Albear J. F. de, Iturralde Vinent M. " Estratigrafía de las Provincias de La Habana" En "Contribución a la Geología de las Provincias de La Habana y Ciudad de Las Habana". Editorial Científico-Técnica. Ciudad de La Habana, 1985, pp 12 – 54
- Negrao Cavalcanti Rachel "Desarrollo Sustentable" y "Gestión Ambiental". En: "Aspectos Geológicos de Protección Ambiental". Campinas, SP Brasil, UNESCO, 2002, pp 15 – 36 y 37 – 45.
- Albuquerque Rocha, Gerónimo. "Gestión de Cuencas: Agua, Gente y Ambiente". En: "Aspectos Geológicos de Protección Ambiental". Campinas, SP Brasil, UNESCO, 2002, pp 189 – 198.

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL MUNICIPIO HABANA VIEJA

Bárbara Liz Miravet Sánchez⁽¹⁾, Alberto E García⁽¹⁾, Efrén Jaimez⁽¹⁾, Mario Campos⁽¹⁾, Ernesto Rocamora⁽¹⁾, Mario Guerra⁽¹⁾, Bertha Elena González⁽²⁾, Pedro Sánchez⁽³⁾, Luis David Pérez⁽²⁾, Lina Rey⁽¹⁾, Ismael González⁽¹⁾, Pilar Pacheco⁽¹⁾, Jorge Olivera⁽¹⁾, José Alcaide⁽¹⁾, Yainel Suárez⁽⁴⁾, Yesenia Ibáñez⁽⁵⁾, Ingrid Guerra⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Instituto de Geofísica y Astronomía, AMA, CITMA

⁽²⁾ CENAI, CITMA

⁽³⁾ ISMET, AMA, CITMA

⁽⁴⁾ OLPP Habana Vieja, Ciudad de la Habana

⁽⁵⁾ Delegación CITMA de Ciudad Habana

RESUMEN

El Diagnóstico Ambiental del Municipio constituyó una importante etapa durante la ejecución del Proyecto Territorial "Evaluación Ambiental del Municipio Habana Vieja".

La investigación tuvo como objetivo evaluar las condiciones ambientales, identificar e inventariar los principales problemas existentes en el Municipio, con el propósito de conocer el estado actual del Medio Ambiente (subsistemas natural, económico y social).

El trabajo incluyó la revisión, recopilación y análisis crítico de la información existente, así como entrevistas, y trabajo de terreno por un grupo multidisciplinario de especialistas. Con toda la información disponible se crearon las bases de datos correspondientes en Microsoft-Excel que permitieron la edición de tablas, gráficos, figuras y mapas.

Como resultado final se obtuvo un inventario actualizado, georreferenciado de los principales problemas de índole ambiental del territorio, dentro de los cuales se destacan: el deterioro de los fondos habitacional, deficiente sistema de disposición y/o recogida de residuales líquidos y sólidos, afectaciones a la calidad del aire y deficiencias en el sistema de abasto de agua a la población.

Además se realizó una identificación y mapificación de las áreas susceptibles a las inundaciones ante intensas lluvias y/o penetraciones del mar de gran interés para las autoridades municipales.

La alta integración, en todas las etapas del trabajo, de especialistas y directivos de diversas instituciones del territorio permitió en primer lugar contar con un documento que recoge la problemática ambiental del territorio y de forma ágil y directa incorporar las nuevas recomendaciones al proceso de reanálisis y actualización de la Estrategia Ambiental Municipal, lo cual garantiza el desarrollo de una gestión ambiental más adecuada por parte del gobierno Municipal, que posibilitará la máxima racionalidad, fundamentalmente, en el proceso de toma de decisiones referente a la conservación y protección del medio ambiente.

ABSTRACT

The Environmental Diagnosis of the Municipality constituted an important stage during the execution of the Territorial Project "Environmental Evaluation of the Municipality Old Havana."

The investigation had as objective to evaluate the environmental conditions, to identify and to inventory the main existent problems in the Municipality, with the purpose of knowing the current state of the Environment (natural, economic and social subsystems). The work included the revision, summary and critical analysis of the existent information, as well as interviews, and field work for a multidisciplinary group of specialists. With all the available information the corresponding databases were created in Microsoft-Excel that allowed the edition of charts, graphics, figures and maps. As a final result an up-to-date georeferential inventory, of the main problems of environmental nature of the territory, was obtained inside which stand out: the deterioration of the bottom residence, faulty disposition system and/or collection of residual liquids and solid, affectations to the quality of the air and deficiencies in the system of water supply to the population.

It was also carried out an identification and mapping from the susceptible areas to the floods before intense rains and/or penetrations of the sea of great interest for the municipal authorities.

The high integration, in all the stages of the work, of specialists and directive of diverse institutions of the territory allowed in the first place to have a document that picks up the environmental problem of the territory and in an

agile and direct way to incorporate the new recommendations to the re-analysis process and upgrade of the Municipal Environmental Strategy, that which guarantees the development of a more appropriate environmental administration fundamentally on the part of the Municipal government that will facilitate the maximum rationality, in the process of taking of decisions with respect to the conservation and protection of the environment.

INTRODUCCIÓN

El Diagnóstico Ambiental del Municipio Habana Vieja constituye una importante etapa del estudio ambiental de este territorio. Esta investigación tiene como objetivo evaluar las condiciones ambientales, identificar e inventariar los principales problemas ambientales existentes en el Municipio, con el propósito de conocer el estado actual del Medio Ambiente, mediante la caracterización de los subsistemas natural, económico y social.

Para su realización se efectuó: La revisión y recopilación de la información disponible en el Municipio, esto apoyado en entrevistas, visitas a diferentes sitios y fotos que se tomaron durante los recorridos realizados en el territorio.

Se pudieron reconocer los principales problemas ambientales que presenta el Municipio, lo cual posibilitó fundamentar la Estrategia Ambiental Municipal todo lo cual garantiza el desarrollo de una gestión ambiental adecuada por parte del gobierno municipal, que posibilitará la máxima racionalidad, fundamentalmente, en el proceso de toma de decisiones referente a la conservación y protección del medio ambiente.

El trabajo es de gran importancia y actualidad, sobre todo en nuestros días que luchamos por un mundo mejor, pues a través del mismo se logra revelar y reconocer los problemas ambientales que presenta el municipio lo cual posibilitará fundamentar la Estrategia Ambiental Municipal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo parte de una búsqueda de información aportada por diferentes Instituciones y organismos pertenecientes al Municipio, relacionada con aspectos tales como:

- ❖ Características Climáticas del Municipio.
- ❖ Características Geológicas y Geomorfológicas.
- ❖ Características Sismológicas.
- ❖ Características Ingeniero-Geológicas.
- ❖ Suelo.
- ❖ Caracterización de la zona costera del Municipio.
- ❖ Características Demográficas.
- ❖ Caracterización General del Sistema Educativo, de Salud, Cultural y Turístico del Municipio.
- ❖ Desarrollo Económico.
- ❖ Identificación de los problemas ambientales.

Todo esto apoyado y verificado con recorridos realizados en el territorio donde se tomaron fotos, se realizaron entrevistas y de esta manera poder evaluar las condiciones ambientales, identificar e inventariar los principales problemas ambientales existentes en el Municipio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El actual municipio de la Habana Vieja abarca un área de 4.32 Km². Se encuentra ubicado (figura 1) al norte con la entrada de la Bahía de La Habana, al sureste limita con el municipio de Regla, por el oeste tiene como vecinos a los municipios de Centro Habana y Cerro, por el sur, en casi toda su extensión, limita con el municipio de 10 de Octubre y con el de San Miguel del Padrón en un pequeño tramo. El río Luyano corre por parte del límite sur en los tramos que abarcan tres de sus puentes: el de Vía Blanca, el del ferrocarril y el Anillo del Puerto.

En 1990 se crearon los Consejos Populares, a la Habana Vieja le correspondieron: Belén, Plaza Vieja, Catedral, Prado, Jesús María y Talla Piedra y en 1998 se subdividió Belén en los Consejos Belén y San Isidro (figura 2).

La Habana Vieja se caracteriza por la presencia de parques, plazas, patios interiores donde se puede apreciar la vegetación del municipio. Es uno de los municipios más densamente poblados y su medio natural se encuentra totalmente transformado por la urbanización.

Parte del territorio fue construido sobre rellenos artificiales que se vertieron en zonas bajas con ese fin, por lo que muchas de estas locaciones supone un subyacente constituido básicamente por depósitos palustres, susceptibles a posible licuefacción en caso de un evento sísmico de gran magnitud.

La otra mitad del municipio, está ocupada en el subyacente por rocas de la formación Vía Blanca y por calizas arrecifales sobre las cuales se han desarrollado respectivamente depósitos terrígenos-carbonatados y depósitos de la Formación el Salado caracterizada esta última por el desarrollo de fenómenos cársticos a escala local en el substrato rocoso.

Los estudios de reconstrucción hipotética de los suelos en el Municipio, revelan que los suelos predominantes en el mismo antes de la urbanización se correspondían en su mayor parte con los del agrupamiento *Hidromórfico* (suelos tipo *Gley Húmico*), (ocupaban aproximadamente unos 2.4 km²).

Otros suelos de importancia (atendiendo a su área de distribución, con aproximadamente 1.37 Km²), fueron los del tipo *Rendzina* (principalmente los subtipos *Rendzina Roja* y en segundo lugar *Rendzina Negra*, ambas pertenecientes al agrupamiento *Húmico Sialítico*), Finalmente correspondiéndose con antiguos suelos del agrupamiento Pardo Sialítico (aproximadamente el 15 % del total), encontrándose hoy totalmente ocluidos bajo la infraestructura vial y urbana.

Las costas del municipio se asienta sobre una zona donde predominan los procesos abrasivos sobre acumulativos la costa esta constituida por calizas de la Fm. Jaimanitas en lo fundamental y sobre la cual se desarrollan procesos de origen cárstico. La Bahía de la Habana representa el límite Norte Noreste del Municipio tiene profundidad promedio de 9 metros y un área de 5 km².

El municipio de la Habana Vieja, centro de la actividad portuaria del país. Por sus muelles se efectúa gran parte del tráfico comercial del país, incluido el comercio de exportación e importación. Constituye un polo turístico de gran interés Nacional e Internacional. En el se encuentra ubicada una gran red hotelera de las cadenas Gran Caribe, Cubanacan, Horizontes y Habaguanex SA.

La población del Municipio Habana Vieja representa el 4.9% de la población de la provincia de la Habana con 94740 Hab y una densidad de población de 21053.3hab/Km².

En aspectos relacionados con la salud en el municipio las tres primeras causas de muerte fueron las enfermedades del corazón, los tumores malignos y las enfermedades cerebro vascular, las que constituyen alrededor del 50% de todas las causas de muerte, correspondiéndose con las tres primeras causas de la provincia y el país.

El medio ambiente de este territorio muy altamente modificado debido al alto grado de urbanización, se encuentra afectado por diferentes causas, originadas por el impacto desde tiempo de la colonia del desarrollo socioeconómico el cual no ha tomado en cuenta el efecto negativo derivado de la explotación de las diferentes instalaciones (habitacional, hoteleros y de servicio).

Las principales fuentes de contaminación (figura 3) que existen en el territorio son:

- Laboratorio Farmacéutico Mario Muñoz
- Termoeléctrica O. Parellada
- Planta de Gas Evelio Rdguez Curbelo
- Taller de transformadores Juan Ronda
- INDAL
- Asticar
- Sistema central de alcantarillado
- Terref

Fueron detectados diferentes problemas ambientales que inciden en la calidad del medio ambiente en general, provocando afectaciones en mayor o menor grado y de forma directa o indirecta a la población:

Problemas relacionados con eventos hidrometeorológico de consideración:

- Inundaciones por penetraciones del mar e intensas lluvias (figura 4).

Problemas relacionados con las aguas del mar:

- Considerable nivel de contaminación de la Bahía de la Habana y el sector de costa asociado, producto del vertimiento de residuales industriales y domésticos sin tratamiento previo adecuado.

Problemas relacionados con la calidad del aire:

- Contaminación del aire emanaciones de gases industriales y circulación vial.

Problemas relacionados con la higiene del municipio

- Vertimiento de residuales líquidos de origen doméstico e industrial en las vías de comunicación producto del deficiente estado técnico de las redes de distribución y la de alcantarillado (figura 5).
- Vertimiento de residuales sólidos producto de una deficiente recogida y disposición final de los mismos (figura 6).

Problemas relacionados con el estado de las construcciones en el municipio:

- El alto grado de deterioro del fondo habitacional unido a la alta densidad de población hacen de este problema uno de los más importantes del municipio (figura 7).

CONCLUSIONES

1. El territorio esta representado por depósitos pertenecientes al complejo terrígeno y terrígeno carbonatado, que ocupa casi toda la parte central y sur, el resto del territorio su principal rasgo es el extenso desarrollo de una cobertura cuaternaria, causante de la existencia de condiciones ingeniero constructivas complejas y desfavorables.
2. El relieve sobre el que está asentado el municipio esta totalmente transformado por la urbanización una reconstrucción del relieve sin tomar en cuenta esas transformaciones, permite distinguir los siguientes tipos geomorfológicos del relieve:
 - ❖ Relieve litoral carsificado.
 - ❖ Relieve parcialmente cenagoso de composición terrígena.

- ❖ Relieve fluvial erosivo-acumulativo.
3. El alto grado de urbanización que tiene el municipio ha motivado la pérdida total del fondo de tierras cultivables y se evidencia la presencia del desarrollo de una agricultura urbana.
 4. Los problemas ambientales que más inciden en el estado actual del medio ambiente del municipio se relacionan con:
 - ❖ Eventos hidrometeorológicos de consideración
 - ❖ La calidad de las aguas terrestres
 - ❖ La calidad de las aguas del mar
 - ❖ La calidad del aire
 - ❖ La higiene del municipio
 - ❖ El estado de las construcciones en el municipio

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
- Información suministrada por el Gobierno Municipio Habana Vieja.
- Cuadro de Salud del año 2004 del municipio Habana Vieja.
- Keller, E. (1995): Environmental Geology. Prentice may, New Jersey, 560pp.
- Rodríguez, J. (1998): Geología Ambiental [inédito], ISPJAE, La Habana.
- Rocamora Álvarez, E (1996). Investigación Ingeniero-geológica para la cimentación de los Almacenes Occidentales de la Corporación CIMEX S.A. Ciudad de la Habana. Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana, INRH.
- Rocamora Álvarez, E. y Pereira Nodarse, E. (2002) Investigación ingeniero-geológica para la cimentación en la parcela sita en San Pedro 520 esq. a Merced, Habana Vieja, Ciudad de La Habana. Informe técnico.
- Álvarez, H. (1970): Mapa de Sismicidad de Cuba. Atlas Nacional de Cuba.
- Álvarez, L.; Chuy, T, y Cotilla, M, (1991): Peligrosidad Sísmica de Cuba. Una aproximación a la Regionalización Sísmica del Territorio Nacional. Revista Científica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Vol. 35.
- 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.
- González, B.E., Rodríguez, V, Pérez, L y Fernández, E (1994): Evaluación del Peligro Sísmico Local de Municipios de la Capital para la construcción de obras subterráneas. Informe científico-técnico, Archivo CENAI
- González, B.E.; Chuy, T; Álvarez, L.; Rubio, M., et al (1993): Estudio Sismológico Regional Complejo de Cuba Centro Oriental para el Emplazamiento de Objetivos Nucleares. Informe Científico. Archivo CENAI.
- Medvedev, S. V. (1962): Sismologia Ingenieril. Ed. Gostoidat, URSS.
- Medvedev, S.V. (1977): Microzonacion Sísmica. Ed. Nauka, Moscu.
- Medvedev, S. V. (1973): Recomendaciones para la Microzonación Sísmica. RMD 73. Ed. Nauka. Moscú.
- Jaimez, E. y colectivo de autores (1999): Diagnóstico ambiental integral del Municipio Playa, IGA, 30pp.
- Rodríguez y colectivo de autores (2001): Diagnóstico ambiental integral del Municipio Bejucal, IGA, 21pp.
- Miravet, B. y colectivo de autores (2003): Diagnóstico ambiental integral del Municipio Plaza de la Revolución, IGA, 80pp.

Figura 2: Consejos Populares

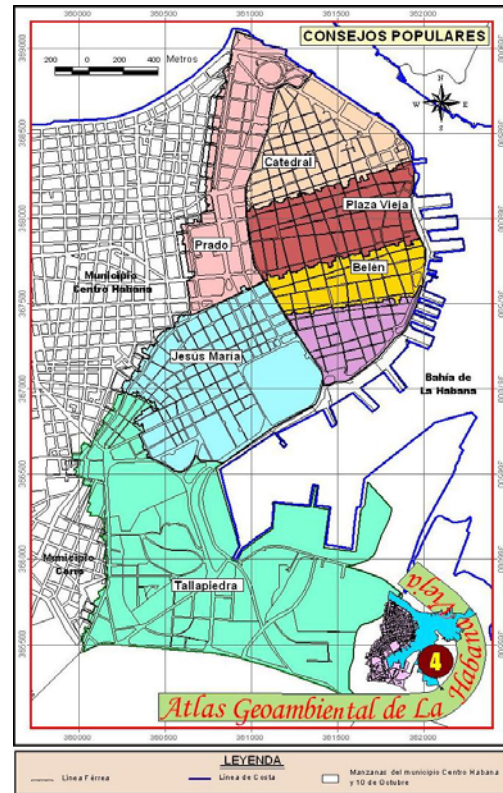


Figura 3: Fuentes contaminantes

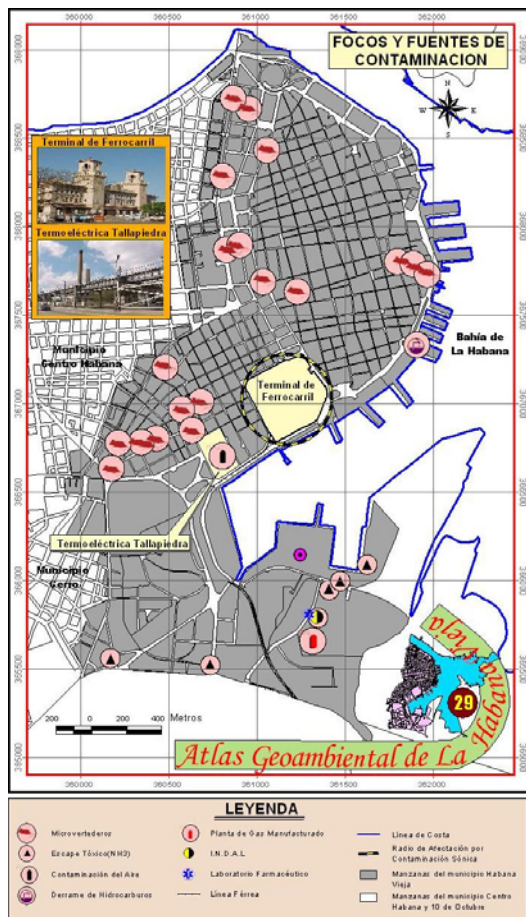


Figura 4: Penetraciones del mar e inundaciones





Figura 5: Vertimiento de residuales líquidos y deficiente estado técnico del alcantarillado.



Figura 6: Vertimiento de residuales sólidos



Figura 7: Deterioro del fondo habitacional





CARACTERIZACIÓN GEOAMBIENTAL ENTRE LOS CAYOS SANTA MARÍA Y GUILLERMO PARA LA PROYECCIÓN DE UN VIADUCTO

Moraima Álvarez Ortiz⁽¹⁾, J. Artilles Pérez⁽¹⁾, G. Godínez Barrera⁽¹⁾

(1) GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina, Regla, CP 112000, Ciudad de La Habana, Cuba. Email: gem@emarinis.geocuba.cu, Teléfonos: 978255, 977575, 970015-18, Extensiones: 107, 114, 118

RESUMEN

El archipiélago Sabana- Camagüey está caracterizado por fascinantes riquezas naturales, donde el entorno natural y las playas constituyen sus principales atracciones. Esto ha condicionado desarrollar una red de viales a través del archipiélago por el proceso inversionista del turismo.

Es objetivo del presente trabajo efectuar un estudio geoambiental entre los cayos Santa María y Guillermo para proyectar un viaducto. Se evaluaron y analizaron los resultados geológicos históricos en la región, así como los estudios ingeniero-geológicos realizados por nuestra entidad, además de otros fenómenos físicos-geográficos de interés. Como resultado se caracterizó la naturaleza geológica de la plataforma marino- litoral, como un modo de consolidar esta información y su alcance permitió establecer el grado de factibilidad ambiental, muy útil en el ordenamiento territorial del polo y evaluación de soluciones en la proyección del viaducto, cuyos impactos reforzarían el estrés en los ecosistemas altamente sensibles: manglares, seibadales, algales y arrecifes coralinos.

El relieve submarino describe una llanura abrasivo – acumulativa plana, de pendientes muy suave con bajos valores de profundidad del fondo marino, donde la presencia de sedimentos friables constituidos por arenas finas hasta limos arenosos carbonatados, además de la inmediata yacencia del techo de la roca formadas por calizas biodetríticas (calcarenitas) establecen sus particularidades geomorfológicas. No se detectaron manifestaciones tectónicas recientes, siendo un área de de riesgo sísmico bajo. Al acometer la proyección del viaducto debe emplearse un sistema que permita libre intercambio de agua, ya que régimen de erosión, transporte y sedimentación cambiante natural, puede ser acelerado mediante modificaciones antrópicas.

ABSTRACT

The archipelago Sabana - Camagüey is characterized by fascinating natural wealth, where the natural environment and the beaches constitute their main attractions. This has conditioned to develop a viales net through the archipelago for the process investor of the tourism.

It is objective of the present work to make a study environmental geology among the keys Santa María and Guillermo to project a viaduct. They were evaluated and they analyzed the historical geologic results in the region, as well as the engineer-geologic studies carried out by our entity, besides other physical phenomenons - geographical of interest. As a result the geologic nature of the platform marine was characterized - coast, as a way of consolidating this information and its reach allowed to establish the degree of environmental feasibility, very useful in the territorial classification of the pole and evaluation of solutions in the projection of the viaduct whose impacts would reinforce the estrés in the highly sensitive ecosystems: swamps, seibadales, algales and coralline reefs.

The submarine relief describes a plain abrasive - accumulative page, of very soft slopes with first floor values of depth of the marine bottom, where the presence of friable silts constituted by fine sands until carbonated sandy slimes, besides the immediate yacencia of the roof of the rock formed by calcareous biodetríticas (calcarenitas) they establish its particularities geomorfológicas. Recent tectonic manifestations were not detected, being an area of of seismic risk under. When attacking the projection of the viaduct a system it should be used that allows free exchange of water, since erosion régime, transport and natural changing sedimentation, it can be quick by means of modifications antrópicas.

INTRODUCCIÓN



Emplazado en la costa centro-norte de nuestro territorio nacional se encuentra el archipiélago de Sabana- Camagüey; caracterizado por fascinantes riquezas naturales, donde el entorno natural y las playas constituyen las principales atracciones. El proceso inversionista para el turismo, ha condicionado el desarrollo de una red de viales en el archipiélago (ver fig.1)

Es objetivo del presente trabajo es efectuar un estudio geoambiental entre los cayos Santa María y Guillermo para la proyección de un viaducto. Para ello se procedió con la evaluación y análisis de los resultados geológicos históricos en la región entre ambos cayos, así como de los estudios ingeniero-geológicos realizados en el área por nuestra entidad, además de otros fenómenos físicos-geográficos de interés.

Con esta información se obtuvo una caracterización de la naturaleza geológica del área de la plataforma marino- litoral, como un modo de consolidar la información existente y su alcance permitió establecer el grado de factibilidad ambiental, muy útil en el ordenamiento territorial del polo y para la evaluación de soluciones en la proyección del viaducto entre ambos cayos, teniendo en cuenta que estos impactos podrían reforzar el estrés en los ecosistemas altamente sensibles como: manglares, seibadales, bancos algales y arrecifes coralinos.

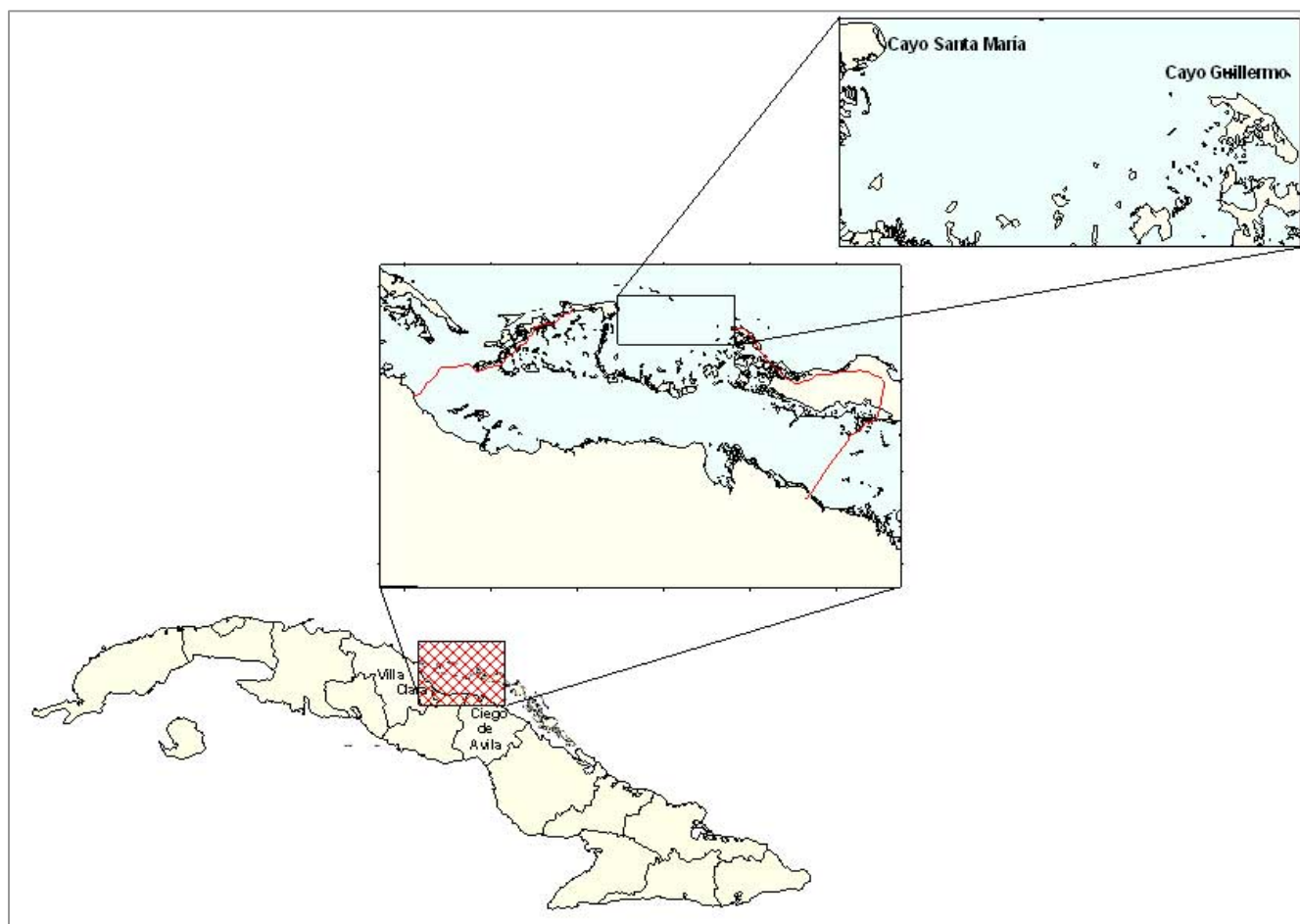


Fig.1 Esquema de ubicación de los principales viales del archipiélago y del área de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS



Para la comprensión de la historia geológica entre ambos cayos se tomaron los planos geológicos, tectónicos, geomorfológicos y sísmicos de la región realizándose una evaluación de las principales características de interés. Además se tomaron los resultados de los estudios de factibilidad para la construcción del viaducto cayo Santa María a cayo Guillermo donde se aplicaron un conjunto de métodos de investigaciones de campo y laboratorio (Ortega, F 1999). Esto permitió obtener los datos para la interpretación, análisis y propuestas de soluciones, acordes a los objetivos propuestos.

Para obtener los datos batimétricos se utilizó como fuente de información primaria los materiales de archivos de los proyectos de cubrimiento cartográfico de cayo Coco y Caibarién, a escala 1:50 000 y 1:25 000, los mismos fueron revisados y reprocesados totalmente, las profundidades fueron todas filtradas, aplicándosele las correcciones por marea y velocidad del sonido.

Se aplicó la metodología sísmica de refracción somera con el objetivo de delimitar la estructura geométrica del corte geológico, además de caracterizar algunas propiedades físico-mecánicas de los elementos presentes, a partir del análisis de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas.

Se realizaron penetraciones con un penetrómetro estático de cono, para delimitar las fronteras de los elementos del corte y determinar la resistencia a la penetración del cono como medio de evaluar in-situ la carga admisible y otros parámetros de cada elemento ingeniero-geológico.

Para la determinación de las principales propiedades físicas de los sedimentos friables, se realizaron estaciones de muestreo y ensayos de laboratorios: granulometría, hidrómetro, peso específico y densidad máxima y mínima. Además se realizaron determinaciones litológicas a sedimentos y rocas.

El régimen hidrológico se estableció a partir de los resultados de un estudio oceanográfico en una red de 42 estaciones convencionales y una estación de 24 horas, ubicada en la Baliza del centro de la Bahía Buenavista. Donde se obtuvieron además parámetros hidroquímicos y de contaminación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la zona estudiada existe una estrecha interacción entre relieve, vegetación, complejos litológicos de sedimentos y los procesos hidrodinámicos presentes. Las condiciones extremas principales están representadas en la ocurrencia de fenómenos negativos como frentes fríos y marejadas, alta salinidad de las aguas, poco desarrollo de los suelos y una extensión areal reducida de los cayos.

Las formaciones vegetales más importantes son el bosque de manglar sobre las zonas inundadas, influenciadas por las variaciones del nivel del mar por la fluctuación de las mareas y en el fondo marino la presencia de fanerógamas, donde se destacan las praderas de *Thalassia testudinum* (seibadal) con especies acompañantes de *Halimeda*s.

La zona se encuentra en un acuatorio de aguas poco profundas, donde la batimetría no sobrepasa la profundidad de -5,0 m. La profundidad promedio en el área total es de -2,0 m; destacándose una pequeña disminución entre el comportamiento de las profundidades desde cayo Santa María a cayo Contrabando y desde este último hasta cayo Guillermo.

La característica principal del fondo marino es el desarrollo de amplios bajos arenosos con profundidades menores de -1,0 m surcados por canales estrechos hasta -2,5 m de profundidad (ver fig. 2). Como zona emergida dentro del área de estudio sólo se encuentra cayo Contrabando.



Fig. 2 - En foto izquierda se observa el bajo arenoso frente a cayo Santa María, mientras que en la siguiente aparece un afloramiento rocoso de la Fm. Jaimanitas en la costa del mismo cayó.

La configuración de los cayos, la orientación de los canales y la formación de estructuras alargadas y continuas expresan las principales manifestaciones tectónicas y neotectónicas. Se evidencia una homogeneidad en toda la estructura del basamento rocoso, dada su profundidad de yacencia en la llanura submarina comprendida entre los cayos Santa María y Guillermo. En la zona en que se ubica cayo Contrabando y sus alrededores se evidencia la presencia de afloramientos rocosos que llegan a constituir pequeños cayos, alineados, con dirección noreste – suroeste (ver fig.3).

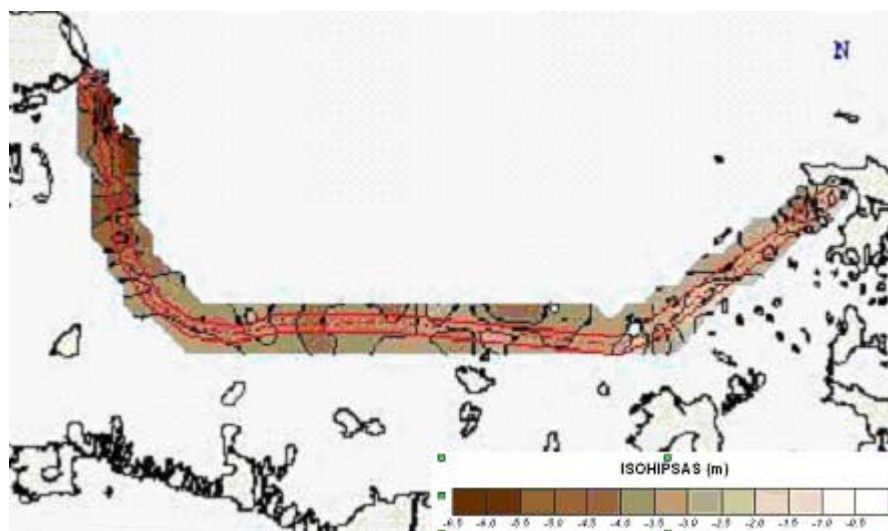


Fig. 3 Esquema de profundidad del techo de los sedimentos rocosos en el área de la traza

La constitución de los sedimentos friables, por un mismo tipo litológico (arenas finas hasta limosas, carbonatadas) de idéntica génesis, a lo largo de toda la traza, constituye sin dudas un rasgo de factibilidad; debido a lo positivo que resulta para el proyecto dicha homogeneidad, considerando que no existen variaciones notables en la composición mineralógica del mismo y se manifiesta además con rangos granulométricos muy similares.

Este estrato de sedimentos no consolidados alcanza espesores no mayores de 2,5 m a lo largo de la traza, teniendo como potencia promedio 1,5 m. Las potencias mayores de estos sólo se presentan en



bancos aislados de arena cercanos a las costas de los cayos Santa María y Guillermo, donde alcanzan espesores de hasta 4,0 m (ver fig.4)

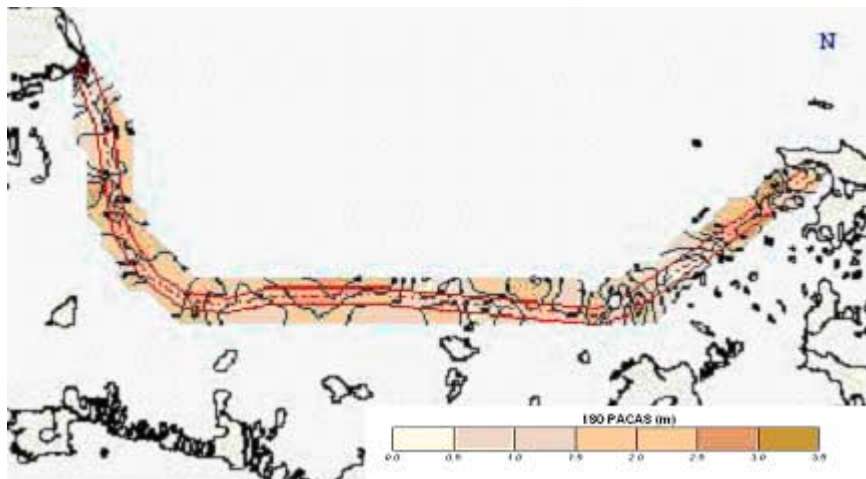


Fig. 4 Esquema de espesores de los sedimentos no consolidados en el área de la traza.

Subyaciendo estos depósitos, se localizan los sedimentos rocosos de la Formación Jaimanitas de edad Pleistoceno Superior (Q_{3js}), formados por calizas biodetríticas (calcarenitas), carsificadas, fosilíferas con conchas, corales y biohermas de especies actuales, algo masivas, porosas, algo densas (ver fig.2).

El área se caracteriza por el predominio de los procesos abrasivos – acumulativos con una marcada incidencia de un régimen hidrodinámico con oleaje de moderado a débil, corrientes de fondo y un sistema general organizado de corrientes de flujo y reflujo (Fernández, L., 1993). Siendo una llanura abrasivo – acumulativa plana, de pendiente muy suave, cubierta por sedimentos arenosos carbonatados de poca potencia con vegetación de seibadal, donde se combinan la presencia de canales, por lo general estrechos y de poca profundidad y bajos arenosos estrechos y alargados en forma de barras así como afloramientos rocosos de calizas que en ocasiones por su extensión llegan a constituir pequeños cayos de poca altura sobre el nivel medio del mar.

Según el documento Normas Sismorresistentes de Cuba, el área de estudio entra en la zona 1A de riesgo sísmico bajo, que puede ocasionar daños en las construcciones debiéndose tomar medidas sismo - resistentes en todas las estructuras y obras en función de la importancia de las mismas. El valor de la aceleración horizontal máxima del terreno expresada como una fracción de gravedad por zonas sísmicas serán de $0.075g$ (0.75 m/s^2), pero según el tipo de roca existente en la zona, donde predominan las calizas y los depósitos de arena la intensidad puede variar.

El área de investigación se encuentra ubicada en la zona sismo- generadora norte cubana, (entre el borde de la plataforma y la base del talud). $M \text{ max: } 7$, $H: 20 \text{ km}$. (Cabrera. M., 1997), con grado de intensidad VII en la escala MSK-64.

En la zona exterior se detectaron las mayores concentraciones de hidrocarburos dispersos en las aguas superficiales, contaminación asociada presumiblemente al impacto del tráfico marítimo del Canal Viejo de las Bahamas el cual pudiera aportar cargas indeterminadas de hidrocarburos.



Tabla. II - Concentraciones de los hidrocarburos totales $\mu\text{g/l}$ en agua.

	Invierno $\mu\text{g/l}$	Verano $\mu\text{g/l}$
Medio	11.98	10.60
Máximo	27.70	18.10
Mínimo	6.50	4.60

En el muestreo realizado a los cayos exteriores donde se incluyeron Santa María y Guillermo se encontró que los contenidos de metales pesados en sedimento son varias veces inferiores a los determinados en el acuatorio interior (Díaz, I., 2000) debido al mayor impacto que reciben las zonas cercanas a la costa que además al encontrarse cercada por una amplia cadena de cayos impiden la dilución de los contaminantes.

Tabla. III - Valores de los metales pesados en $\mu\text{g/g}$ en los sedimentos de las Bahías San Juan de los Remedios, Buenavista y la zona interior de la cayería.

	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Medio	13042	5.0	20.9	75.7	8.8	58922	892	129.1	35	20.1
Máximo	40868	7.9	30.8	390.8	198	15183	363.3	3400	69.9	45.4
Mínimo	246.5	4.0	4.2	6.5	2.9	138.2	1.7	3.8	25.0	5.2

Los porcentos de nitrógeno orgánico obtenidos del procesamiento de los sedimentos los incluyen como contaminados por aportes de materia orgánica, según la norma cubana (1987). En cuanto al carbón orgánico atendiendo a la norma cubana no se observan anomalías, que puedan clasificar a estos sedimentos como contaminados.

Tabla. IV - Valores de Nitrógeno Orgánico y Carbono Orgánico en sedimentos.

No. Estaciones	% N_2 orgánico	% Carbono orgánico
Mínimo	0.71	0.30
Medio	1.92	0.82
Máximo	3.0	1.57

En el área han sido precisados tres elementos ingeniero – geológicos definidos según los tipos litológicos de suelos y rocas existentes teniendo en cuenta las pocas variaciones de sus características físico – mecánicas.

E.I.G. N°1

Arena de grano fino, algo limosa, de color blanco, biogénica, carbonatada. Constituida por fragmentos de conchas de foraminíferos, espículas de equinodermos, fragmentos de algas calcáreas y restos de corales.

Esta arena, según su granulometría clasifica como arena de grano fino algo limosa, encontrándose según el SUCS (Sistema Único de Clasificación de Suelos) en el grupo SM. Se presenta de suelta a medio densa, con muy bajo por ciento de materia orgánica en su constitución. El elemento se presenta a lo largo de toda la traza exceptuando la zona comprendida en los alrededores de Cayo Contrabando.

E.I.G. N°2

Limo arenoso de color blanco, constituido por carbonato amorfo (cerca del 50 %) y restos de fragmentos de conchas de foraminíferos, espículas de equinodermos, fragmentos de algas calcáreas, así como aislados restos de corales.



Este sedimento clasifica según el SUCS dentro del grupo ML. Se presenta menos denso, y en su composición existe un incremento de materia orgánica que en ocasiones, cuando es considerable, puede conllevar a un valor de cohesión no drenada de hasta 0,01 MPa

Las pruebas de penetración estática de cono manual realizadas in situ en los bancos arenosos, arrojaron valores de carga admisibles (q_a) desde menos de 0,1 MPa para el E.I.G. No. 2 hasta 0,2 MPa para el E.I.G. No.1 por debajo del primer metro de potencia donde se puede considerar una arena de compacidad media.

Tabla.V- Propiedades físicas de los sedimentos

E.I.G	Densidad KN/m ³	Peso específico KN/m ³	Densidad Relativa %	Ángulo de fricción interna
Arena	10.6 – 12.4	26.5 - 27	15	30°
Limo arenoso	8.30 – 9.85	26.8	0.10	25°

E.I.G. N°3

Calizas biotécnicas (calcarenitas), carsificadas, fosilíferas con conchas, corales y biohermas de especies actuales, algo masivas, porosas, algo densas.

Los valores de las propiedades físico- mecánicas de este E.I.G., obtenidos a partir de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas de refracción, se representan a continuación:

Tabla.VI- Propiedades física- mecánicas de las calizas

E.I.G. N° 3 Calcarenita	Coeficiente de Poisson	Densidad natural (KN/m ³)	Factor de dureza Protodiakonov	Resistencia a la compresión (MPa)	Módulo elástico o de Young (MPa)	Módulo de deformación (MPa)
Mínimo	0,31	17,0	0,8	4,55	3286,345	548,433
Máximo	0,28	21,1	3,5	15,316	9642,50	1626,488
Medio	0,30	1,94	-	11,033	6919,546	1166,407

Según su resistencia a la compresión simple y módulo de deformación, el macizo rocoso constituido por este elemento clasifica como de baja a mediana resistencia. Dado el valor de su FKP (factor de dureza de Protodiakonov) puede ser considerado de fortaleza media a débil. Presentando una carga admisible (q_a) de 0,25 a 1,17 MPa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El relieve submarino describe una llanura abrasivo – acumulativa plana, de pendientes muy suaves con bajos valores de profundidad del fondo marino, menores de -5,0 m y medios de -2,0 m, lo cual resulta factible para el desarrollo del proyecto.
2. El tectonismo que se manifiesta en el territorio se refleja en términos regionales. No se detectaron durante los trabajos de campo y en la interpretación de los materiales resultantes de los mismos, posibles manifestaciones tectónicas a lo largo de la traza.
3. El área de estudio entra en la zona 1A de riesgo sísmico bajo, que puede ocasionar daños en las construcciones debiéndose tomar medidas sismo - resistentes en todas las estructuras y obras en función de la importancia de las mismas.
4. La presencia de sedimentos friables constituidos por arenas finas hasta limos arenosos, carbonatados con espesores inferiores a los 2,5 m, además de la poca profundidad de yacencia del techo de la roca, representan rasgos de factibilidad en la proyección del viaducto.
5. Se determinaron 3 elementos ingeniero - geológicos, identificados por arena fina algo limosa (E.I.G. No. 1) y limo arenoso (E.I.G. No. 2) dentro de los sedimentos friables; mientras que para



- los sedimentos consolidados se ha identificado las calizas biodetríticas (calcarenitas) (E.I.G. No. 3). Siendo apropiados los mismos como base para el diseño de la cimentación, en la ejecución del proyecto del pedraplén.
6. Los resultados obtenidos de nitrógeno orgánico muestran en las condiciones actuales contaminación por materia orgánica hacia el interior de la Bahía Buenavista, por lo que disminuir el intercambio de agua con el mar abierto implicaría un desequilibrio ecológico, con el consiguiente deterioro de sus fondos.
 7. Es necesario la conservación y protección de los manglares dada función reguladora en el sistema hidrológico local y en la cadena de alimentación que se asocia a este ecosistema, además de los seibadales, bancos algales y arrecifes coralinos.
 8. Al acometer la proyección del viaducto debe emplearse un sistema que permita el libre intercambio de agua, ya que régimen de erosión, transporte y sedimentación cambiante de origen natural, puede ser acelerado mediante modificaciones antrópicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Cabrera, M. (1997). *Geología de la Plataforma marina insular*. Estudios sobre Geología de Cuba. CNDIG. IGP. pp. 179-196
- Derrotero de las Costas de Cuba. Tomo II, ICH. 1995.
- Díaz, I.; et al. (2000) Línea de base ambiental de los cayos Santa María y Guillermo. Geocuba Estudios Marinos, La Habana.
- Estudio de los Grupos insulares y zonas litorales del archipiélago cubano con fines turísticos. Academia de Ciencias de Cuba, ICGC. Editorial Científico Técnica. La Habana. 1990.
- Estrada, V (1999). Estudio de línea de base ambiental proyecto PETROBRAS. Geocuba Estudios Marinos, La Habana.
- Fernández, L. y A. Chirino (1993): Atlas oceanográfico de las aguas de archipiélago Sabana - Camagüey. ICH, La Habana, 1-235.
- Iturralde, M. (2004). Origen y evolución del Caribe y sus biotas marinas y terrestres. CNDIG. IGP. pp gcuba3.
- Linares, E.; et al (1985). *Mapa Geológico de la República de Cuba a escala 1: 500 000*. Cent. Inv. Geológicas. MIINBAS, LA Habana.
- Ortega, F (1999) Estudio ingeniero – geológico. Pedraplén cayo Santa María – cayo Guillermo. Etapa de factibilidad. Geocuba Estudios Marinos, La Habana.

MONITOREO DE LA CONTAMINACIÓN CON METALES PESADOS E HIDROCARBUROS Y EXPLORACIÓN ARQUEOLÓGICA CON EL COMPLEJO REDOX. CASOS DE ESTUDIO

Manuel Pardo⁽¹⁾, Pedro H. Pérez⁽¹⁾, Rubén Stout⁽¹⁾, Eladio Kessell⁽¹⁾, Osvaldo Rodríguez⁽²⁾ y Leonel Delgado⁽³⁾

(1) 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

(2) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington No. 169 esq. a Churruca, Cerro, CP 12 000, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Elect.: ormoran@ceinpet.cupet.cu

(3) Oficina del Conservador de la Ciudad de Trinidad, Media Luna No. 14 entre Callejón de Galdos y Lirio, CP 62600, Trinidad de Cuba, Sancti Spiritus, Cuba, C. Elect.: ihistoricas@restauro.co.cu

RESUMEN

La exploración de áreas contaminadas con metales pesados e hidrocarburos y de sitios arqueológicos representa una tarea de alta demanda en la actualidad. Una creciente necesidad de los estudios medioambientales y arqueológicos lo constituye el incremento de su efectividad a bajos costos. Con estos propósitos se identifican las técnicas geofísico-geoquímicas no convencionales como el **Complejo Redox** (Potencial Redox, Susceptibilidad Magnética, Reflectancia Espectral y Pedogeoquímica), utilizadas, con carácter preliminar, para la cartografía y caracterización rápida de **zonas de actividad geoquímica incrementada**, donde sería utilizado, posteriormente, el complejo convencional de métodos geofísicos, más resolutivo.

Se abordan, con carácter experimental, diversos casos de estudio: la contaminación de metales pesados en la periferia de una industria de baterías secas; la contaminación de hidrocarburos en la periferia de un gran reservorio (Distribuidora de Hidrocarburos); la contaminación de metales pesados en los límites de una industria química de pinturas; y la exploración de un sitio arqueológico con enterramientos de naturaleza metálica. Como resultado se establece que el complejo Kappametría+ Potencial Redox:

- Ofrece una alternativa para la cartografía de la contaminación superficial de Mn en el área perimetral de la industria de baterías secas y para la estimación aproximada de su grado.
- Revela la naturaleza subsuperficial de la contaminación de hidrocarburos (presumible lente contaminante al nivel freático) en el área perimetral del reservorio, ofreciendo una alternativa para la cartografía del lente contaminante y la evaluación aproximada de su espesor.
- Revela la naturaleza incipientemente subsuperficial de la contaminación metálica (presumible contaminación débil al nivel freático) en el área periférica de la industria química de pinturas, ofreciendo una alternativa para su cartografía. Los niveles intensamente anómalos de la Susceptibilidad Magnética Normalizada, la Reflectancia Espectral Reducida y el Contenido Normalizado de los metales contaminantes en el suelo acusan, además, una importante contaminación superficial.
- Revela la naturaleza superficial de la contaminación ferrosa provocada por las estructuras fabriles (Trenes Jamaquinos) enterradas en el área de producción del antiguo ingenio azucarero, ofreciendo una alternativa para su identificación y caracterización, así como para la toma de decisiones relativa a la excavación exploratoria.

ABSTRACT

The exploration of polluted areas with heavy metals and hydrocarbons and archaeological places represents a demanded task at the present time. A growing necessity of the environmental and archaeological studies constitutes the increment of its effectiveness at low costs. With these purposes are identified the non conventional geophysical-geochemical techniques as the **Redox Complex** (Redox Potential, Magnetic

Susceptibility, Spectral Reflectance and Soil Geochemistry), used, with preliminary character, for the cartography and quick characterization of **areas of increased geochemical activity**, where it would be used, later on, the, more resolute conventional complex of geophysical methods.

There are approached, with character experimental, diverse cases of study: the contamination of heavy metals in the periphery of an industry of dry batteries; the contamination of hydrocarbons in the periphery of a great reservoir (Hydrocarbons Distribution Station); the contamination of heavy metals in the limits of a chemical industry of paintings; and the exploration of an archaeological place with burials of metallic nature. As a result it settles down that the complex Redox Potential +Kappametry:

- It offers an alternative for the cartography of the superficial Mn contamination in the perimetral area of the industry of dry batteries and for the approximate estimate of its degree.
- It reveals the subsuperficial nature of the hydrocarbons contamination (presumably polluting lens at the phreatic level) in the perimetral area of the reservoir, offering an alternative for the cartography of the polluting lens and the approximate evaluation of its thickness.
- It reveals the incipiently subsuperficial nature of the metallic contamination (presumably weak contamination at the phreatic level) in the outlying area of the chemical industry of paintings, offering an alternative for its cartography. The intensely anomalous levels of the Normalized Magnetic Susceptibility, the Reduced Spectral Reflectance and the Normalized Soil Content of the polluting metals accuse, also, an important superficial contamination.
- It reveals the superficial nature of the ferrous contamination caused by the industrial structures (Jamaican Trains) buried in the area of production of the old sugar factory, offering an alternative for its identification and characterization, as well as for the taking of decisions relative to the exploratory excavation.

INTRODUCCION

La exploración de áreas contaminadas con metales pesados e hidrocarburos y de sitios arqueológicos representa una tarea de alta demanda en la actualidad. De acuerdo con [4], los métodos geofísicos convencionales como los Geoeléctricos (CD, CA y PI), el Georadar y la Sísmica ofrecen, con una alta resolución, la distribución espacial de los parámetros subterráneos caracterizadores, los cuales son verificados por la perforación (o excavación) exploratoria. No obstante, una creciente necesidad de los estudios medioambientales y arqueológicos lo constituye el incremento de su efectividad a bajos costos. Con estos propósitos se identifican las técnicas geofísico-geoquímicas no convencionales utilizadas, con carácter preliminar, para la cartografía y caracterización rápida de **zonas de actividad geoquímica incrementada**, donde sería utilizado, posteriormente, el complejo convencional de métodos geofísicos. Dentro de las mencionadas técnicas se enmarca el **Complejo Redox** (Potencial Redox, Susceptibilidad Magnética, Reflectancia Espectral y Pedogeoquímica), el cual brinda información sobre las modificaciones del medio que tienen lugar en la parte superior del corte, directamente sobre cualquier **objetivo de naturaleza metálica**, controladas, en general, bajo el **Principio Geoquímico de la Migración Vertical de Iones Metálicos**, y determinadas por las particularidades de composición, grado y de yacencia del mismo. Este complejo resulta particularmente efectivo para trabajos de reconocimiento rápido y barato, permitiendo la reducción y caracterización de áreas, con la consiguiente optimización de la toma de decisiones para la exploración convencional. En el presente trabajo se abordan, con carácter experimental, diversos casos de estudio [2,3]: la contaminación de metales pesados en la periferia de una industria de baterías secas; la contaminación de hidrocarburos en la periferia de grandes reservorios (Distribuidora de Hidrocarburos); la contaminación de metales pesados en los límites de una industria química de pinturas; y la exploración de un sitio arqueológico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los trabajos experimentales en los Casos de Estudio Medioambientales consideran, como regla, una línea de medición transversal a (o en) los límites perimetrales de las industrias (o reservorio), la cual se extiende hacia el exterior con distancia límite variable en dependencia de la accesibilidad de la zona, siendo el paso de observación de 20-25 m. En el Caso del Sitio Arqueológico, la línea de medición es transversal y simétrica a la supuesta dirección del objetivo, con un paso de observación de 0.5 m.

De acuerdo con [1, 2 y 3], 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 constante entre ellas. 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 piso y paredes del hoyo (o en muestras tomadas de él, con un peso aproximado de 500 g) 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 (o muestras). La precisión aceptada no debe superar el 10 - 15%.

La medición de la Reflectancia Espectral (RE) se realiza con el Radiómetro Multiespectral CROPSCAN Modelo MSR5, de cinco bandas (485, 560, 660, 830 y 1650) sobre muestras con un peso mínimo de 60 g, empleando un diseño especialmente preparado para esos efectos. La calidad de las observaciones se evalúa a partir del error absoluto en la determinación de la Reflectancia Espectral en cada banda, considerando un 10% de mediciones repetidas al término del trabajo en el día. La precisión aceptada no debe superar el 0.5%.

Si las mediciones se llevan a cabo en más de una línea, el estudio de la Reflectancia Espectral y el Análisis Químico de elementos metálicos se realiza solo en un volumen reducido (30-50%), para las líneas más anómalas, de manera que permita la calibración del proceso de interpretación. En los Análisis Químicos se utilizan digestiones convencionales, la Espectroscopia con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP) y/o la Absorción Atómica.

Los estimados de productividad del complejo Kappametría + Potencial Redox + Muestreo de Suelos, paso de observación 20-25 m (estudios medioambientales), es de 28-32 PF/CD en terrenos con Categoría de Dificultad II, y con paso de observación 0.5 m (estudios arqueológicos), de 40-50 PF/CD en igual categoría de terreno.

Los datos de campo del **Complejo Redox** son captados, almacenados, procesados, interpretados y representados de manera automatizada con el **Sistema Redox** [5], elaborado especialmente para este complejo de técnicas.

La interpretación cualitativa de los datos del **Complejo Redox** considera la identificación, en términos de gradientes (incrementos o decrementos respecto al fondo local), del comportamiento de cada

atributo ante la contribución anómala de los elementos metálicos **constituyentes básicos** provenientes de la fuente. De ahí, que resulte pertinente tratar con atributos reducidos o normalizados con respecto al fondo local, en dependencia de que la distribución característica para el atributo en cuestión sea normal o lognormal. Como regla, la intensidad de las anomalías de los distintos atributos medidos es proporcional a la concentración de los contaminantes en el suelo. Las particularidades de este comportamiento son las siguientes:

- La Susceptibilidad Magnética Normalizada por el fondo local (K_n) exhibe máximos asociados a la columna de ambiente reductor sobre contaminaciones al nivel del manto freático y, también, sobre zonas de oxidación superficiales producto de contaminaciones metálicas; debido a la conversión de los minerales de hierro no magnéticos (hematita, pirita) en variedades magnéticas diagenéticas más estables (magnetita, maghemita, pirrotina y griegita). Como limitación, se señala la observación de máximos de naturaleza litológica en los casos de suelos ferruginosos o derivados de rocas magnéticas, o debido a la presencia de basureros arqueológicos. La presencia de una cobertura transportada muy reciente (<10 años) es, también, limitante.
- El Potencial Redox Reducido por el fondo local (U_r) exhibe mínimos (columnas reductoras) asociados a contaminaciones al nivel del manto freático, además, de máximos asociados a zonas de ambiente oxidante sobre contaminaciones metálicas superficiales y objetos arqueológicos muy próximos a la superficie. Las limitaciones se vinculan con los mínimos observados sobre zonas cenagosas secas, acumulaciones de material orgánico y aluviones con alto contenido de elementos metálicos, así como con los máximos observados sobre los basureros arqueológicos y zonas de oxidación de diferente naturaleza. La presencia de una cobertura transportada muy reciente (<10 años) es, también, limitante.
- La Reflectancia Espectral Reducida por el fondo local (RE_r) exhibe, como regla, mínimos asociados al incremento del contenido de los elementos metálicos en el suelo, como consecuencia de su oscurecimiento. La presencia de minerales claros como el cuarzo, la calcita, el caolín y otros, de naturaleza litológica, son los responsables de que se observen máximos. Las limitaciones se vinculan con mínimos de naturaleza litológica, p.e. suelos ferruginosos. La presencia de una cobertura transportada muy reciente (<10 años) es, también, limitante.
- El Contenido Normalizado por el fondo local de los Elementos Metálicos en el suelo (C_n), **constituyentes básicos** de la fuente, exhibe incrementos sobre las contaminaciones metálicas, de hidrocarburos y sobre los objetos arqueológicos de naturaleza metálica, superficiales y subsuperficiales. Las limitaciones se vinculan con acumulaciones metálicas no asociadas a la fuente objeto de estudio y la presencia de una cobertura transportada muy reciente (<10 años).

RESULTADOS

Caso de Estudio 1: Contaminación de metales pesados en la periferia de una Fábrica de Baterías Secas.

La fábrica de Baterías Secas Yara involucra en su producción a un grupo de metales pesados (Mn, Pb, Zn, Hg y Cd), siendo el componente y contaminante principal el Mn. A fin de caracterizar la contaminación de los suelos en el área perimetral de la industria se desarrollaron trabajos por el **Complejo Redox** a lo largo de una línea con longitud 200 m, paso de observación 20 m, la cual parte, perpendicularmente con rumbo S - N, desde la pared de la fábrica en el sector de mayor contaminación, hacia un campo ocasionalmente cultivado de hortalizas. A continuación se describe, brevemente, el comportamiento de los diferentes atributos medidos (Fig.1):

Susceptibilidad Magnética

Se ha establecido en diversos estudios [4], la alta efectividad del uso de la Kappametria como método preliminar, barato y rápido, para determinar la presencia de altos contenidos de metales pesados (Pb, Zn, Cu, Cd, Hg, As, Sb, Fe, Co, Ni y otros) en suelos, siendo los valores de Kappa proporcionales a los altos contenidos de metales.

En el caso de estudio, la Susceptibilidad Magnética Normalizada exhibe un comportamiento muy similar al del Contenido Normalizado de Mn en el suelo (determinado en muestras a partir del Análisis Químico por Absorción Atómica) (Fig.1), permitiendo establecer por regresión una dependencia lineal entre ambos atributos (Fig.2), la cual posibilita la estimación aproximada del grado de contaminación superficial a partir de los valores de Kappa. Los incrementos (sin normalizar) de este atributo (intervalos 0 - 60 y 130 - 200) son del orden de 6.0 a 7.0×10^{-3} SI, estando asociados a contenidos anómalos de Mn de 6000-7000 g/t, hecho que pudiera deberse a la transformación de los minerales de hierro no magnéticos en variedades magnéticas en las condiciones de un ambiente oxidante ($U_r=20-50$ mV). Los valores mínimos (intervalo 60 - 130), indican un nivel menor de contaminación (<3000 g/t) y de oxidación (<20 mV). Según estos resultados, la zona contaminada se extiende a lo largo de la línea por más de 200 m, hecho insospechado que pudiera tener su explicación en el escurrimiento superficial unido a la presencia de barreras geoquímicas, p.e. suelos lateríticos.

Potencial Redox

Se observan anomalías típicas de oxidación (máximos del Potencial Redox Reducido) del orden de 20-50 mV, en los intervalos 0 - 60 y 130 - 200, indicando que la fuente de contaminación es superficial (parte superior del perfil del suelo); los valores menores observados en el intervalo 60 - 130, concuerdan con el menor nivel de contaminación según los criterios antes expuestos.

Reflectancia Espectral

El comportamiento de la Reflectancia Espectral Reducida no es correlacionable con el del contenido de Mn en el suelo, presumiendo que la respuesta es, predominantemente, litológica.

Pedogeoquímica

Las muestras de suelo fueron sometidas al Análisis Químico por Espectroscopia con Plasma Inductivamente Acoplado para los elementos Pb, Zn y Hg, y por Absorción Atómica para los elementos Mn y Cd, siendo el Mn el elemento más anómalo (15 - 20 veces el fondo local), manifestando, por su alto contenido, el carácter superficial de la contaminación.

Caso de Estudio 2: Contaminación de hidrocarburos en la periferia de grandes reservorios (Distribuidora de Hidrocarburos).

De acuerdo con investigaciones anteriores [4], como regla, este tipo de contaminación tiene lugar en forma de un lente en la zona vadosa sobre el nivel freático y, en menor grado, en la zona superior de acuíferos cercanos a la superficie, de ahí que la contaminación principal se catalogue de subsuperficial. La misma es el resultado de varios años de múltiples pérdidas de los reservorios, derrames y otros eventos que filtran hacia el subsuelo los fluidos orgánicos. La expresión superficial de tal tipo de contaminación parece estar controlada por el proceso de la **Migración Vertical de Iones Metálicos** a partir del referido lente contaminante, y su asociación con ventanas cársicas en los terrenos carbonatados.

La Distribuidora de Hidrocarburos Güines es un gran reservorio de fluidos orgánicos (gasolina, kerosén y petróleo) desactivado en el año 2000, en el cual se conoce de eventos de derrames de petróleo y gasolina. El mismo está enclavado sobre la formación Güines, del terciario, de naturaleza carbonatada. A fin de caracterizar la contaminación en el área perimetral del reservorio se desarrollaron trabajos por el **Complejo Redox** a lo largo de una línea con longitud 220 m, paso de observación 20 m, la cual parte, perpendicularmente con rumbo O - E, desde la cerca perimetral, hacia un campo ocasionalmente cultivado de hortalizas. A continuación se describe, brevemente, el comportamiento de los diferentes atributos medidos (Fig.3):

Susceptibilidad Magnética

La Susceptibilidad Magnética Normalizada exhibe incrementos en los intervalos 0 – 50 y 100 – 170 los cuales disminuyen en intensidad a medida que se alejan del límite del reservorio. Estos incrementos se asocian con mínimos del Potencial Redox Reducido, por lo que se explican debido a la transformación en el suelo de los minerales de hierro no magnéticos en variedades magnéticas bajo las condiciones de un ambiente reductor (< -50 mV).

Potencial Redox

Se observan anomalías típicas de reducción (mínimos de Potencial Redox Reducido) del orden de -50 a -200 mV, en los intervalos 0 – 50, 100 – 170 y 190 - 210, las cuales son testigos de una fuente metálica subsuperficial. Como en el caso anterior, las anomalías disminuyen en intensidad a medida que se alejan del límite del reservorio, pudiendo evidenciar, de modo indirecto, una disminución progresiva de la potencia del lente de hidrocarburos al nivel freático. La zona afectada por la contaminación se extiende por toda la línea hasta una distancia de al menos 220 m, pero su expresión superficial en los atributos de Kappa y Uredox tiene forma discontinua, lo cual podría sugerir su asociación con ventanas cársticas.

Reflectancia Espectral

La Reflectancia Espectral Reducida tiene una expresión diferenciada, manifestando un máximo en el intervalo 0 – 50, de presumible naturaleza litológica, y una zona de mínimo, débil, en la parte restante de la línea, muy probablemente vinculada al sutil oscurecimiento del suelo provocado por la contaminación con V, de origen subsuperficial.

Pedogeoquímica

Los resultados del Análisis Químico realizado por Absorción Atómica para los elementos de Vanadio y Plomo, parece poner de manifiesto la composición principal de los fluidos orgánicos en el lente contaminante subsuperficial: gasolina (Pb) en el intervalo 0 – 50, petróleo (V) en el intervalo 50 – 190 y gasolina + petróleo (Pb y V) en el intervalo 190 – 210. Los bajos niveles de contaminación (3 – 4 veces el fondo local) revelan, también, la naturaleza subsuperficial de la fuente contaminante.

Caso de Estudio 3: Contaminación de metales pesados en la periferia de una industria química de pinturas.

De manera análoga a la contaminación por fluidos orgánicos, un descuidado manejo de los desechos en industrias químicas puede provocar la contaminación del manto freático. Este tipo de contaminación, según [4], tiene lugar, también, en forma de un lente en la zona vadosa sobre el nivel freático, pudiendo la misma alcanzar la zona superior de acuíferos cercanos a la superficie, de ahí que la contaminación se pueda catalogar, también, de subsuperficial, aún cuando pueda tener un importante componente superficial.

La industria química de pinturas Vitral de Capdevilla involucró en su producción metales pesados como el Pb y el Zn, los cuales constituían los contaminantes principales. A fin de caracterizar la

SEGUNDA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS '2007.
Memorias en CD-Rom, La Habana, 20-23 de Marzo de 2007

contaminación de los suelos en el área limítrofe al Río Almendares, con el cual colinda la industria, se desarrollaron trabajos por el **Complejo Redox** a lo largo de una línea con longitud 80 m, paso de observación 20 m, la cual parte, perpendicularmente con rumbo S - N, desde los límites no contaminados dentro de la industria, hacia el sector de mayor contaminación (lado Norte), colindante con el río. Las muestras de suelo tomadas fueron sometidas al Análisis Químico por Espectroscopia con ICP para los elementos Pb y Zn.

El comportamiento de los diferentes atributos medidos (Fig.4) revela una única anomalía en el intervalo 50 – 80, limítrofe con el río. La combinación Máximo de K_n y Mínimo (muy débil) de U_r , revela la naturaleza incipientemente subsuperficial de la fuente contaminante. Por otro lado, los altos niveles de contaminación observados (Pb, 45 veces el fondo local y Zn, 20 veces el fondo local), los cuales se corresponden con una intensa anomalía (-15%) de la Reflectancia Espectral Reducida, sugieren una importante contaminación superficial.

Caso de Estudio 4: Exploración de un sitio arqueológico con enterramientos de naturaleza metálica.

El área de producción del Ingenio Güaimaro (Valle de los Ingenios, Trinidad de Cuba) se encuentra enterrada, desde hace más de 50 años, bajo una capa de escombros de espesor variable, entre 0.5 y 1 m, que impide identificar las antiguas estructuras fabriles: trenes de pailas de hierro donde se hervía el guarapo (Trenes Jamaíquinos), las cuales son el objeto de descubrimiento y restauración. Aunque se disponía de cierta información sobre la posible posición y dirección de estas estructuras, la misma debía ser confirmada para decidir la estrategia de excavación en el área. Como principio rector para el trabajo con el **Complejo Redox** se consideró la hipótesis de que sobre las estructuras fabriles debía observarse un mayor nivel de contaminación ferrosa que en su entorno inmediato, resultado de la **Migración Vertical de los Iones Metálicos**. Siguiendo ese criterio, los trabajos se desarrollaron, con paso de observación 0.50, m a lo largo una línea de 5 m de longitud con rumbo O – E, dirección establecida para interceptar, supuestamente, de manera transversal, por su centro (estación 0), la presumible estructura fabril.

El comportamiento de los diferentes atributos medidos (Fig.5) revela una única anomalía en el intervalo -1 – +1 (2 m de ancho), la cual parece identificar una estructura fabril. La Susceptibilidad Magnética Normalizada exhibe un débil incremento (1.5 veces el fondo local) asociado a un máximo del Potencial Redox Reducido del orden de 35 – 60 mV, el cual evidencia un claro ambiente de oxidación, típico de contaminaciones metálicas en condiciones superficiales. Se observa, también la correspondencia de un mínimo de la Reflectancia Espectral Reducida del orden de -2%, debido al sutil oscurecimiento del material superficial, y el débil incremento del Contenido Normalizado de Hierro (1.2 – 1.5 veces el fondo local), proveniente de la estructura fabril enterrada, el cual es el responsable del comportamiento anómalo de los atributos medidos.

CONCLUSIONES

Como resultado se establece que el complejo Kappametría+ Potencial Redox:

- Ofrece una alternativa para la cartografía de la contaminación superficial de Mn en el área perimetral de la industria de baterías secas y para la estimación aproximada de su grado.
- Revela la naturaleza subsuperficial de la contaminación de hidrocarburos (presumible lente contaminante al nivel freático) en el área perimetral del reservorio, ofreciendo una alternativa para la cartografía del lente contaminante y la evaluación aproximada de su espesor.
- Revela la naturaleza incipientemente subsuperficial de la contaminación metálica (presumible contaminación débil al nivel freático) en el área periférica de la industria química de pinturas,

ofreciendo una alternativa para su cartografía. Los niveles intensamente anómalos de la Susceptibilidad Magnética Normalizada, la Reflectancia Espectral Reducida y el Contenido Normalizado de los metales contaminantes en el suelo acusan, además, una importante contaminación superficial.

- Revela la naturaleza superficial de la contaminación ferrosa provocada por las estructuras fabriles (Trenes Jamaquinos) enterradas en el área de producción del antiguo ingenio azucarero, ofreciendo una alternativa para su identificación y caracterización, así como para la toma de decisiones relativa a la excavación exploratoria.

RECOMENDACIONES

En virtud de los resultados alcanzados en la aplicación del **Complejo Redox** para el Monitoreo de la Contaminación con Metales Pesados e Hidrocarburos y la Exploración de Sitios Arqueológicos con enterramientos metálicos, se recomienda introducir y generalizar su aplicación por parte de las instituciones científicas que tienen bajo su responsabilidad los estudios medioambientales y arqueológicos.

BIBLIOGRAFIA

- 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, 13 pp.
- Pardo, M., 2003: Informe del Proyecto de Investigación – Desarrollo (227): Análisis teórico y diseño de los parámetros cuantitativos del Método Redox en áreas de control (inédito). IGP, La Habana, 37 pp.
- Pardo, M., 2005: Informe del Proyecto de Investigación – Desarrollo (244): Estimaciones cuantitativas por el **Complejo Redox** en su aplicación a la prospección geológica, los estudios medio ambientales y arqueológicos (inédito). IGP, La Habana, 43 pp.
- Proceedings of the IV Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society (European Section) Instituto Geográfico Nacional, Madrid, 1998, 1112 pp.
- Rodríguez, O., IGP, 2005: Software **Sistema Redox**. CENDA, Registro 1589-2005. Manual de Usuarios, 118pp.

Proyecto: I + D 227

Sector: Fábrica Pilas Yara

Objeto: Medio Ambiente

Escala: 1:4000

Perfil: 1

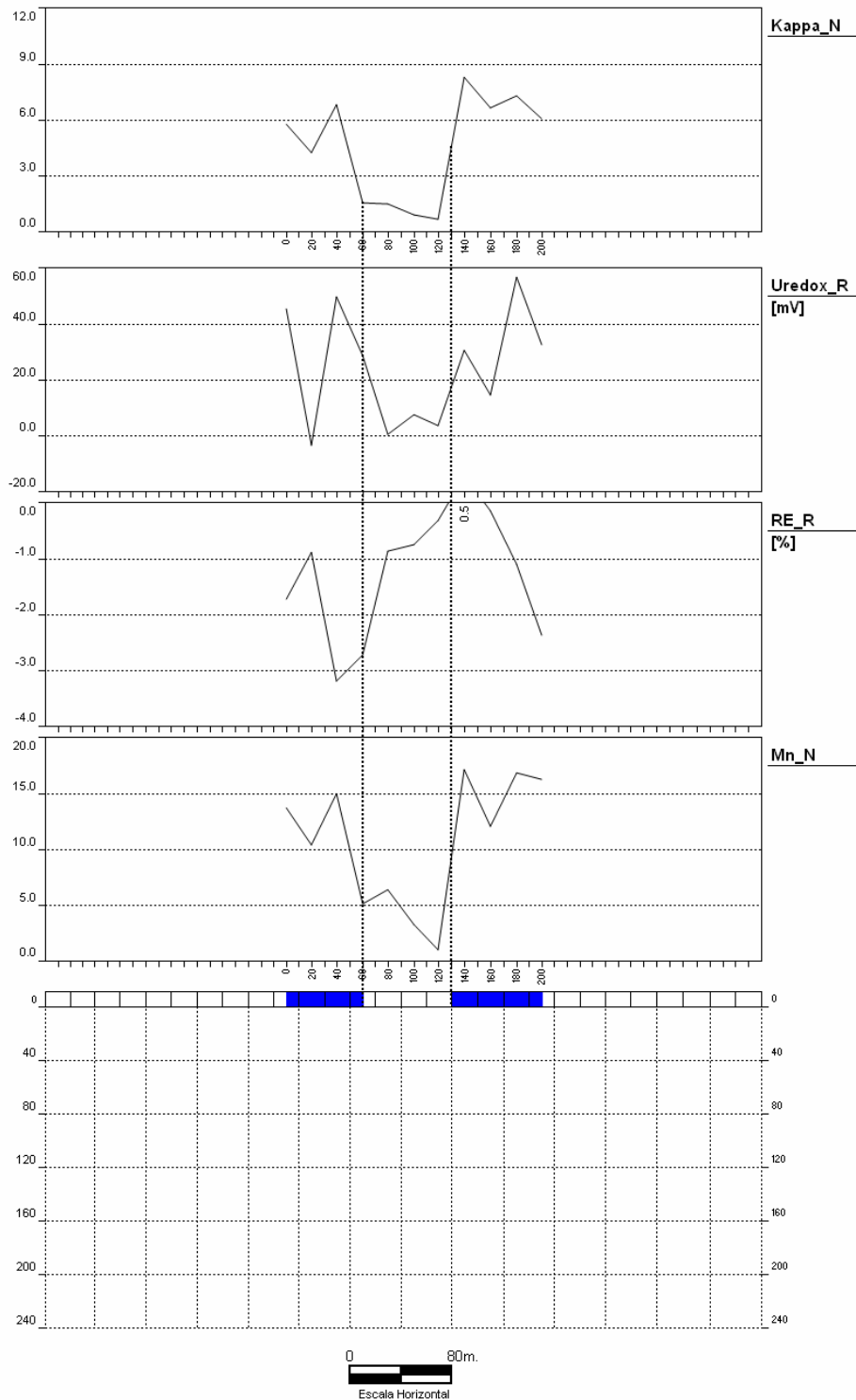


Fig. 1. Gráfico de los diferentes atributos medidos (reducidos y/o normalizados) en el área perimetral de la fábrica de baterías secas Yara.

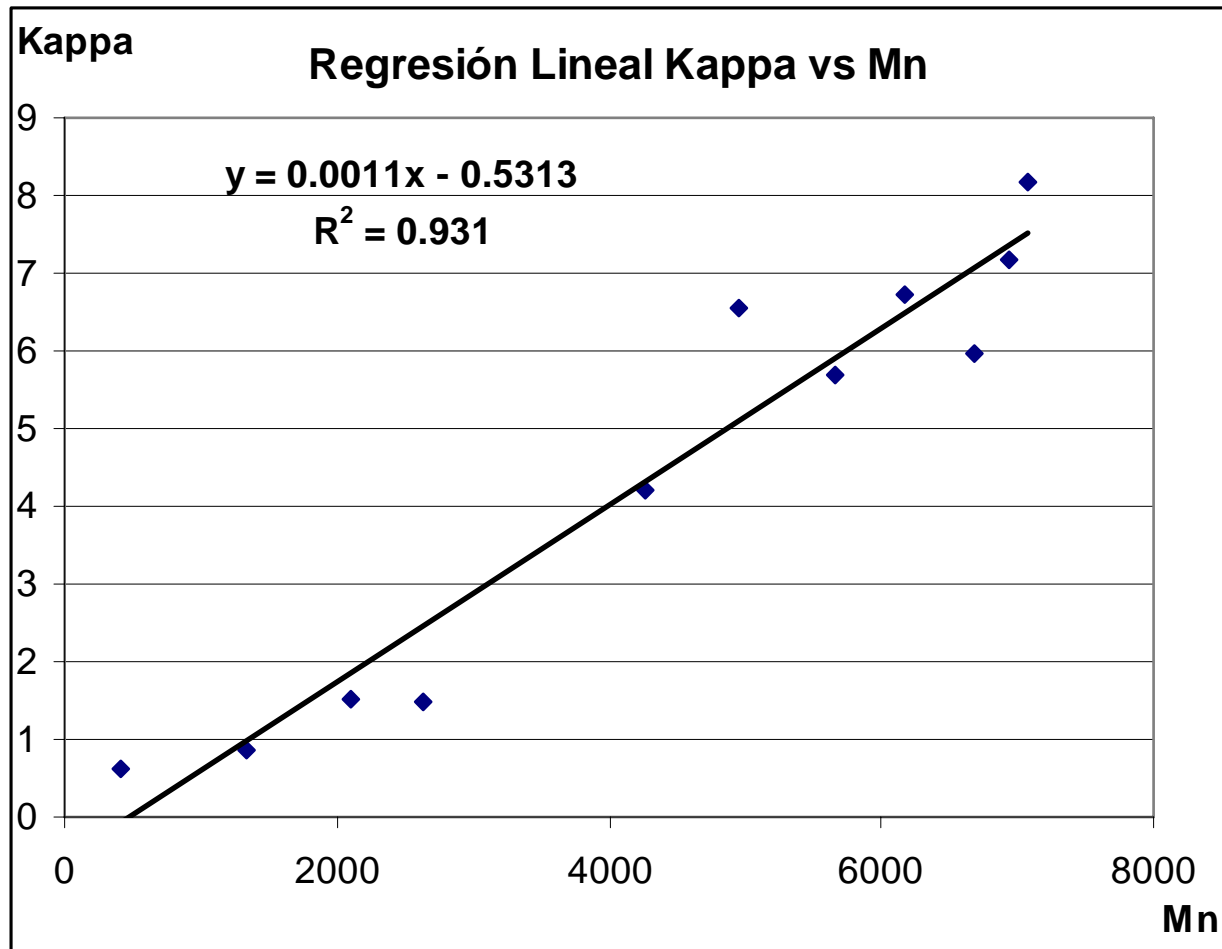


Fig. 2. Gráfico de la relación lineal de Kappa (x 10⁻³ SI) vs. Contenido (g/t) de Mn.

Proyecto: I + D 227

Sector: Distribuidora Güines

Objeto: Medio Ambiente

Escala: 1:4000

Perfil: 1

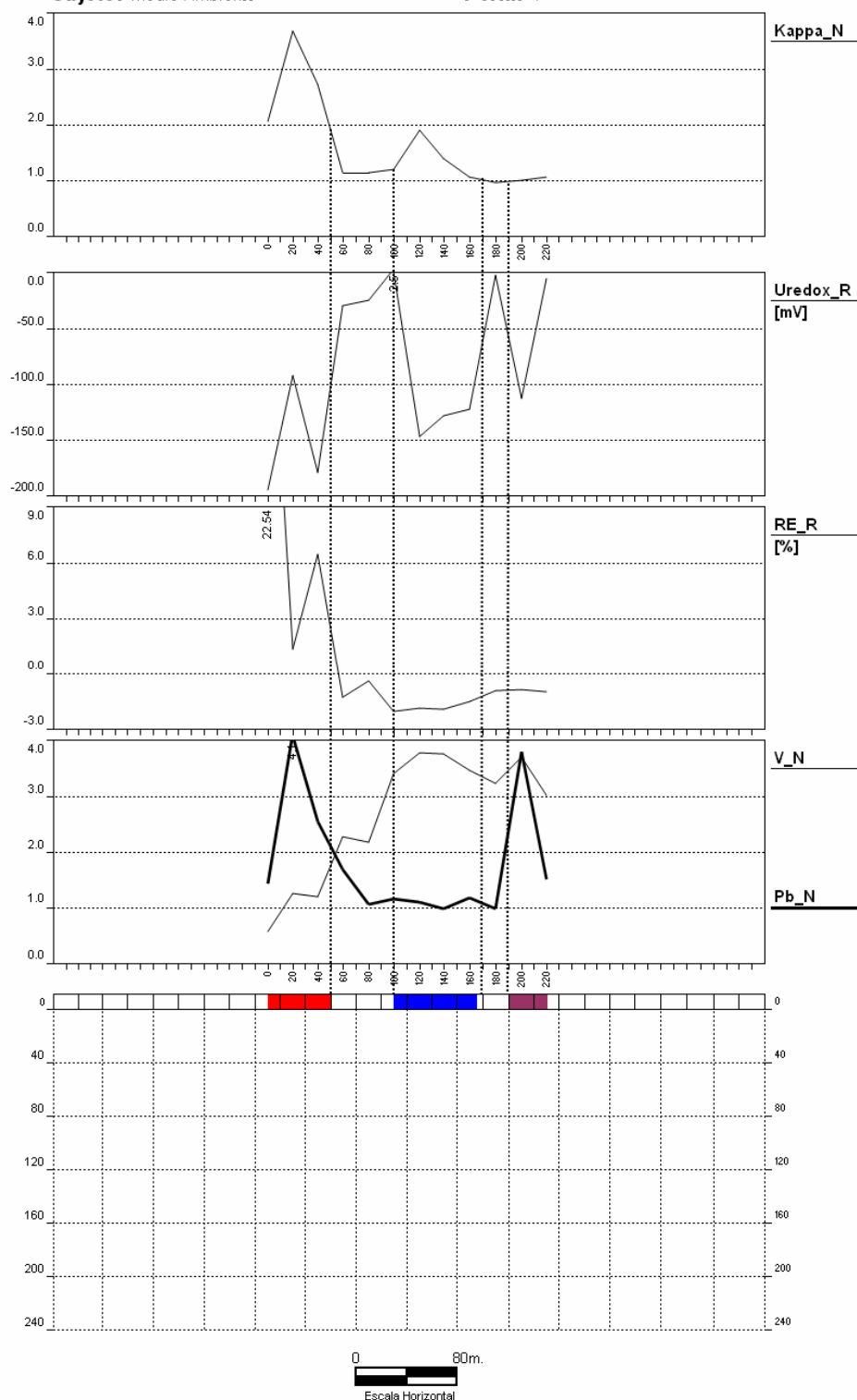


Fig. 3. Gráfico de los diferentes atributos medidos (reducidos y/o normalizados) en el área perimetral de la Distribuidora de hidrocarburos Güines.

Proyecto: I + D 244

Sector: Fbca. Pinturas Capdevilla

Objeto: Medio Ambiente

Orientación: N-S

Escala: 1:4000

Perfil: 1

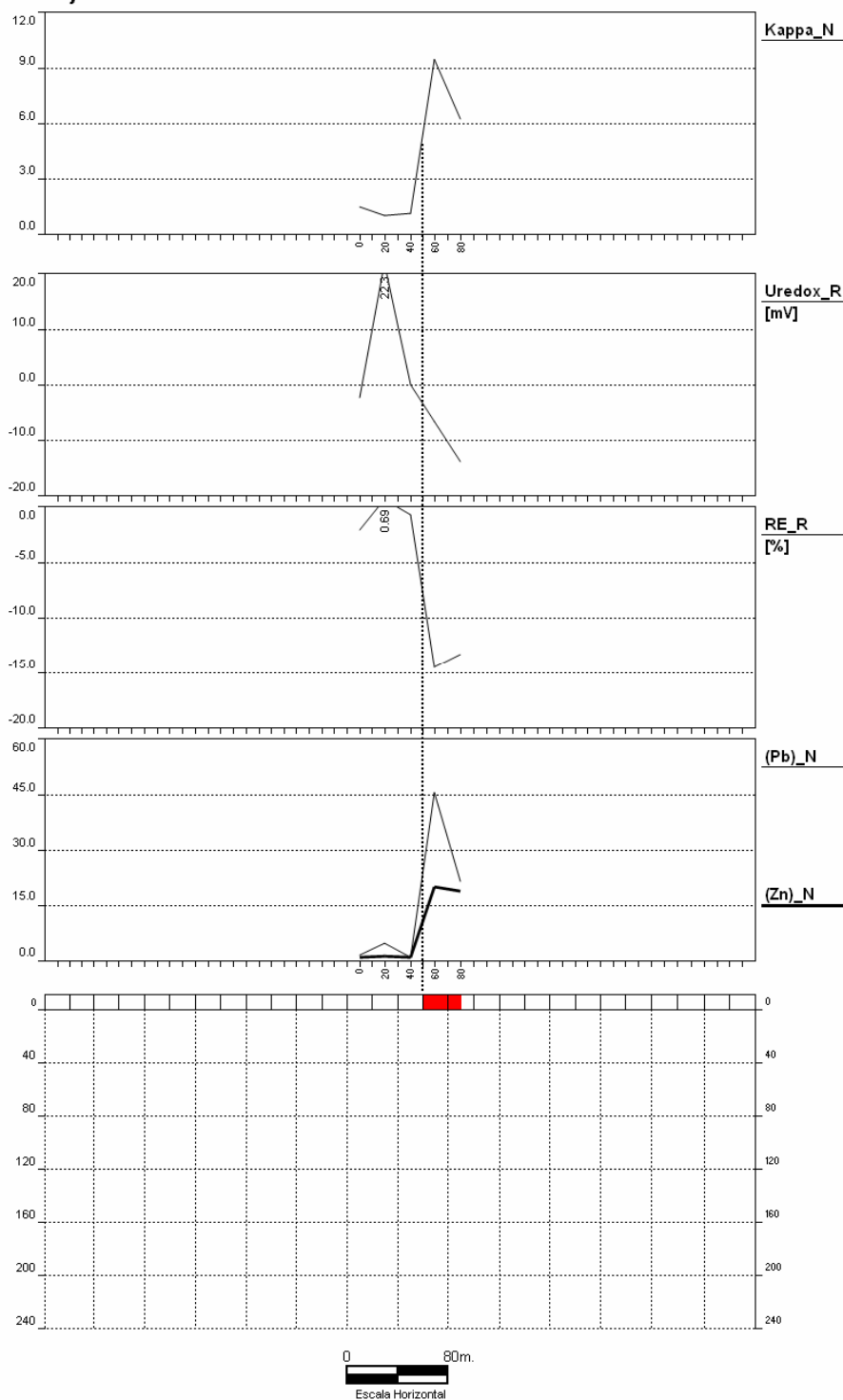


Fig. 4. Gráfico de los diferentes atributos medidos (reducidos y/o normalizados) en el área periférica de la industria química de pinturas Capdevilla.

Proyecto: I + D 244

Sector: IngenioGuáimaro

Objeto: Arqueología

Orientación: NO-SE

Escala: 1:100

Perfil: 2

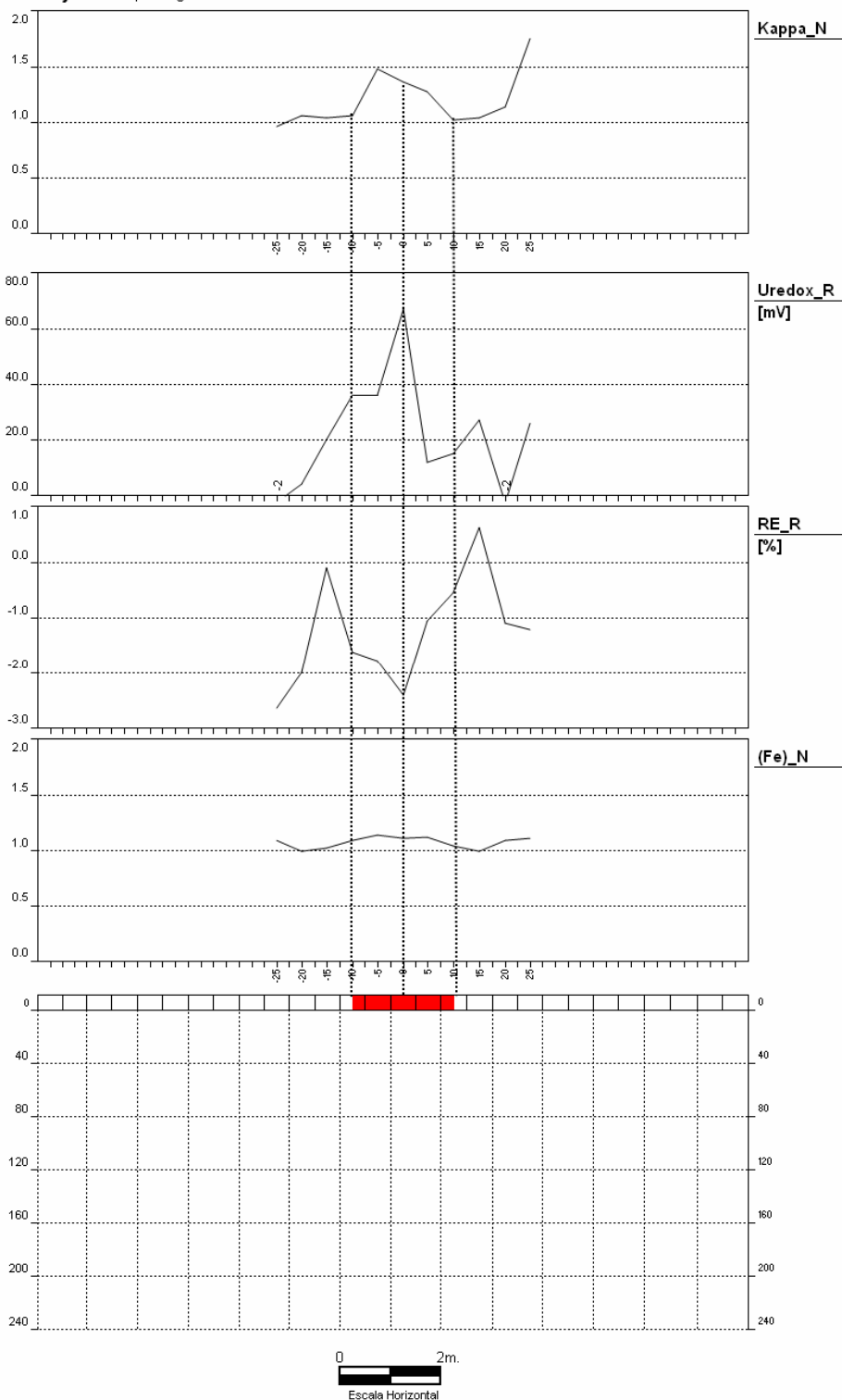


Fig. 5. Gráfico de los diferentes atributos medidos (reducidos y/o normalizados) en el área de producción del Ingenio Guáimaro.



MODELO PREDICTIVO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN SABRINSKI-MUNICIPIO DE MOSQUERA-COLOMBIA¹

**Carlos Fco. García Olmos², Orlando Riaño Melo³ Edwin Ricardo Ochoa Cruz⁴
Adriana Marcela Achury Arias⁴**

¹ Proyecto financiado por el Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

² Ingeniero Civil, MSc, PhD. Profesor Titular de Ingeniería Forestal, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital, Tel. 091-2513834, Cra. 73A-76-04, Bogotá, cfgarciao@udistrital.edu.co

³ Matemático, Ingeniero de Sistemas y Computación, Especialista SIG, Profesor de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

⁴ Ingeniero Forestal Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

RESUMEN

La zona de Sabrinski situada al occidente de Bogotá, es de montañas tropicales y suelos de origen volcánico. Allí se establecieron 24 parcelas de escorrentía en pendientes del 15 a 50 %, bajo 3 tipos de coberturas que fueron una forestal de pinos y eucalipto, vegetación propia de la zona, denominada rastrojo y de suelo desnudo como referencia. Se realizaron durante un año mediciones de las pérdidas de suelo. Se recopiló la información correspondiente, y se comparó frente a la obtenida mediante el cálculo con los modelos de la Ecuación Universal de pérdidas de suelo, EUPS, Modelo Predictivo de Pérdidas de Suelo para el Sudeste de África llamado SLEMSA y el Modelo de Morgan, Morgan y Finney. Mediante análisis de varianza se determinó como variables fundamentales del proceso de erosión en la zona el suelo, la pendiente y el tipo de cobertura vegetal, con lo cual el modelo seleccionado fue el SLEMSA, del cual se ajustó el factor "X", que involucra el factor de la pendiente, y con el análisis de modelos de regresión, se obtuvo como ecuación $f(S)$ una expresión de segundo grado.

ABSTRACT

The zone of Sabrinski is situated to the north east of Santa Fe de Bogotá, of the tropical mountains and the soils of the volcanic origin. There, there are established 24 parcels of the runoff of the slopes of the 15 al 50 % under 3 types of the covering that they were of the forester with pines and eucalyptus, own vegetable plantation of the zone named rastrojos, and the nude soil like reference. The project has been executable during one year of the measurement of the soil losses. The correspondent information was recompiled and compared front of the information to obtain by the calculus with the models of the Universal Soil Loss Equation, USLE, for the Soil Losses for the southeast of the Africa named Slemsa and The model of the Morgan, Morgan and Finney, by the analysis of the variant is decided how the fundamental variables of the process of the erosion within the zone of the slope and the type of the vegetable covering with that is adjusted electioneer, was the Slemsa, of from it factor "X" that it involucres the factor of the slope and with the analysis of the models of the regression is obtained how the equation $f(S)$ of the expression of the second grade.

INTRODUCCION

Dentro de la problemática ambiental del país relacionada con el recurso hídrico y la conservación de suelos, está el fenómeno erosivo, que por medio de sus diferentes manifestaciones, tales como el desgaste de la superficie terrestre identificado como erosión laminar, va desnudando los suelos al eliminar de ellos la capa orgánica que permite la presencia de la cobertura vegetal, cuando se transportan en el agua sedimentos en suspensión que se desprenden desde las vertientes de las cuencas hasta los ríos y embalses. (Lecarpentier, 1977).



La erosión va deteriorando los recursos naturales de su entorno y reduciendo su productividad económica. Es el caso del empobrecimiento de los suelos, la pérdida de la capa más valiosa para el desarrollo de los cultivos.

Para implementar planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas que permitan en el corto, mediano y largo plazo controlar este fenómeno de destrucción del potencial del suelos se requiere un conocimiento preciso sobre la distribución espacial de la erosión y de un instrumento que permita su estimación bajo diferentes condiciones del suelo, su uso y manejo.

El área de Sabrinski en el departamento de Cundinamarca, es de 4000 hectáreas, caracterizadas por ser muy susceptibles a los procesos erosivos, dadas sus condiciones especiales de zona desértica, definida ecológicamente en la clasificación de Holdridge como bs-MB, con una precipitación media anual de 647.6 mm, en donde es de especial importancia conocer su comportamiento a fin de controlar la erosión y alcanzar su plena recuperación. **(Lecarpentier, 1977).**

En búsqueda de un instrumento aplicable en la zona de estudio, y que se pueda hacer extensivo a áreas mayores mediante modificaciones, que permita a través del conocimiento de las variables más relevantes del fenómeno determinar las pérdidas de suelo, se hace necesaria esta investigación, teniendo en cuenta que los modelos disponibles, entre ellos el más utilizado en Colombia como lo es la "Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo", en adelante EUPS, precisa para su aplicación de una gran cantidad de información, muchas veces no disponible en gran parte del territorio nacional. **(Wischmeier y Smith, 1978).**

La aplicación de la EUPS, así sea teniendo en cuenta los ajustes hechos por **Vega M., 1988**, y **García O. & Castro L., 1998**, presenta dificultades de disponibilidad de información para poder hacer el cálculo de las pérdidas de suelo producidas por erosión hídrica, razón por la cual se busca hallar un modelo más sencillo, que permita la estimación de las pérdidas de suelo con un margen de confiabilidad adecuado.

El modelo de cálculo de erosión hídrica que se propone, por su estructura permite estimar con facilidad las pérdidas de suelo, al tener en cuenta que los aspectos más relevantes en el fenómeno erosivo son su uso y manejo, de los cuales se dispone de la información casi siempre; esta situación hace posible que mediante un modelo apropiado a nuestras condiciones ambientales, se represente en forma aproximada como sucede el fenómeno erosivo, y que tiene sólo en cuenta las variables más relevantes.

OBJETIVO GENERAL

- Determinar un modelo predictivo de erosión hídrica aplicable en Sabrinski, y que genere la información necesaria para su control.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las variables más relevantes para formular un modelo de fácil aplicación en el área en experimentación.
- Establecer la relación existente entre las variables más importantes del proceso erosivo en el área en estudio y su modelización.
- Demostrar la aplicabilidad del modelo propuesto en la determinación de las tasas de erosión y su control en el caso de Sabrinski.



MARCO TEÓRICO

Con respecto a los procesos que deben considerarse para evaluar la degradación del suelo, según Riquier (1982), hay que hacer énfasis en los aspectos físicos del ambiente (suelo, topografía, clima), y aquellos sitios que están relacionados con la actividad humana y que tienden a degradarse paulatinamente con el paso del tiempo.

Los modelos del proceso de erosión hídrica se pueden clasificar según Renard (1977), en modelos de misterio o caja negra, los modelos estocásticos y los modelos de componentes.

Los modelos de misterio o de caja negra se estructuran utilizando como herramientas métodos de regresión múltiple, con logaritmos de producción de sedimentos y otras variables (Flaxman, 1972; Meeuwigg, 1970), para configurar una forma multiplicativa de ecuación como lo es la EUPS. En este tipo de modelos la mayor cantidad de variables se encuentra en lo relacionado con el suelo, hecho que denota la dificultad para identificar su influencia sobre las tasas de erosión (**Thornes, 1980 y Morgan, 1997**).

La EUPS (**Wischmeier y Smith, 1978**) es el modelo de pérdidas de suelo más ampliamente aplicado en diversos países del mundo desde fines de los años sesenta. Sin embargo a esta ecuación se le pueden hacer una serie de observaciones como se anota a continuación:

La EUPS se basa para la estimación de la erosión en la multiplicación de los factores de erodabilidad del suelo, agresividad de las lluvias, pendiente y longitud de la pendiente, y uso y manejo del suelo. Para aplicar este modelo se han elaborado tablas de cada uno de los factores para amplias zonas, en diversos países, pero es de anotar que la EUPS no permite interacciones no lineales entre los factores, hecho que es limitante, ya que las relaciones entre los factores no son lineales. (**Kirby & Morgan, 1984**).

Es importante también analizar el papel del impacto de las gotas de lluvia y el papel del flujo superficial; investigar su relación aclara mucho el proceso erosivo.

Es conocido el efecto compactador de las gotas de lluvia con la consiguiente reducción de la infiltración y el incremento del flujo superficial, como también es entendido el efecto de la cubierta vegetal como protectora del impacto causado por la energía cinética de las gotas de lluvia sobre el suelo. Igualmente se reconoce el efecto de la pendiente sobre la capacidad de transporte de un flujo superficial.

A pesar del conocimiento del fenómeno erosivo, no se tiene un conocimiento adecuado sobre el movimiento directo del suelo removido por la salpicadura de las gotas de lluvia con relación al movimiento del flujo superficial, y no se tiene certeza por consiguiente sobre cual es el balance y equilibrio relativo que puede existir entre la cantidad de partículas de suelo desprendidas y disponibles para ser transportadas y la capacidad de transporte. (**Kirkby & Morgan, 1984**).

El flujo superficial puede mostrar la tendencia que presenta la erosión, puesto que si el transporte brindado por el flujo superficial es parte importante del movimiento del suelo, los cambios del flujo superficial producirán cambios en las tasas de transporte del suelo.

También es sabido que el flujo superficial en un área pequeña y homogénea, en cuanto al suelo, cuando recibe una lluvia de determinada intensidad, se estima como la diferencia entre la intensidad pluvial y la tasa de infiltración, siempre y cuando la intensidad de la lluvia sea mayor a la tasa de infiltración.



La tasa de infiltración máxima se presenta al comienzo de la lluvia y depende más que todo de las características del suelo y de su estado de humedad inicial; luego esta tasa de infiltración va disminuyendo a medida que cae la lluvia en el transcurso del tiempo. Esta situación ilustra que no es lógico que el suelo transportando por el flujo superficial se exprese mediante una multiplicación del factor K de erosividad del suelo y del factor R de agresividad de la lluvia, como lo expresa la EUPS.

Con relación a lo anterior hay que tener en cuenta que existe un efecto sobre el escurrimiento superficial, determinado por las características del suelo y su humedad inicial, cuando la intensidad de la lluvia es mayor que la tasa de infiltración, o por la precipitación total cuando la intensidad de la lluvia es menor que la tasa de infiltración.

Existe una interacción no lineal entre las gotas de lluvia y el transporte del flujo, pero se desconoce los detalles necesarios para cuantificar esta relación, la cual no depende solamente de las propiedades de las partículas de suelo, sino también de las características de la aspereza de la superficie, que afecta las condiciones medias del flujo y la distribución de sus profundidades a lo largo de la pendiente del terreno. **(Kirkby, 1984).**

Para hacer una aplicación adecuada de la EUPS en diferentes zonas, varios investigadores han trabajado en el ajuste y calibración de los factores involucrados. **(Vega M., 1988 y García O. y Castro L., 1998).**

Los modelos estocásticos se implementan para obtener mayor cantidad de datos de eventos, a partir de una serie histórica de ellos que es conocida. Se pueden usar para hacer la predicción de la producción de sedimentos (Woolhiser y Todorovic, 1971). Los datos de precipitación y caudal pueden hallarse estocásticamente para luego aplicar una ecuación de producción de sedimentos. Estos modelos se pueden utilizar más que todo en cuencas exorréicas y no en parcelas de suelos de ladera, donde los modelos basados físicamente tienen mayor aplicabilidad. **(Morgan, 1997).**

Para concebir un buen modelo predictivo de la erosión hídrica basado físicamente, es necesario tener en cuenta algunos criterios fundamentales entre los cuales está el observar y estudiar más detalladamente los procesos de mayor influencia en la cuantificación del fenómeno.

Otro criterio a tener en cuenta es la escala de validez. Si el modelo es correcto deberá tener validez en toda el área y no sólo en parte de ella, y para lograrlo se deberá incluir en el modelo todos los parámetros relevantes para el área total.

Finalmente, se deben tener en cuenta las restricciones, las cuales se refieren principalmente a la conservación de la masa, para el sedimento y el agua, y respecto a los límites adecuados en los bordes de la parcela, el cambio de la pendiente y la base de la pendiente.

Para modelos basados físicamente, sobre erosión hídrica en suelos de ladera, se ha fijado la atención en las tasas de transporte de suelo, la capacidad de desprendimiento por flujo superficial, y la interacción entre la capacidad de desprendimiento y la capacidad de transporte para estimar el transporte real y la tasa de erosión. Otro aspecto que está cobrando interés es la interacción entre los procesos de formación de pequeñas corrientes de agua y los procesos entre ellas.

Los modelos más recientes se basan implícita o explícitamente en la siguiente expresión, para la estimación de la erosión a corto o largo plazo, en suelos de pendiente lateralmente uniforme:

$$\frac{dS}{dX} + \frac{dz}{dt} = A$$



En donde:

S= Tasa actual de transportar sedimentos (pendiente transversal promedio)

x= Distancia horizontal a partir del borde superior de la parcela.

Z= Nivel topográfico a través de la pendiente.

T= Tiempo transcurrido.

A= Tasa media de incremento externo de sedimentos, a través de la pendiente.

$\frac{dS}{dx}$ = Variación de la tasa actual de transporte de sedimentos a lo largo de la proyección horizontal de la parcela.

$\frac{dz}{dt}$ = Tasa de disminución de la superficie del suelo de la parcela

Esta ecuación considera que la densidad del suelo no cambia. Cuando se aplica a procesos individuales debe incluir todas las transferencias entre procesos, y cuando se aplica a todos los procesos juntos deberá obtenerse normalmente una tasa de adición de cero. La ecuación ha sido empleada por Meyer y Wischmeier, 1969, Coling, 1963, Young, 1963, y otros, y ha sido plenamente aceptada. **(Morgan, 1997).**

CARACTERIZACIÓN DE ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio está situada en la parte central del departamento de Cundinamarca, al Noreste de Santa Fe de Bogotá, en la vereda Balsillas del municipio de Mosquera, entre las coordenadas geográficas 4° 30' y 5° 00' Longitud Norte, y entre los 74° 10' y 74° 21' Latitud Oeste, según el meridiano de Greenwich. **Figura 1.**

Su altura promedio es de unos 2600 m.s.n.m.. La zona es de montañas tropicales con temperatura media durante el año que fluctúa entre 12 y 14 °C con poca variación entre los meses, pero con mucha fluctuación entre los ciclos de 24 horas, variando de menos de 0°C por la noche hasta más de 20 °C en el día durante las épocas secas.

Se presenta un régimen de lluvias bimodal, siendo los periodos húmedos los comprendidos entre los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre; y los periodos secos entre los meses de diciembre a febrero y junio a septiembre. En los últimos años han presentado alteraciones debido a procesos atmosféricos como el "fenómeno del niño".

La zona pertenece a la cuenca hidrográfica del río Bojacá. Según el mapa ecológico de Colombia derivado de Holdridge existen en la región de Mosquera dos zonas ecológicas: una zona de bosque húmedo Montano Bajo, bh-MB, donde el bosque primario (*Cordia* sp, *Escallonia* sp y *Clusia* sp) ha sido destruido y reemplazado por Pinos, Eucaliptos, pastos y cultivos como Cebada, Trigo y Hortalizas; y una zona de bosque seco Montano Bajo, bs-MB. Remanentes del bosque primario podrían ser: *Cordia* sp, *Solanum* sp, *Fourcraea* sp, *Opuntia* sp entre otras.

Con base en los ensayos de laboratorio se llegó a un grado de detalle que permite hacer la caracterización de los suelos en cada una de las parcelas de escorrentía. En las parcelas experimentales los suelos son de color habano, de textura arenosa y franco arenosa, con contenido de materia orgánica entre 1.6 y 4.5 %, y una granulometría con predominio de partículas menores a 1 mm, en un 45 a 92 % en la mayoría de las 24 parcelas establecidas.

METODOLOGÍA



La toma de información de pérdidas de suelo se inició con la selección de dos sitios representativos de la zona de estudio, que obedeció a criterios según tipos de cobertura, suelos y pendientes del terreno.

El diseño experimental fue de bloques completamente al azar (**Johnson R. y Wichern, 1982**) con un arreglo factorial de 3 X 2, con 4 repeticiones, donde se dispone de 24 parcelas de 100 m², con dimensiones de 20 * 5 m², distribuidas en 2 rangos de pendiente y 3 tratamientos. **Tabla 1.**

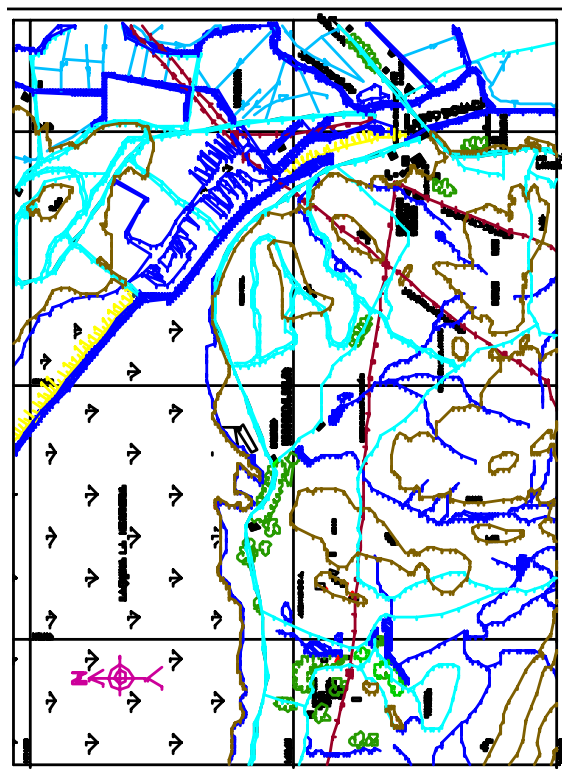


Figura 1. Localización General de la Zona de Estudio

En cada una de las parcelas se delimitó el área con láminas de zinc, y canal de desviación en la parte superior, y se establecieron estructuras de medición consistentes en una canal revestido en concreto en la parte inferior de la parcela, donde se retuvieron los sedimentos arrastrados por el agua de escorrentía originado por el agua lluvia.⁴ Los sedimentos en suspensión y el volumen de agua de escorrentía se almacenaron en un tanque de 15 galones colocado en la parte media del canal, donde confluyeron sus pendientes laterales. **Figura 2.**

Tabla I

Distribución de las Parcelas de Escorrentía según Diseño Experimental

No. PARCELAS	TIPO COBERTURA	PENDIENTE (%)
1-4	Forestal ¹	40-50
5-8	Forestal ¹	15-25
9-12	Rastrojos ²	40-50
13-16	Rastrojos ²	15-25



17-20

Suelo desnudo

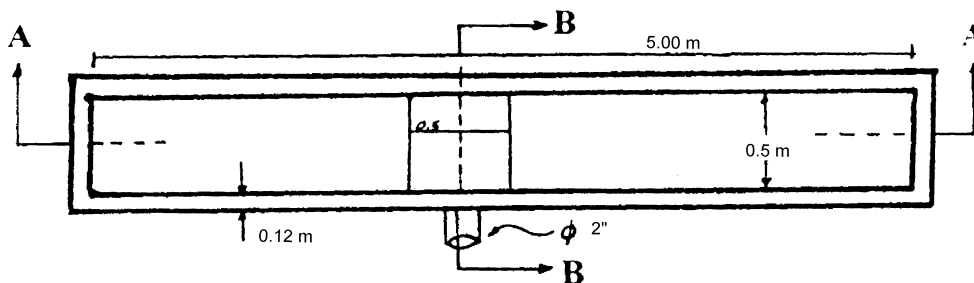
40-50

21-24

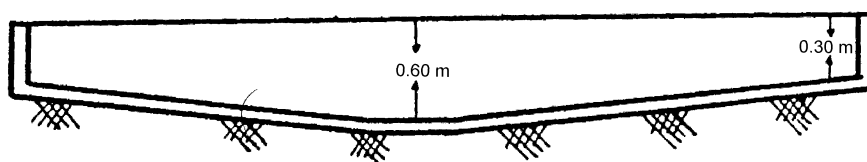
Suelo desnudo

15-25

¹ Eucalipto (*Eucalyptus glóbulus*) y pino (*pinus pátula*). ² Gurrubo (*Solanum lyciodes*), lulo de perro (*Solanum macranta*) y cactus (*Opuntia schumani*).



PLANTA



CORTE A - A

Figura 2. Canal recolector Tipo

Las pérdidas de suelo por salpicadura se midieron con recipientes de 7 centímetros de diámetro y 5 de profundidad, en número de 4, colocados aleatoriamente en cada parcela.

Semanalmente se realizó la toma de información de sedimentos de fondo en cada canal, volumen de escorrentía, sedimentos en suspensión mediante filtrado, y pérdidas de suelo por salpicadura captados por los recipientes.

La precipitación se midió con 3 pluviómetros de dimensiones semejantes a los estandarizados por la Organización Meteorológica Mundial, instalados en sitios representativos para cada tipo de cobertura, y con los registros pluviográficos de los pluviómetros controlados por el Instituto de

Investigaciones y Estudios Ambientales, en adelante IDEAM, que se encuentran en sitios cercanos a los ensayos. Se estimó mediante correlaciones la intensidad de las lluvias.

La confiabilidad de la información se evaluó teniendo en cuenta que las variables que afectan la erosión en la zona de estudio son principalmente la cobertura y la pendiente. Mediante un análisis de varianza (**Johnson, R.A. & Wichern, 1982**), se determinó la existencia de diferencias significativas entre tratamientos y grados de pendiente. La eficacia de los tratamiento se determinó por comparación frente a las parcelas testigo (suelo desnudo).



Del análisis anterior se definieron las variables que más influyen en la estimación de las pérdidas de suelo, y con base en ello se buscó establecer la relación existente entre ellas, para lo cual se seleccionó 3 modelos, con los cuales se compararon sus resultados frente a los pérdidas de suelo observadas experimentalmente.

Se tuvieron en cuenta los modelos de la EUPS, Modelo Predictivo de Pérdidas de Suelo para el Sudeste de África y el Modelo de Morgan, Morgan & Finney, con los cuales se obtuvo la cuantificación de las pérdidas de suelo para el periodo de experimentación que fue desde Julio de 1999 a Abril de 2000.

La EUPS se define como:

$$AS = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

R = Factor de erosividad pluvial para el periodo = $E_c (J/m^2) * I_{30} (mm/h) / 1000$

E_c = Energía cinética de la lluvia en el periodo considerado (J / m^2). Se calcula según Wischmeier como:

$$E_c = 8.95 + (8.44 * \text{Log} (I_{30}))$$

I_{30} = Intensidad máxima de la lluvia en el periodo considerado (mm / h)

Cuando se consideran varios periodos, el valor a utilizar es la suma de los "R" para tener en cuenta todos los periodos, y así estimar las pérdidas de suelo en ese lapso de tiempo. Se suele hacer sobre una base anual.

K = Factor de erosionabilidad del suelo. Considera la textura, granulometría y porcentaje de materia orgánica. (ton/ ha)

L = Factor de longitud de la pendiente del terreno (adimensional)

S = Factor del grado de la pendiente (adimensional)

C = Factor de manejo de la cobertura vegetal (adimensional)

P = Factor de prácticas de manejo para el control de la erosión (adimensional)

AS = Pérdidas de suelo para el lapso de tiempo para el cual se estimó el factor "R", en (ton / ha).

El modelo Predictivo de Pérdidas de Suelo para el Sudeste de África, llamado SLEMSA fue desarrollado en Zimbabwe para determinar las medidas adecuadas de conservación de suelos. La ecuación es:

$$Z = K * X * C$$

Donde:

Z = Pérdida media anual de suelo (ton / ha)

K = pérdida media anual de suelo para la parcela tipo (ton / ha)

X = Factor de longitud y pendiente (adimensional)

C = Factor manejo de la cobertura vegetal (adimensional)

El factor "K" se calcula para una parcela tipo de 20 m de longitud por 5m de anchura de un suelo de erosionabilidad conocida (F) de acuerdo a la textura del suelo, presentado por Morgan (1997) y la siguiente ecuación:

$$\ln K = b * \ln E_c + a$$

$$a = 2.884 - 8.2109 * F$$



$$b = 0.4681 + 0.7663 * F$$

donde:

E_c = Energía cinética de la lluvia, según Wischmeier

$$E_t = \sum E_c \text{ (J m}^{-2} \text{ mm}^{-1}\text{)}$$

$$X = \frac{L^{0.5} * (0.76 + 0.53S + 0.0765S^2)}{26.55}$$

Esta es la ecuación del factor LS según Wischmeier, donde S es la pendiente en porcentaje.

$$C = \frac{2.3 - 0.01 * I}{30}$$

Donde I = % de lluvia con respecto a la anual * % de cobertura vegetal

El modelo de Morgan & Finney (1984) fue concebido para incluir en él los avances hechos en el conocimiento de los procesos de erosión en parcelas de escorrentía en laderas. En este modelo se considera una fase hidráulica y una fase de sedimentación. En esta última no considera el transporte por salpicadura ni el desprendimiento por escorrentía, sino únicamente el desprendimiento de partículas por el impacto de las gotas de lluvia y el transporte de las mismas por flujo superficial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se pudo establecer de acuerdo a la experimentación realizada que los sedimentos recuperados en las parcelas no sólo eran causados por las lluvias sino que el viento también incidió en el proceso, dadas las características de los suelos, en los cuales predomina el material volcánico (actosuelos), y suelos y sedimentos provenientes de piroclastos, de relativa estabilidad en superficie, susceptibles a la acción eólica. Esto mismo causó dificultades en la obtención de las pérdidas de suelo por salpicadura.

Los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza permitieron establecer que la cobertura y la pendiente son las variables más determinantes de las pérdidas de suelo en la zona de estudio.

Tablas II, III, IV y V.

La importancia de la pendiente en los resultados de las pérdidas de suelo se explica por el aumento significativo que estas tienen al incrementarse la pendiente, o desprotegerse el suelo.

En cuanto a la pendiente, un aumento de ella del 20 al 40 % conlleva un incremento de las pérdidas de suelo observadas de 13 a 21 ton/ha/año, o sea un 62% más, aunque este efecto se atenúa cuando las coberturas son de rastrojo o arbórea. Tabla IV.

El efecto de la cobertura es evidente al examinar la Tabla II, donde la cobertura arbórea reduce las pérdidas de suelo observadas de 21 a 1,6 ton/ha/año en las altas pendientes (40%), o sea en 92 %, y en las bajas pendientes (20%) en 90 %, lo cual demuestra la gran influencia del bosque sobre las pérdidas de suelo en Sabriski.

Tabla II

Valores Medios y Totales de las Pérdidas de Suelo según la Cobertura (Kg/ha/año)



	COBERTURA ARBOREA	COBERTURA RASTROJO	SUELO DESNUDO	TOTAL	MEDIA
PENDIENTE ALTA	369,15 275,41 477,14 428,77 306,54	576,45 734,77 677,59 699,56 244,94	4106,75 5555,46 8747,57 2315,63 3555,95	24964,25	2080,38
PENDIENTE BAJA	246,78 703,65 447,14	292,2 182,79 195,24	3382,97 2992,19 3065,86	15616,25	1301,35
TOTAL	3254,58	3603,54	33722,38	40580,5	
MEDIA	406,82	450,44	4215,30		1690,86

TOTALES

PENDIENTE ALTA	1550,47	2688,37	20725,41	24964,25
PENDIENTE BAJA	1704,11	915,17	12996,97	15616,25
TOTAL	3254,58	3603,54	33722,38	40580,5

Tabla III

Análisis de Varianza para Cobertura

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	Fc	Fo	
					99%	95%
PENDIENTE	3641045,99	1	3641045,99	0,7524	8,29	4,41
COBERTURA	76481380,54	2	38240690,27	7,6188	6,01	3,55
INTERACCION	4221032,54	2	2110516,27	0,4205	6,01	3,55
ERROR	90346107,43	18	5019228,19			
TOTAL	106948066,60	23				

Tabla IV

Valores Medios y Totales de las Pérdidas de Suelo según la Pendiente (Kg/ha/año)



	PENDIENTE	ALTA	PENDIENTE	BAJA	TOTAL	MEDIA
COBERTURA ARBOREA	369,15	477,14	306,54	703,65	3254,58	406,82
	275,41	428,77	246,78	447,14		
COBERTURA RASTROJO	576,45	677,59	244,94	182,79	3603,54	450,44
	734,77	699,56	292,2	195,24		
SUELO DESNUDO	4106,75	8747,57	3555,95	2992,19	33722,38	4215,30
	5555,46	2315,63	3382,97	3065,86		
TOTAL	24964,25		15616,25		40580,5	
MEDIA	2080,35		1301,35			1690,86

TOTALES

COBERTURA ARBOREA	1550,47	1704,11	3254,58
COBERTURA RASTROJO	2688,37	915,17	3603,54
SUELO DESNUDO	20725,41	12996,97	33722,38
TOTAL	24964,25	15616,25	40580,5

Tabla V

Análisis de Varianza para Pendiente

FUENTE DE VARIACION	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	Fc	Fo	
					99%	95%
COBERTURA	76481380,54	2	38240690,3	30,451	6,01	3,55
PENDIENTE	3641045,99	1	3641045,99	2,89936	8,29	4,41
INTERACCION	4221032,54	2	2110516,27	1,6806	6,01	3,55
ERROR	22604607,53	18	1255811,53			
TOTAL	106948066,60	23				

Las pérdidas de suelo calculadas con la EUPS fueron de 80,88 t/ha frente a 40,58 t/ha observadas para un periodo de un año, a pesar de que se tuvo en cuenta el ajuste del factor S de la EUPS de **García & Castro, 1997**.

La sobre estimación de las pérdidas de suelo calculadas con la EUPS ajustada frente a las pérdidas de suelo observadas, en adelante PSO, se puede explicar por el efecto no muy significativo de las lluvias sobre la erosión del suelo en la zona en estudio.

Aunque según el modelo SLEMSA original las pérdidas de suelo totales fueron de 631.77 t /ha al año y se aparta este cálculo en forma importante de las experimentales, sin embargo sigue la tendencias del comportamiento observado en cuanto que para las pendientes del 40 al 50 % marca diferencias importantes frente a las pendientes del 15 a 25 %.



De acuerdo a los resultados y la labor desarrollada para obtenerlos se llegó a determinar un modelo más representativo del proceso erosivo en Sabrinski con el modelo SLEMSA, ya que permitió mediante un ajuste del factor $f(S)$, que es el la pendiente, encontrar unos valores de las pérdidas de suelo con un 66.6 % de aproximación a las PSO.

Este resultado se halló mediante una regresión de tipo cuadrático para el factor de la pendiente, luego de haber ensayado diversas regresiones como la lineal simple considerando solo la pendiente frente al factor de la pendiente, y la lineal múltiple teniendo en cuenta la longitud y la pendiente para el factor $X^* = f(S) \cdot f(L)$

Donde el factor X ajustado, notado como X^* se obtuvo como:

$$X^* = \frac{PSO}{ZKC}$$

La ecuación de ajuste del factor de la pendiente para el modelo SLEMSA en la zona de Sabrinski es:

$$f(S) = 4.5979 + 0.1929S - 0.1645S^2$$

Con un coeficiente de correlación $r = 66.6 \%$

Para el factor de la longitud de la pendiente " $f(L)$ " se mantuvo la propuesta por Wischmeier que es:

$$f(L) = \left(\frac{L}{22.13} \right)^{0.5}, \text{ donde } L \text{ es la longitud de la ladera en metros.}$$

De acuerdo con el modelo SLEMSA ajustado a la zona en estudio las pérdidas de suelo totales de las parcelas de escorrentía fueron de 48.9940 t/ha/año.

En la **Tabla VI** se resumen los resultados de la aplicación del modelo ajustado con las pérdidas de suelo calculadas (PSC) en comparación a las (PSO).

Tabla VI
Resumen de las Pérdidas de Suelo Calculadas con el Modelo Slemsa Ajustado Frente a las Observadas

PARCELA	K	X	C	PSC (t/ha)	PSO (t/ha)
1	3.1032	2.1717	0,0722	0,4865	0,3691
2	3.1032	2.0619	0,0719	0,4598	0,3254
3	3.1032	1.9656	0,0733	0,4470	0,4271
4	3.1032	1.9656	0,0731	0,4460	0,4288
5	3.1032	1.3070	0,0710	0,2879	0,4065
6	3.1032	1.3070	0,0710	0,2881	0,3468
7	3.1032	1.3070	0,0721	0,2924	0,5036
8	3.1032	1.3070	0,0728	0,2951	0,4471
9	3.1032	2.0619	0,0717	0,4588	0,5765
10	3.1032	2.0619	0,0710	0,4544	0,7348
11	3.1032	2.0619	0,0712	0,4556	0,6776
12	3.1032	2.0619	0,0715	0,4576	0,6996
13	3.1032	1.4939	0,0762	0,3531	0,2449
14	3.1032	1.4939	0,0762	0,3531	0,2922
15	3.1032	1.4939	0,0762	0,3531	0,1828



16	3.1032	1.4939	0,0762	0,3531	0,1952
17	3.1032	2.0160	1,0000	6,2560	4,1067
18	3.1032	2.0160	1,0000	6,2560	5,5555
19	3.1032	1.9251	1,0000	5,9739	5,7476
20	3.1032	1.9622	1,0000	6,0890	5,3156
21	3.1032	1.4121	1,0000	4,3819	3,5559
22	3.1032	1.4121	1,0000	4,3819	3,3830
23	3.1032	1.5168	1,0000	4,7068	2,9922
24	3.1032	1.5168	1,0000	4,7068	3,0659
TOTAL				48,9940	40,5805

CONCLUSIONES

- Las variables más importantes que influyen en el proceso de erosión en Sabrinski son la pendiente y la cobertura vegetal. Con la variación de estos factores se presentan grandes diferencias en las Pérdidas de suelo. Tabla 2.
- El modelo predictivo que mejor representa el comportamiento de la erosión en la zona en estudio es el de SLEMSA, con ajuste en su factor de la pendiente, quedando definido así:
- $$X^* = \left(\frac{L}{22.13} \right)^{0.5} (4.5979 + 0.1929S - 0.1645S^2)$$
- Esta ecuación presenta la misma forma de la ecuación original, lo que permite pensar que el modelo SLEMSA es estructuralmente válido para aplicarlo en la zona, con el reajuste del factor X original.
- El grado de correlación obtenido fue del 66.6%, lo cual permite tener un nivel aceptable de confiabilidad en la aplicación de ajuste realizado, dentro de las aproximaciones con que se pudo obtener la información experimental de campo.

RECOMENDACIONES

- Continuar con la toma de información en el área de Sabrinski para recopilar información por un mayor periodo de tiempo y así corroborar los resultados obtenidos en este trabajo.
- Es aconsejable la instalación de un pluviógrafo en el área experimental que permita obtener información de las intensidades de las precipitaciones que ocurran allí, con estos datos se obtendría mayor confiabilidad en el cálculo de la energía cinética de la lluvia, indispensable para determinar el Factor R de la EUPS y el Factor K del modelo SLEMSA.
- Instalar un anemocinómetro que tome información acerca de la velocidad, recorrido y dirección del viento para estimar la erosión eólica del área, puesto que este es un factor de incidencia en la pérdida de suelo que allí se observa.
- Iniciar el proyecto de recuperación de suelos en las zonas donde se hizo y se está haciendo la explotación de areniscas. Es importante la revegetalización para reducir la acción erosiva del viento. En el área de la Hacienda Vista Hermosa se requiere reforzar el control de la erosión con obras de conservación como son los trinchos, para evitar que siga aumentando el tamaño de la cárcava que se está formando.



BIBLIOGRAFÍA

- Culling, W.E. H. 1963. Soil creeps and the development of hillside slopes. J. Geology.
- Fernández de Andrade, L. 1995. Evaluación del riesgo de erosión por salpique. Caracas, Venezuela. Consejo de Desarrollo Humanístico y Científico, Universidad Central de Venezuela.
- Flaxman, E.M. 1972. Predicting Sediment Yield in the Western United States. J Hydraulics Div. Am. Soc. Civil Engrs.
- Johnson, R.A. y Wichern, D. 1982. Applied multivariate statistical Analysis. New Jersey, United States of America.
- García Olmos C.. & Castro L, G.O. Ajuste de los factores de longitud y pendiente de la ecuación universal de pérdida de suelo en la cuenca del río Combeima, Municipio de Ibagué, Colombia. En : Revista Colombia Forestal. Vol.5, No.11; p. 139 - 148. Nueva Epoca. 1998.
- García Olmos C. Análisis de la información de pérdidas de suelo en parcelas de escorrentía. En : Revista Colombia Forestal. Vol. 4, No. 8; p. 29 - 37. Nueva Epoca. 1994.
- Kirkby, M.J, Morgan, R.P.C. Erosión de Suelos. Editorial Limusa. México. 1984.
- Lecarpentier, A.. Estudio de Suelos de Colombia. Inderena. Bogotá. 1977.
- Meeuwing, R.O. (1970). Sheet Erosión on Intermountain Summer Ranges, Forest Service, Research paper, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Washington, D.C.
- Meyer, L.D, W H Wischmeier. 1969. Mathematical Simulation of the process of soil erosion by water. Transactions of the American Society of AGRICULTURAL Engineers 12.
- Morgan, R.P.C. Erosión y Conservación del Suelo. Ediciones Mundiprensa. Madrid. 1997.
- Thornes, J.B. 1980. Erosional process of running water and their spatial and temporal controls; a theoretical viewpoint. In M.J. Kirkby and R.P.C. Morgan (eds). Soil erosion. Chichester, Wiley.
- Vega Mora, L. 1988. Ajuste y calibración de la ecuación universal de pérdidas de suelo. Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Ambiente, Inderena, Proyecto Cuenca Alto Magdalena.
- Wischmeier, W.H. 1960. Cropping management factor evaluation for a universal soil-loss equation. Proc. Soil. Sci. Soc. Am.
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky mountainnnns, Agriculture handbook No. 282, United Sates Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Woohiser, D.A., Todorovic, P. 1971. A stochastic model of sediment yield for ephemeral streams proc. Usda Int. Assoc. For statistical hydrology (miscellaneous publication No. 12750. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Washington, D.C.

Young, A. 1963. Deductive models of slope evolution. Nach akad, Wissen Göttingen.



CONTRIBUCIÓN A LA FORMACIÓN DEL MODO DE ACTUACIÓN PROFESIONAL DESDE LA ASIGNATURA PETROLOGÍA

Arturo Hernández Escobar, Carlos Cofiño Arada

*Calle Martí #270 esquina 27 de Noviembre, Departamento de Geología, Facultad de Geología –Mecánica.
Universidad de Pinar del Río. CP 20100 Pinar del Río. Pinar del Río. Cuba. Email:arturohdez@vrect.upr.edu.cu*

RESUMEN

Este trabajo responde al perfeccionamiento del Proceso Docente Educativo, específicamente al diseño curricular de los contenidos en la asignatura Petrología, a partir de la relación entre los problemas de la profesión, el objeto del profesional de la Geología, y el objeto de estudio de la ciencia Petrología, basado en la relación ciencia – docencia – profesión, que contribuya a la formación del modo de actuación profesional desde la asignatura, aplicándose los métodos propios de la ciencia en función de resolver problemas de la profesión. Teniendo en cuenta la significativa importancia que en el perfeccionamiento del Proceso Docente Educativo se le concede al desarrollo de las habilidades profesionales por parte de las disciplinas básicas específicas, de manera que tributen al logro del modelo del profesional al incorporarlo al ejercicio de la profesión.

ABSTRACT

The present paper propose a contribution to a better learning-teaching proccess in Petrology. There is a close relationship between Geology problems-Geology subjects-Study targets in Petrology which allows to solve problems from Petrology.

Technical skills can be obtain through the Basic specific subjects in the career, in our case we contribuye to Geology and solve geological problems by using Petrology, a specific knowledge applied to a certain case.

INTRODUCCIÓN

La Petrología por sus características propias, además de proporcionarle al estudiante un sistema de conocimientos y habilidades necesarias para cursar las restantes asignaturas del plan de estudio y para el posterior ejercicio de la profesión, por la posición que ocupa en el tercer año de la carrera, es una de las asignaturas básicas específicas con la posibilidad de contribuir a la interpretación de los resultados obtenidos al nivel de cada método de investigación e integralmente y por ende, a la formación del modo de actuación profesional del Geólogo.

La aparición y desarrollo de los diferentes métodos en Petrología, como en cualquier ciencia están relacionados con una determinada etapa de desarrollo del conocimiento humano y de las condiciones socioeconómicas imperantes.

Los estudios y las descripciones de minerales y rocas muestran que hay estrechas relaciones entre los diferentes tipos de rocas y los yacimientos de minerales útiles. Existe hasta la posibilidad de elaborar unos principios generales, si se establece una relación genética entre determinados minerales y yacimientos minerales. El conocimiento de estos principios, puede ser para un geólogo con conocimientos suficientes de Petrología, una guía valiosa para la prospección geológica.

Para la sistematización y clasificación de las rocas que constituyen la corteza terrestre desde el comienzo de la Petrología (Coquard D.,1857, citado en Cepeda, 1985), propuso que para clasificar las rocas en grupos debía tenerse en cuenta los procesos geológicos que las generan. De este modo las rocas fueron agrupadas en Igneas, Sedimentarias y Metamórficas. No obstante también esta clasificación se basa en consideraciones convencionales. En la práctica diaria se dan numerosos casos cuando no se puede trazar un límite entre diferentes tipos de rocas.



EL PROBLEMA DE LA ASIGNATURA PETROLOGÍA

El modelo del profesional de la Geología, que es la imagen del profesional que la sociedad exige de nuestras instituciones universitarias, su **problema** es el desarrollo económico sostenible mediante el uso eficiente de los recursos minerales prospectados, explorados, y evaluados de la corteza terrestre.

Es conocido que todas las asignaturas deben contribuir a la solución de ese problema, y es por ello, que los conocimientos y el método propio de la Petrología deberán ser asimilados por los alumnos para luego aplicarlos en la solución de los problemas propios de la profesión, por ello el **problema** de la asignatura será la necesidad de la interpretación de los procesos que le dan origen a las rocas y su ambiente geodinámico de formación a partir de la identificación de los principales grupos de Rocas Ígneas, Sedimentarias y Metamórficas a las cuales pueden asociarse yacimientos minerales, o tener alguna utilidad para la sociedad.

EL OBJETO DE LA ASIGNATURA PETROLOGÍA PARA INGENIEROS GEÓLOGOS

Para cualquier profesor de las ciencias geológicas es de vital importancia que se precise eficientemente el objeto de la asignatura, y que este responda al profesional que pretendemos formar. Para ello debe quedar explícito el ¿cómo llegar a determinar el **objeto de la asignatura**?

La solución de este problema debe partir de las relaciones que se deben establecer entre los **problemas de la profesión**, el **objeto de la profesión**, y el **objeto de la ciencia Petrología**.

Si el objeto del profesional de la Geología es la corteza terrestre (Hernández, 1996, p. 44, tomado del Modelo del Profesional de la carrera de Geología), y el objeto de la ciencia Petrología, las rocas terrestres y extraterrestres, esta relación permite precisar el **objeto de estudio de la asignatura Petrología**, que responde al contexto social, económico, político y cultural, donde va actuar el futuro Geólogo y se manifiestan los problemas profesionales que deben resolver como egresados, los de la profesión.

Es decir, los alumnos desde la asignatura Petrología aprenderán cómo aplicar la ciencia para resolver problemas profesionales, la ciencia en función de la profesión desde la docencia, portadora de valores que se corresponden con ella, dándose así la relación **ciencia - docencia - profesión**.

El objeto de la ciencia va más allá del objeto de la profesión y de la asignatura, porque estudia a las rocas provenientes del sistema extraterrestre, como es el caso de los meteoritos, las rocas que han sido tomadas de la luna, y otras que por ser muy particulares no constituyen objeto de estudio.

Existen rocas en la corteza terrestre que por ser muy particulares no son objeto de estudio de la asignatura Petrología, a modo de ejemplo puede presentarse la Essexita, roca ígnea que en ocasiones aparece en pequeños plutones o masas subvolcánicas, que en ocasiones guardan relación con minerales raros; la Gricuaita, una roca intrusiva ultrabásica que se presenta en forma de nódulos de pequeñas dimensiones en las Kimberlitas, excepcionalmente presentan diamantes en su seno, pero su presencia representa un buen indicador para su búsqueda.

A partir de la relación entre los **problemas del profesional**, el **objeto de la profesión** y el **objeto de la ciencia Petrología** permite precisar el **objeto de estudio de la asignatura**, como a aquellos principales grupos de Rocas Ígneas, Sedimentarias y Metamórficas que como invariantes de conocimientos le son imprescindibles para el desarrollo del modo de actuación profesional; esto conlleva a que el estudiante asimile lo esencial y lo secundario queda como un conocimiento que puede adquirir en su futuro desarrollo como profesional.

El objeto de la asignatura no tiene que corresponderse íntegramente ni con el objeto de la ciencia, ni con el objeto de la profesión, sino que contiene parte de una y parte de otra. En la asignatura, el objeto es el todo, contiene a la ciencia y a la profesión, pero no se identifica ni con uno ni con el otro. Es por ello que en esta propuesta se han seleccionado a aquellos grupos de rocas que responden a la profesión, y las que en realidad los estudiantes harán uso de ellas para dar solución a los problemas que se presentan en sus esferas de actuación, o sea, las invariantes del objeto de la



ciencia con su lógica de investigación subordinada a la lógica del proceso docente - educativo en función de formar las capacidades necesitadas por el estudiante.

La relación establecida entre los **problemas profesionales** (a partir de los cuales se seleccionan los problemas docentes y se determina el **objetivo del profesional**), **objeto de la profesión**, y el **objeto de la ciencia** se convierte en una **regularidad** para precisar el **objeto de estudio de la asignatura Petrología** (base del sistema de conocimientos de la asignatura y de los temas docentes).

EL OBJETIVO DE LA ASIGNATURA PETROLOGÍA

Para el profesional de la Geología, independientemente de sus esferas de actuación (yacimientos minerales, yacimientos de hidrocarburos, yacimientos de aguas, construcciones ingenieriles, y el entorno), una operación necesaria al resolver cualquier problema profesional, será, identificar las rocas, ya que, los yacimientos se encuentran relacionado con rocas de la corteza terrestre. Si es de hidrocarburos, las rocas que presentan las mejores características para su acumulación son las areniscas y las calizas, dependiendo del grado de porosidad y fracturas que presenten; en el caso de las aguas subterráneas, se acumulan en rocas permeables, porosas, agrietadas que posibiliten su circulación.

La determinación de los objetivos de la asignatura requiere de un análisis tanto de las capacidades, los valores y convicciones del profesional que aparecen explicitadas en el modelo del profesional, a las cuales debe contribuirse desde la Petrología a ejecución de trabajos de prospección y exploración con métodos científicamente argumentados, evaluando racionalmente los yacimientos de minerales sólidos, líquidos y gaseosos, así como las características ingeniero - geológico de las rocas y los suelos con vistas a garantizar la estabilidad de las obras que se construyan con la menor afectación del entorno. La determinación del objetivo de la asignatura también ha tenido en cuenta los contactos informales con los mejores expertos en las investigaciones Petroológicas y colegas del departamento de Geología de la Universidad de Pinar del Río, y el problema está dado en el alcance de la apropiación de la habilidad integradora de la asignatura y los temas docentes.

Todos los Yacimientos minerales guardan una estrecha relación genética con las rocas de ahí que para el profesional la asignatura Petrología le brinde un aparato conceptual y un método propio que lo lleva implícito en el modo de actuar. Para el profesional resolver problemas en sus esferas de actuación le es imprescindible la caracterización, identificación y la interpretación de los procesos físicos y químicos que le han dado origen en una relación dialéctica, uno siendo el complemento del otro.

Los análisis anteriormente expuestos han conllevado a la formulación del **objetivo de la asignatura**, como que los alumnos sean capaces de:

Interpretar los procesos que le dan origen a las rocas y su ambiente geodinámico de formación a partir de la identificación de los principales grupos de Rocas Ígneas, Sedimentarias Y Metamórficas teniéndose en cuenta para ello la composición químico - mineralógica y los rasgos estructuro - texturales.

LOS CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA PETROLOGÍA. LA ESTRUCTURACIÓN DEL SISTEMA DE HABILIDADES Y DE CONOCIMIENTOS

El contenido de la asignatura Petrología lo constituye el sistema de conocimientos y el sistema de habilidades.

Para llegar al sistema de conocimientos de la asignatura se partió de las relaciones dadas entre los problemas profesionales con el objeto de la profesión, y el objeto de la ciencia, que permite precisar el objeto de estudio de la asignatura y de las relaciones probables a establecerse entre el objeto del profesional, el objeto de la ciencia y el objeto de estudio de la asignatura, que se convierte en regularidad para seleccionar el sistema de conocimientos:

- Principales grupos de Rocas Ígneas. Sus procesos y ambientes geodinámicos de formación.



- Principales grupos de Rocas Sedimentarias. Sus procesos y ambientes geodinámicos de formación.
- Principales grupos de Rocas Metamórficas. Sus procesos y ambientes geodinámicos de formación.
- Al definir a las **Rocas** como una asociación natural de minerales con estructuras y texturas que le caracterizan y composición química propia. Las Rocas Ígneas, como rocas que se originan por enfriamiento y consolidación. Las Rocas metamórficas por adaptación en condiciones endógenas a elevadas temperaturas y presiones con reajustes mineralógicos y de orden texto - estructural en estado sólido y a partir de Rocas Ígneas, Sedimentarias y Metamórficas preexistentes. Las Rocas Sedimentarias como resultado de la consolidación de sedimentos que han sido acumulados en capas.

De las definiciones anteriores, por surgir las Rocas Ígneas a partir del magma, y no de rocas preexistentes, debe pensarse que constituye el primer objeto a estudiar, no siendo tan sencilla la selección del segundo de la secuencia, pues las Rocas Sedimentarias presentan una composición mineralógica que proviene de la destrucción de Rocas Ígneas, Rocas Metamórficas y Rocas Sedimentarias preexistentes, y los minerales de un origen propiamente sedimentario; las Rocas Metamórficas a partir de cualquier tipo de roca, es por ello que debe ser él, y no otro, el último sistema de conocimientos en la secuencia. Por lo anterior queda quedando estructurado el **sistema de conocimientos** de la asignatura Petrología de la siguiente manera:

1. Principales grupos de Rocas Ígneas. Sus procesos y ambientes geodinámicos de formación.
2. Principales grupos de Rocas Sedimentarias. Sus procesos y ambientes geodinámicos de formación.
3. Principales grupos de Rocas Metamórficas. Sus procesos y ambientes geodinámicos de formación.

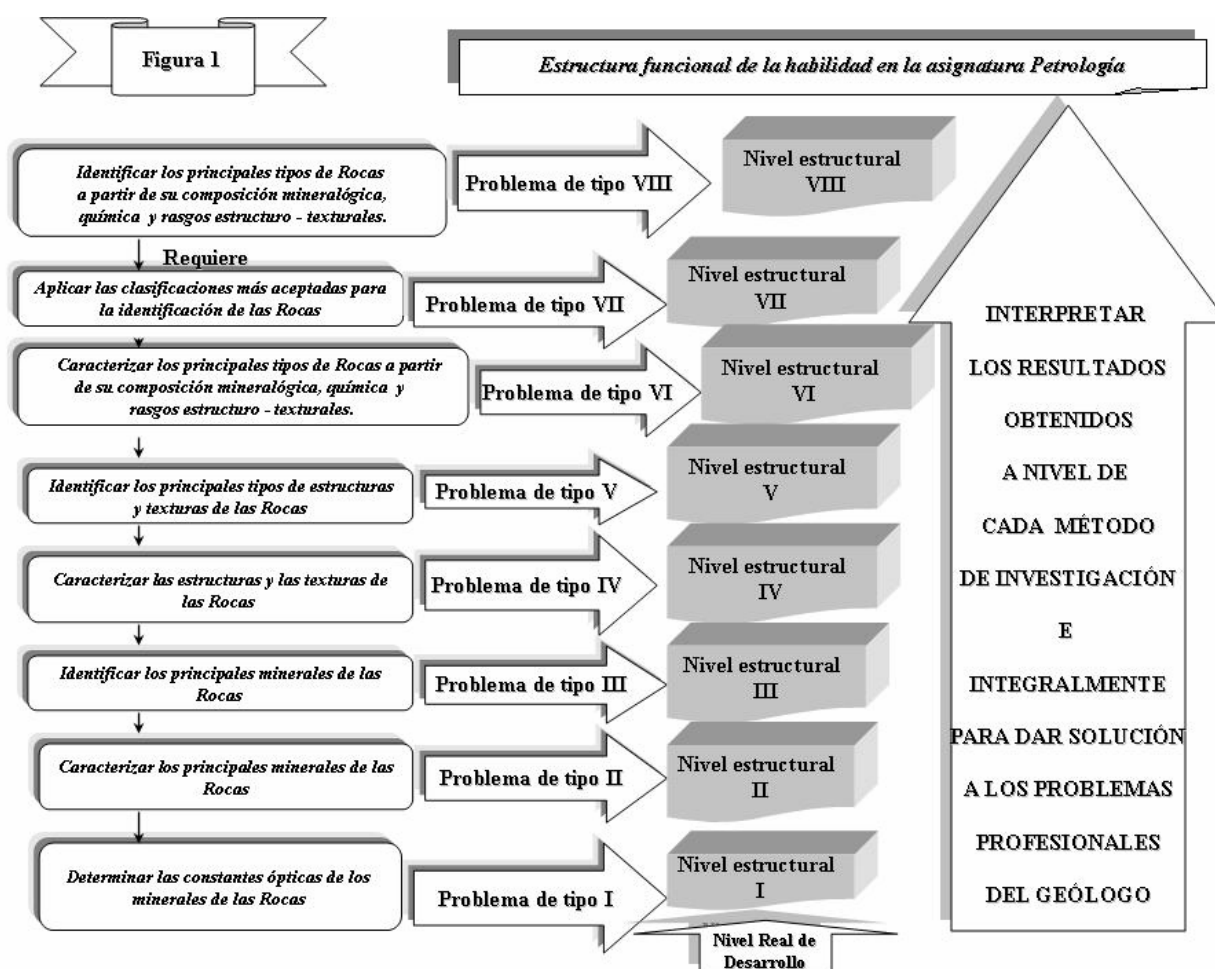
Si se han concretado el objeto de la ciencia Petrología, como las Rocas terrestres y extraterrestres, y el objeto de la asignatura, como los principales tipos de Rocas Ígneas, Sedimentarias y Metamórficas, ello permite precisar tres grandes objetos de estudio para la asignatura, cada uno de los cuales se identifica con los temas docentes a estudiar.

Una vez seleccionado y estructurado el sistema de conocimientos asignatura, la próxima tarea es la selección y estructuración del sistema de habilidades, para ello se ha tenido en cuenta que si el objetivo lleva implícito a la habilidad y al conocimiento teórico que formán el contenido de la asignatura, entonces la tarea siguiente es la selección del sistema de acciones y operaciones necesarias para que el estudiante se apropie de la habilidad y asimile el sistema de conocimientos seleccionado de la ciencia en función de la profesión, considerándose el principio de la sistematicidad (derivación e integración de los objetivos) de Alvarez, 1989; la estructura funcional de la habilidad (Mestre, 1996), el criterio de las jerarquías de aprendizaje de Gagné (Hernández, A. Y Castillo, M., 1999b), el modo de actuación de los expertos en Petrología, y las estrategias para que se produzca un aprendizaje significativo en los estudiantes y desarrollen modo de actuación profesional desde la asignatura y los temas docentes (Hernández, A., 1998).

De la relación entre el método de la profesión (modo de actuación para resolver los problemas propios de la profesión) y el método de la ciencia (modo de actuación para resolver los problemas propios de la ciencia) se origina el método de enseñanza - aprendizaje de la asignatura (modo de actuar de profesores y estudiantes para resolver los problemas profesionales convertidos en problemas docentes). Preciado el método y teniendo en cuenta el principio de sistematicidad, la estructura funcional de la habilidad, las jerarquías de aprendizaje, el modo de actuación de los expertos, y el objetivo de la asignatura, entonces es posible seleccionar y estructurar el sistema de acciones y operaciones del sistema de habilidades de la asignatura Petrología en función del objetivo. Si es derivada o descompuesta la habilidad que está implícita en el objetivo integrador de la asignatura en un sistema de acciones y operaciones que debe realizar el estudiante para llegar a apropiarse de ella, se propone a lo que el autor denomina **estructura funcional de la habilidad** para la Petrología diseñada en la figura 1. El modelo está concebido de tal manera que el estudiante para vencer un nivel superior de jerarquía tiene necesariamente que vencer el de nivel inferior como



requerimiento. Para vencer cada uno de los mismos, el estudiante debe ser capaz de resolver la familia de problemas que caracterizan cada una de las estructuras propuestas en este modelo, y de esta manera se va apropiando del **método** que lleva implícito el modo de pensar y actuar del profesional. Este modelo se convierte en una **regularidad** para el diseño de la **estructura funcional de la habilidad** de la asignatura Petrología, de sus temas docentes y de su aprendizaje, porque de su reiteración en cada uno de los temas es que el estudiante aprende significativamente, porque aprende resolviendo problemas docentes con el modo de actuar y de pensar del futuro profesional, o sea, apropiándose del **método** que utilizará como una invariante para resolver problemas propios de la profesión.



Ha quedado claro que para formar el egresado de perfil amplio exigido por la sociedad, y reflejado en el modelo del profesional, el contenido de la Petrología es solo una parte del objeto de estudio de la ciencia, y que responde al objeto de la profesión, pero sin identificarse ni con uno ni con el otro, sino como una relación dialéctica entre ellos para determinar una nueva cualidad, el objeto de la asignatura. Así se contribuye desde el objeto de la asignatura a formar en el estudiante el objeto de la profesión.

Los problemas a los cuales se enfrentará el estudiante a través de la **estructura funcional** (figura 1) son muy similares a los que resuelve como profesional, rocas macroscópicas y microscópicas naturales con composición mineralógica, estructuras y texturas que les caracterizan, desde los más elementales (determinación de las constantes ópticas), hasta los más integradores representados por



los problemas propios (Identificación de las rocas y la interpretación de los procesos que las originan), transformándose el objeto de trabajo del profesional mediante la aplicación de la ciencia, o sea, contribuir a la solución de los problemas de la sociedad inherentes al objeto de la profesión, con el modo de actuar y pensar del futuro profesional de la Geología.

Los estudiantes deben traer un saber hacer y conocimientos teóricos de las asignaturas Geología General que lograron en el primer año de la carrera, de la práctica integradora del año, de la Mineralogía y la integradora del segundo año, es decir, ellos ya saben identificar las rocas e interpretar los procesos que las originan, pero a un primer nivel, reflejado en que las rocas son identificadas macroscópicamente.

En la asignatura Geología General, el estudiante comienza a introducirse en la identificación de las rocas, pero utilizando las técnicas más tradicionales de la profesión en los trabajos de campo, o sea, que en una roca se podrá ir determinando macroscópicamente el color, los minerales principales (tarea sumamente compleja al nivel del primer año) a partir de sus características visibles a simple vista, o con la ayuda de la lupa; luego de la identificación de los principales minerales, el siguiente paso es la identificación de la estructura de la roca y, el tercero la utilización de una determinada clasificación que permita identificar el tipo de roca, y de esa forma da solución al problema. Como se puede apreciar la estrategia seguida para la enseñanza y el aprendizaje, es el de la presentación de una sucesión de familia de problemas que van ganando en complejidad, y mediante la solución de ellos por parte del estudiante, con un determinado nivel de ayuda del profesor y otros estudiantes más aventajados, un alto nivel de comunicación, se apropian del método, y con ello de la lógica del modo de actuar como profesional.

La forma en que el estudiante se enfrentará a los problemas profesionales en el primer año en la práctica integradora, es el mismo utilizado en la Geología General, es decir, el estudiante desde estas asignaturas ya se enfrenta a los problemas propios de la profesión, y los resuelve como un profesional.

Transitado el estudiante al segundo año de la carrera donde recibe la asignatura Mineralogía, básica específica y de vital importancia como precedente de la Petrología, por los conocimientos y modo de actuación que le aporta, contribuye con todos los conceptos minerales que debe utilizar la Petrología, y sistematiza el modo de actuación, al ser la habilidad integradora de la asignatura, la de Identificar los minerales a través de sus propiedades físicas.

Lo importante, al igual que en la Geología General, es que la lógica seguida para resolver cada uno de los problemas que les va presentando el profesor es la misma, con la diferencia que lo únicos que se identifican en esta asignatura son los minerales y los procesos que les dan origen, pero por supuesto que con un mayor nivel de profundidad, el método utilizado es el mismo, y con ello contribuye de igual forma al desarrollo desde una asignatura con el modo de actuación propios del profesional de la Geología. Si se compara con el año anterior, aunque los estudiantes necesitan de un nivel de ayuda, este es menor, los estudiantes han ganado en independencia, por lo que el paso del primer al segundo año se considera el primer salto cualitativo en su formación profesional, y en su personalidad.

Después del dominio de las constantes ópticas en la identificación de los minerales, resolviendo problemas de tipo I, el estudiante ha vencido el primer nivel estructural, necesario para pasar a la segunda operación, que es la de caracterización de los principales minerales a través de sus constantes ópticas, es por ello que esta acción requiere de la primera y sin el dominio de ella es imposible su desarrollo (figura 1).

Dominada la segunda operación, a través de la solución de problemas de tipo II, el estudiante vence el segundo nivel estructural, requerido para poder enfrentarse a la identificación de los minerales, empleando las principales características (esenciales), es decir, las invariantes para su identificación. Una vez identificado los principales minerales, los estudiantes construyen una tabla donde aparecerán aquellas características esenciales que les permiten su identificación, luego las agrupan por minerales con propiedades ópticas semejantes, como son los de bajo relieve, alta birrefringencia, extinción recta, etc., que conducirán hacia el desarrollo de la habilidad de generalización.



Finalizada esta primera etapa, el estudiante ya se encuentra en condiciones de pasar a la siguiente, la caracterización de las estructuras y texturas, en este caso, se profundiza en las texturas, ya que las estructuras han sido trabajadas con precedencia, sistematizándose aquí, al nuevo contenido.

Vencida las etapas de caracterización e identificación, los estudiantes ya están en condiciones de enfrentarse a los problemas de tipo VI; y cuando son capaces de dar solución a este tipo de problemas, y con ello vencido una nueva etapa, estando en condiciones de caracterizar cualquier tipo de roca y aplicar las clasificaciones más aceptadas para su identificación. Si han podido resolver los problemas del tipo VIII (problemas propios), identificados como los problemas que una vez dominados, en su solución está prevista la máxima sistematización, y en la forma de resolverlos, el estudiante se apropiará de la forma de actuar y pensar como futuro profesional.

Una vez precisado el método y estructurada la habilidad, restaría seleccionar los **medios**, que en esta asignatura son las muestras de rocas macroscópicas y en secciones delgadas, los microscopios de luz polarizada, lupas y microscopios mineralógicos. Se dispondrán, además, de libros, revistas especializadas, guías metodológicas, y software.

Las **formas** de enseñanza, que de manera similar a los medios, se planifican y organizan en función de los objetivos y el contenido, pero acordes con las necesidades de los métodos y es por ello que se propone una **conferencia magistral**, donde se expondrá la fundamentación del diseño de la asignatura y las estrategias perfiladas para un aprendizaje consciente, buscando lograr la motivación a partir de relacionarla con la profesión. Otra forma de enseñanza será **conferencia - talleres** donde se trabajarán los contenidos más abstractos, y en las **clases prácticas** se abordarán los contenidos concretos, pero con un enfoque de **talleres** en las generalizadoras de cada uno de los temas, y de la asignatura y se corresponderán con las penúltimas clases, pues la última será evaluativa, aunque con el mismo enfoque. Finalmente, una secuencia de **seminarios**, con el objetivo de integrar aún más conocimientos y habilidades en un todo, el tema en el primer nivel, y en la asignatura en su segundo nivel de sistematización.

La evaluación se tendrá en cuenta durante todo el proceso y no solo al final para medir ese resultado. Lo nuevo está dado en que se medirán los cambios cualitativos del estudiante durante todo el proceso, y no solamente al final como se concebía en los programas anteriores. No obstante se evaluará un problema práctico integrador al final de cada tema y al final de la asignatura (con el mismo objetivo en el tema y la asignatura, como regularidad de la evaluación), donde, además de resolver el problema, deberá defenderlo en el seno de su grupo, desaparece así el examen teórico, por lo que el examen está concebido como práctico, con una fundamentación teórica de sus resultados.

LA CONCEPCIÓN DEL APRENDIZAJE EN LA ASIGNATURA PETROLOGÍA

En el caso específico de la Petrología, el aprendizaje a través de la **estructura funcional de la habilidad**, es concebido a partir del vencimiento de la sucesión de niveles estructurales, para que los estudiantes desarrollen habilidades, asimilen los conocimientos, desarrollen capacidades, la lógica de actuar y de pensar, que contribuyen a la formación de su personalidad a través de la relación con su actividad profesional mediante el desarrollo de modos de actuación desde el tema docente, que se integren a la asignatura, y que contribuya al modo de actuación del profesional, dándose aquí la relación entre la ciencia, la docencia y la profesión.

A través de la estructura funcional de la habilidad en la asignatura (fig.1), y sus niveles estructurales, podrá explicarse las relaciones manifestadas entre el grado de dificultad de la familia de problemas, grado de independencia del estudiante, la integración de habilidades lógicas, el proceso de integración y sistematización, la lógica de la asignatura y el tema dado por la lógica de la habilidad que es la lógica del modo de actuación del modelo del profesional. Como se puede apreciar el proceso de integración y sistematización se va dando a medida que el estudiante va escalando los niveles estructurales diseñados en la habilidad, se hace más independiente y el nivel de ayuda disminuye proporcionalmente, expresándose una contradicción con la complejidad de los problemas que se incrementa, por ello necesitará mayor motivación profesional.



La zona de autonomía en la realización de la práctica guarda una estrecha relación con el volumen de ayuda, pues a medida que el estudiante va venciendo los niveles estructurales de las operaciones dentro de la estructura funcional, gana en autonomía, se va haciendo más independiente y el profesor pasa a ser un guía, un consultor, convirtiéndose esta ayuda en una orientación hacia el cómo resolver el problema, pero no a darle la solución, si en realidad se pretende el aprendizaje significativo.

El cómo va a dar solución a cada uno de los problemas, es el mismo utilizado por los profesionales a través de la investigación científica, o sea, el método científico, a través de las condiciones cognitivas y afectivas que deben darse entre el profesor, estudiantes y el contenido

El objeto se enriquece, porque a medida que escala en los niveles de la estructura funcional, el grado de dificultad de los problemas aumenta, por lo cual el estudiante incorpora más conocimientos, haciéndose más compleja las operaciones a medida que el objeto se enriquece, integra y sistematiza. El orden en que los estudiantes se van enfrentando a los problemas, está dado por la estructura funcional de la habilidad (figura 1), desde los problemas más elementales a los más complejos, que son los mismos que posteriormente utilizará en su futura vida profesional, y es por ello que puede aseverarse: la relación entre el método de la profesión y el de la ciencia se convierte en **regularidad** para la concepción del proceso de enseñanza - aprendizaje de la asignatura Petrología.

CONCLUSIONES

El estudiante enfrentándose a los nuevos problemas propios de la profesión, siguiendo una lógica para su solución que será la lógica del modo de actuación del profesional, primero identificando los minerales, luego las texturas y estructuras, aplicar las clasificaciones adoptadas e identificar los distintos tipos de rocas será la misma a adoptar en la solución de cualquier problema profesional; el estudiante se apoyará en las ciencias que le sirven de fundamento, pero integrándolas a la lógica de la profesión en el camino lógico de resolver los problemas profesionales.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez de Zayas, C. (1989). Fundamentos teóricos de la dirección del proceso docente-educativo en la Educación Superior cubana. Tesis presentada para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias. La Habana.
- Cepeda, D. (1986). Apuntes de Petrología Ignea. UNAM, México.
- Fuentes, H. (1989). Perfeccionamiento del sistema de habilidades en la disciplina Física para estudiantes de Ciencias Técnicas. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias pedagógicas. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.
- Fuentes, H. y Mestre, U. (1997). Curso de diseño curricular. CEES. Manuel F. Gran. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.
- Fuentes, H; Mestre, U; Repilado, F. (1997). Fundamentos didácticos para un proceso de enseñanza - aprendizaje participativo. CEES. Manuel F. Gran. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.
- Hernández, A. (1995). Consideraciones metodológicas para el diseño curricular en la carrera de Geología en la Universidad de Pinar del Río. Resúmenes del Primer Taller Internacional sobre Enseñanza de la Geología. Pinar del Río.
- Hernández, A; Díaz, T; Malagón, M (1995). Algunas reflexiones sobre los enfoques multidisciplinarios a través de una disciplina del ejercicio de la profesión en la carrera de Geología. Resúmenes del Primer Taller Internacional sobre Enseñanza de la Geología. Pinar del Río.
- Hernández, A; Cruz, E; Echevarría, D; Lastra, J; Corres, O; Martínez, M. (1995). La estructura de un sistema de habilidades en la disciplina de Geoquímica en la carrera de Geología. Resúmenes del Primer Taller Internacional sobre Enseñanza de la Geología.
- Hernández, A; Correa, O; Cruz, E; Echeverría, D; Castillo, M (1995). Perfeccionamiento curricular de la asignatura Petrología. Resúmenes del Primer Taller Internacional sobre Enseñanza de la Geología.



- Hernández, A (1996). La lógica del tema y su relación con la formación del sistema de conocimientos y habilidades en la asignatura Petrología. Tesis para optar al grado de Master en Ciencias de la Educación Superior. Pinar del Río.
- Hernández, A (1998). La lógica del tema y su relación con el contenido en la asignatura Petrología. Convención Internacional Universidad 98'. Pinar del Río, Resúmenes.
- Hernández, A. y Castillo, M. E (1998a). La zona de desarrollo próximo en el aprendizaje del metamorfismo. Revista Minería y Geología, en prensa. Moa, Holguín.
- Hernández, A., Mestre, U., Castillo, M. E (1998). El aprendizaje de las Rocas Igneas con un enfoque constructivista. Revista Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, Vol.6, Diciembre 1998, Córdoba, España.
- Mestre, U. (1996). Modelo de organización de la disciplina Física General para el desarrollo de habilidades profesionales en los estudiantes de ciencias técnicas. CEES Manuel F. Gran. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.
- Pozo, J. I. (1996). Aprendices y Maestros. Editora Alianza. Madrid.

LOS CURRÍCULOS DE GEOLOGÍA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. RASGOS DEL APLICADO EN LAS ESCUELAS DE CUBA

Esther María Cruz Gámez y Dámaso Cáceres Govea

Universidad de Pinar del Río, Departamento de Geología, Martí 270, CP 20100, Pinar del Río, Cuba

RESUMEN

La aparición de las Teorías Curriculares data de la segunda mitad del siglo XX, donde se revela la necesidad de lograr una adecuada eficiencia de los sistemas educativos. Dirigir la formación de profesionales universitarios, constituye un problema que se plantea la escuela en distintas partes del mundo.

En el presente trabajo se dan las tendencias actuales de los Currículos de Geología en América Latina y el Caribe, con la intención de revelar sus características y ver el grado de similitud con el aplicado en las escuelas de Cuba. Se analizan 22 Currículos, en ellos hay 10 asignaturas del llamado ciclo básico, 20 del ciclo básico específico y 8 del específico; también predominan 3 prácticas de campo, el proyecto de grado y se incluyen asignaturas de formación general (ciencias sociales y humanísticas, 3 como promedio) y las llamadas electivas/optativas (4 como promedio).

Los Currículos responden a las principales esferas de actuación del profesional de la geología: yacimientos minerales, geotecnia, hidrogeología, petróleo y geología ambiental, por lo que corresponde a un profesional de amplio perfil, capaz de resolver en los puestos de trabajo de base de su profesión, los problemas más generales y frecuentes que se presentan en las diferentes esferas de su actividad profesional.

El actual Currículo que se aplica en las escuelas de Cuba posee 59 asignaturas, cifra que excede el número promedio (49) de éstas, presentes en los currículos estudiados. En esencia la diferencia se da por la presencia de disciplinas tales como: Idioma, Marxismo–Leninismo, Preparación para la Defensa y Educación Física.

ABSTRACT

The curricular theories dates from the second half of the XX century. They show the necessity of achieving the adequate office of the educated system. Directing formation of university professionals is a problem in the schools around the world.

In this work are the actual state of geology curriculums of Latin America and the Caribbean, with the intention of revealing the characteristic and to compare the similarity grades with those applied in Cuban schools. Twenty two curriculums were revised, in these there are ten subjects which are the basic (standard) cycle, twenty from the specific basic cycle and eight from the specific cycle. Three field practices are also included as well as the grade project and subject of general formation (social and humanistic science, three as average), and the electives/optional (four as average).

The curriculum responds to the principal areas of performance of the geology professional: mineral deposits, geotechnics, hydrogeology, petroleum and environmental geology, which correspond to a geology professional of wide profile able to solve the most frequent and general problems in their professional activities.

The actual curriculum which are applied in Cuba includes fifty-nine subjects, a number which passes the average (forty nine) present in the studied curriculums. The principal differences are subjects such as: Language, Philosophy, Preparation for Defense and Physical Education.

INTRODUCCION

La RED GEOLAC se creó el 15 de Noviembre/2001 en la ciudad de Montevideo, Uruguay, en el marco del XI Congreso Latinoamericano de Geología, fue constituida por iniciativa de la División de las Ciencias de la Tierra de UNESCO en coordinación con universidades y organismos de las geociencias del área.

A partir de su constitución se han realizado un conjunto de actividades relacionadas con el intercambio de profesores y se iniciaron los Encuentros de Enseñanza; con relación a éstos, en febrero del 2003 se realizó el I Encuentro de Enseñanza de las Ciencias de la Tierra para América Latina y el Caribe en las instalaciones de la Universidad de Pinar del Río (Cuba), con la participaron 8 países y 44 ponentes.

En el marco del XII Congreso Latinoamericano de Geología en Quito, Ecuador (2005) se realiza una sesión convocada de acuerdo a los estatutos para renovar su dirección y hacer un balance del trabajo. En esta reunión a sugerencia de los participantes se plantea trabajar en lo relacionado con las **HOMOLOGACIONES Y EQUIVALENCIAS DE TÍTULOS PROFESIONALES** a partir de los planes de estudios de las Geociencias en las Facultades/Departamentos de Geología de América Latina y el Caribe, con vistas a facilitar las opciones de trabajo de los profesionales de la geología.

En la actualidad, tanto en los países desarrollados, como en los que se encuentran en vías de desarrollo, se sigue presentando como uno de los problemas sociales más graves el desempleo y los desajustes derivados de esta situación: subempleo, empleo precario, empleo inadecuado. Esto obliga a los diferentes Estados a definir políticas que incorporen medidas y soluciones estructurales para un problema de igual modo estructural. Es una confirmación generalizada que los sistemas educativos, con sus planes de formación y cualificación profesional, adquieren un papel protagonista en la aportación de soluciones para este tema.

Sin recurrir a procedimientos formales y teóricos acerca de las homologaciones y equivalencias de títulos profesionales, en el presente trabajo se intenta realizar una primera aproximación del tema al analizar un conjunto de Currículos. Muchas son las tendencias que se dan acerca del diseño de los Currículos (González, 1994; Álvarez de Zayas, 1996; Advine, et al., 2000; Horruitiner, 2000; Huerta, et al., en web; Pedraza, en web); Advine, et al. (2000) señalan que el currículo es como la concreción del diseño, desarrollo y evaluación de un proyecto educativo que responde a unas bases y fundamentos determinados y a una concepción didáctica. En el trabajo se comparan en ellos las asignaturas del llamado ciclo básico (ciencias básicas), básicas específicas (ciencias de la ingeniería), específicas (ingeniería aplicada), ciencias sociales y humanidades y otras, para conocer las tendencias fundamentales de los Currículos que actualmente se aplican en las Facultades/Departamentos de Geología del área, con la intención de generalizar sus tendencias y compararlos con el actual Currículo que se aplica en las escuelas de Cuba.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se sustenta de los Currículos de 22 Universidades que han sido recopilados por dos vías fundamentales, 1) por directivos de las facultades/departamentos que titulan Geólogos y 2) por las web publicadas de las instituciones (Tabla I).

Toda la información fue recogida en una tabla sin despreciar ninguna asignatura y teniendo en cuenta sus similitudes (Tabla II). Se relacionaron un total de 125, algunas de las cuales no se han tenido en cuenta en el análisis que se presenta por ser muy particular en algunos planes. Se consideran significativas aquellas materias que se dan en 10 o más Currículos. A partir del Sistema Excel se realizan varios diagramas de pastel para presentar la información.

Tabla I. Relación de Universidades y Países de los Currículos analizados en el presente estudio.

UNIVERSIDAD	PAIS	UNIVERSIDAD	PAIS
Universidad Nacional Autónoma de México	México	Universidade Federal do Ceará	Brasil
Universidad Autónoma Nuevo Leon	México	Universidade Federal do Rio	Brasil

		Grande do Sul	
Universidad Autónoma Nacional San Luis Potosí	México	Universidade Federal do Bahia	Brasil
Universidad Autónoma Estado de Hidalgo	México	Universidade do Sao Paulo	Brasil
Escuela de Administración y Finanzas y Tecnología	Colombia	Universidad Nacional San Luis	Argentina
Universidad Nacional Colombia-Bogotá	Colombia	Universidad Nacional del Sur	Argentina
Universidad Nacional Colombia-Medellín	Colombia	Universidad Nacional de Catamarca	Argentina
Universidad Guayaquil	Colombia	Universidad de los Andes	Venezuela
Universidad Central del Ecuador	Ecuador	Universidad Central Venezuela	Venezuela
Universidade Estadual Paulista	Brasil	Escuela Centroamericana de Geología	Costa Rica
Universidade Federal do Pernambuco	Brasil	Universidad de Pinar del Río y Moa	Cuba

Tabla II. Asignaturas anunciadas en los Currículos revisados.

NUMERO	ASIGNATURAS	NUMERO	ASIGNATURAS
1,2,3,4	Matemática I, II, III, IV	66	Exploración Geofísica
5	Geometría Analítica	67, 68	Geología Ambiental, Gestión Ambiental
6	Álgebra Lineal	69	Riesgos Geológicos
7	Sistemas de Representación	70, 71	Hidrogeología I, II
8,9	Computación I, II	72	Geología Aplicada
10	Programación	73, 74, 75	Ing. Geológica, Geotecnia, Pedología
11	Geomática	76, 77	Geología del Petróleo, Geología del Subsuelo
12	Geometría Descriptiva	78, 79	Perforación Petrolera, Exploración Petrolera
13,14,15	Física I, II, III	80	Recursos Energéticos
16,17	Laboratorio Física I, II	81, 82, 83	Geología de Yac., Yac. Metálicos, Yac. no Metálicos
18	Astronomía	84	Yacimientos del País
19	Metereología	85	Recursos Naturales
20, 21, 22	Química I, II, III	86	Metagenia
23, 24	Estadística I, II	87	Geoquímica Aplicada
25	Análisis de Datos Geológicos	88	Geología Isotópica
26	Biología	89	Prospección Mineral
27	Introducción al Dibujo	90	Geología Económica
28	Introd. a la Ingeniería	91, 92, 93	Geología Minera, Laboreo Minero, Geotecnología
29, 30	Geología General I, II	94	Procesos Contables/Administración
31	Topografía	95	Organización/Eval de Proyectos
32	Perforación	96	Metodología de la Inv.
33	Geoquímica	97-100	Campo I, II, III, IV
34-39	Cristalografía, Mineralogía I, II, Óptica, Microscopía	101	Semestre de práctica/ estancias profesionales
40, 41, 42	Paleontología I, II, III	102	C. Sociales y Humanísticas
43	Bioecología	103	Ante-proyecto temáticos
44	Geología Marina	104	Proyecto de Grado
45	Sistema Océano	105	Evaluación de Formaciones
46	Geología Estructural	106	Foro Interdisciplinario
47	Geotectónica	107	Geoinformática

48	Geomorfología	108	Análisis Geoinformación
49	Teledetección	109	Seminarios
50	SIG	110	Historia de la Ciencia
51	Mapeo Geológico	111	Técnicas de Geointerpretación
52-56	Petrología Básica, Petrología I, S y M	112	Gerencia Empresarial
57	Vulcanología	113	Legislación
58	Sedimentología	114	Estágio Curricular Curso de Geol
59	Estratigrafía	115-121	Ingles I, II, III, IV, V, VI, VII
60	Geología Histórica	122	Examen de comp. textos Ingles
61	Geología del País	123	Lenguaje y Comunicación
62-65	Geofísica I, II, III, IV	124	Educación Física
		125	Electivas/Optativas

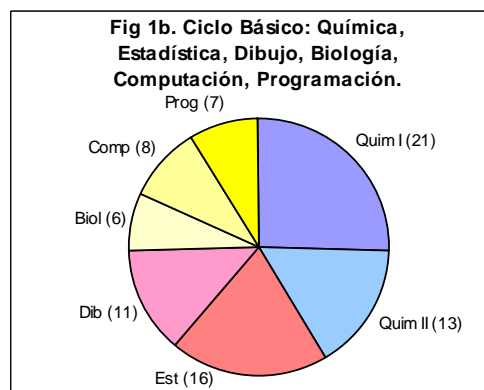
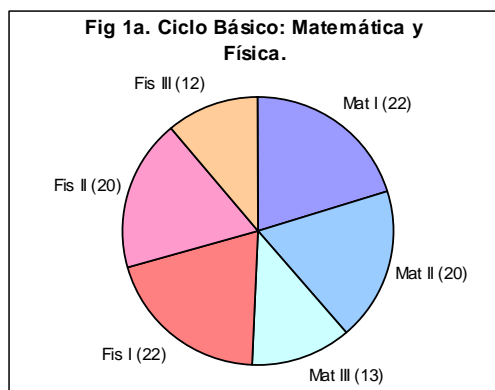
RESULTADOS

Rasgos generales de los Currículos de las Facultades/Departamentos de Geología de América Latina y el Caribe.

Las titulaciones de los Currículos analizados otorgan las categorías de Ingenieros, Licenciados y Geólogos, predominan las primeras y es común que en Argentina las carreras otorguen el título de Licenciado y en Brasil el de Geólogo.

Como se observa en la Tabla 3 son muchas las asignaturas que se declaran en los Currículos actuales de la carrera de Geología, sin embargo muchas de ellas se dan en pocas instituciones, en este caso se ha considerado significativa la asignatura que se da en 10 o mas escuelas. En las figuras 1, 2, 3, 4 y 5 están las asignaturas que se repiten en dichos documentos.

Para el caso del **ciclo básico** (figura 1) es común la presencia de 3 matemáticas, 3 físicas (figura 1a), 2 químicas, 1 estadística y 1 dibujo (figura 1b); sin embargo la computación-programación y la biología no se imparten en estos momentos en la mayoría de las escuelas, esto se justifica por el auge que ha tomado las computadoras en personas de cualquier edad y al arribar a la universidad ya dominan muchas de sus técnicas. En el caso de la biología esta puede satisfacer los niveles adecuados en las enseñanzas precedentes.

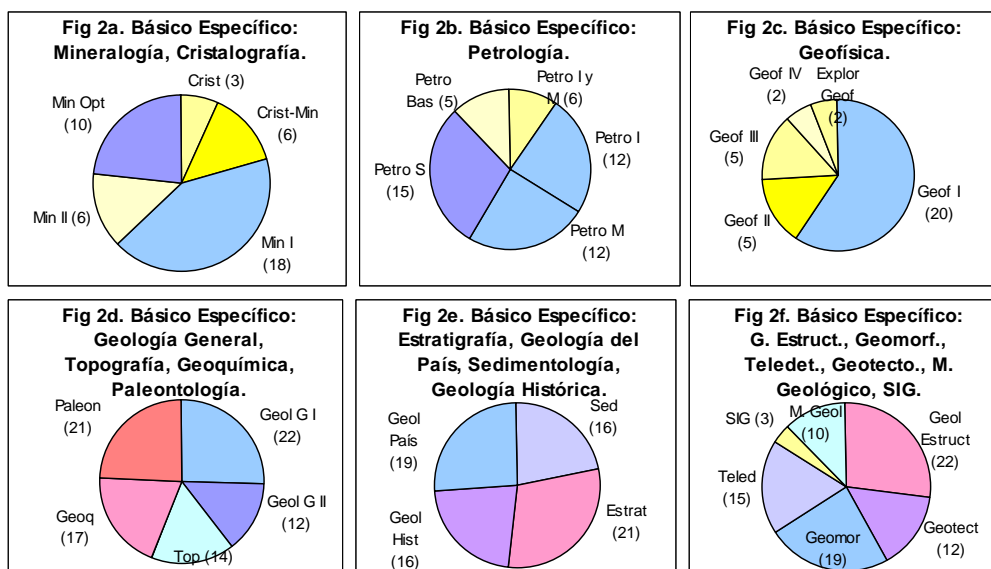


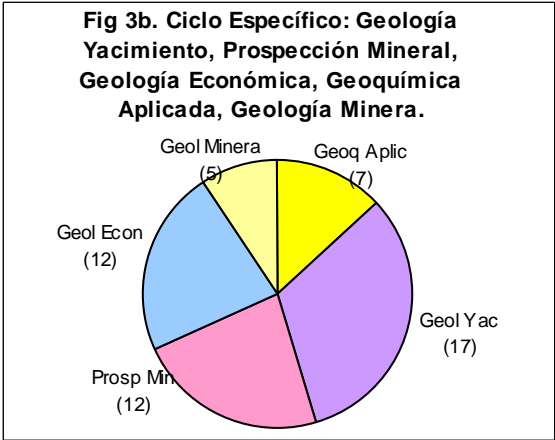
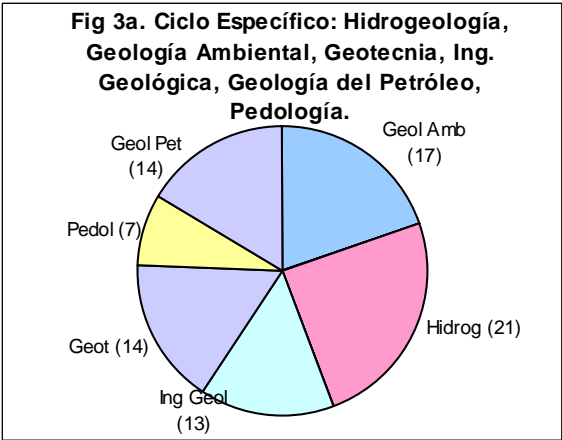
En el **ciclo básico específico** (figura 2) es común en los Currículos analizados la presencia de asignaturas como mineralogía (2 cursos), petrología (3 cursos), geofísica, geología general (2 cursos), topografía, geoquímica, paleontología, estratigrafía, sedimentología, geología del país, geología histórica, geología estructural, geotectónica, geomorfología, teledetección y mapeo

geológico. En el caso de mineralogía y cristalografía (figura 2a) hay algunas tendencias en las que incluyen ambos contenidos y en algunos casos tienen en cuenta la parte de mineralogía óptica. La petrología en algunos cursos contemplan las rocas ígneas y las metamórficas (figura 2 b) y en otros las tres rocas (petrología básica). La geofísica está presente en la gran mayoría de los Currículos, pero en forma de un solo curso (figura 2c), al igual que el resto de las asignaturas mencionadas (figuras 2d, e y f); el curso de sistemas de información geográfica (SIG), a pesar de tener un gran uso en las geociencias actualmente, aún no aparece explícitamente en los Currículos analizados (figura 2f).

En el **ciclo específico** se incluye la hidrogeología, geología ambiental, geotecnia, ingeniería geológica, geología del petróleo, geología de yacimiento, prospección mineral y geología económica (figura 3a y b). Algunos cursos de pedología, geotecnia e ingeniería geológica son indistintamente considerados en los Currículos, la geoquímica aplicada y la geología minera aunque son cursos considerados de interés por algunos especialistas para la formación de un geólogo no llegan a ser significativos, es decir estar en 10 o más Currículos (figura 3b).

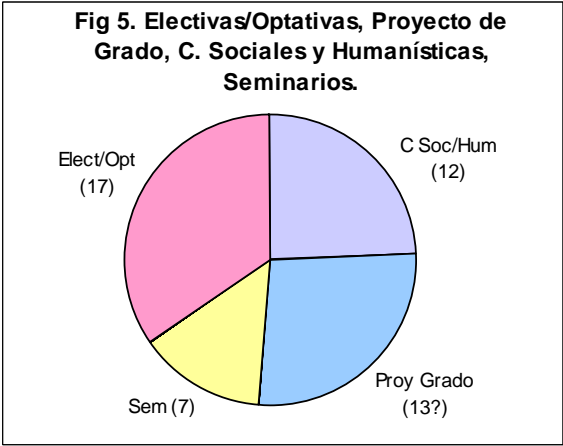
De modo particular se tratan en los Currículos las prácticas de campo (figura 4), en algunos casos incluyen estancias profesionales, por lo general predominan tres. También existen tendencias a incluir en los programas las llamadas asignaturas de corte social-humanística y electiva/optativa (figura 5), las cuales tienen como propósito la formación integral del estudiante al relacionarlo con los diferentes campos del saber científico y humanístico en busca de una formación personal y profesional adecuada a la realidad. Estos estudios se cursan a lo largo de toda la carrera e incrementan la flexibilidad de los Currículos. El caso de los seminarios (figura 5), los cuales pueden contribuir también con la expresión y comunicación del futuro geólogo no ha tenido la misma consideración. Los proyectos de grado, en algunos casos no se expresa si se realizan o no, pero sin lugar a dudas contribuyen a la formación investigativa del profesional que se gradúa.





De modo particular se tratan en los Currículos las prácticas de campo (figura 4), en algunos casos incluyen estancias profesionales, por lo general predominan tres. También existen tendencias a incluir en los programas las llamadas asignaturas de corte social-humanística y electiva/optativa (figura 5), las cuales tienen como propósito la formación integral del estudiante al relacionarlo con los diferentes campos del saber científico y humanístico en busca de una formación personal y profesional adecuada a la realidad. Estos estudios se cursan a lo largo de toda la carrera e incrementan la flexibilidad de los Currículos. El caso de los seminarios (figura5), los cuales pueden contribuir también con la expresión y comunicación del futuro geólogo no ha tenido la misma consideración. Los proyectos de grado, en algunos casos no se expresa si se realizan o no, pero sin lugar a dudas contribuyen a la formación investigativa del profesional que se gradúa.

En general, de los Currículos analizados en sólo 9 se declaran los créditos que corresponden por lo cursos contemplados.



Currículo que se aplica en Cuba.

El denominado plan de C perfeccionado es el actual currículo que se aplica en Cuba, sus características se dan a continuación:

I AÑO		III AÑO	
Geometría Analítica (50)	Cálculo Integral (104)	Estratigrafía (70)	Petrología II (84)
Cálculo Diferencial (80)	Idioma Inglés II (96)	Petrología I (84)	Hidrogeología General (56)
Geología General I (60)	Computación II (32)	Geofísica I (84)	Geofísica II (82)
Dibujo Básico (64)	Educación Física II (48)	Diferendo Cuba – Estados Unidos (32)	Geología Histórica (56)
Química General I (64)	Geología General II (60)	Economía y Teoría Política I (68)	Economía y Teoría Política II (68)
Topografía (128)	Mineralogía I (80)	Defensa Nacional (64)	Perforación y Laboreo Minero (70)
Computación I (48)	Química General II (64)	IV AÑO	

Este posee 59 cursos e incluye además 6 prácticas: 3 relacionadas con el Levantamiento Geológico y 3 con las principales esferas de actuación del profesional de la geología (yacimientos metálicos, ingeniería geológica e hidrogeología y yacimientos gasopetrolíferos).

DISCUSION

De las 124 asignaturas declaradas en los 22 Currículos analizados, se presentan un total de 49 en 10 o más escuelas. Las mismas se dan en la Tabla III. De ellas 10 pertenecen al ciclo básico, 20 al ciclo básico específico y 8 al específico, predominan 3 prácticas de campo, el proyecto de grado y se incluyen asignaturas de formación general: ciencias sociales y humanísticas (3 como promedio) y las electivas/optativas (4 como promedio). Las del ciclo específico responden de forma general a las principales esferas de actuación del profesional de la geología: yacimientos minerales, geotecnia, hidrogeología, petróleo y geología ambiental.

Tabla III. Relación de asignaturas frecuentes (10 o más) en los Currículos.

ASIGNATURAS	CICLO	ASIGNATURAS	CICLO
Matemática I	B	Estratigrafía	BE
Matemática II	B	Geología del País	BE
Matemática III	B	Geología Histórica	BE
Física I	B	Geología Estructural	BE
Física II	B	Mapeo Geológico	BE
Física III	B	Geotectónica	BE
Química I	B	Geomorfología	BE
Química II	B	Teledetección	BE
Estadística	B	Geología Ambiental	E
Introducción al Dibujo	B	Hidrogeología	E
Mineralogía I	BE	Ingeniería Geológica	E

Mineralogía Óptica	BE	Geotecnia	E
Petrología Ígnea	BE	Geología del Petróleo	E
Petrología Metamórfica	BE	Geología de Yacimientos	E
Petrología Sedimentaria	BE	Prospección Mineral	E
Geofísica	BE	Geología Económica	E
Topografía	BE	Campo I	BE
Geología General I	BE	Campo II	BE-E
Geología General II	BE	Campo III	BE-E
Geoquímica	BE	Ciencias Sociales y Humanísticas (3)	FG
Paleontología	BE	Electivas/optativas (4)	E/O
Sedimentología	BE	Proyecto de Grado	E

Nota: B-Ciclo Básico, BE-Ciclo Básico Específico, E-Ciclo Específico, FG-Formación General, E/O-Electivas/Optativas.

La aparición de las Teorías Curriculares data de la segunda mitad del siglo XX, donde se revela la necesidad de lograr una adecuada eficiencia de los sistemas educativos. La necesidad de dirigir la formación de profesionales universitarios y de egresados de los diferentes niveles de la educación, en general, constituye un problema que se plantea la escuela, en distintas partes del mundo, independientemente de las condiciones económicas, políticas e ideológicas de determinado país. Tal problema es enfrentado por países desarrollados y pobres, aunque de modo muy diferente en dependencia de sus condiciones sociales y concepciones filosóficas, pedagógicas y psicológicas. El planteamiento y la solución de este problema se desarrollan bajo el denominado Diseño Curricular y por medio de la elaboración de un Currículo.

Según Álvarez de Zayas (1996) el objeto del profesional, con sus campos y esferas, así como su objeto de trabajo y modo de actuación, se traslada al proceso de formación como contenido de las asignaturas. De este modo se considera entonces que la relación de asignaturas dada en la Tabla 4 al ser considerada por la mayoría de las escuelas respondan a este principio.

Entonces un Currículo que se asemeje en lo esencial al dado en la figura 6 corresponde en gran medida a lo señalado por Huerta y otros (en web), "un Currículum por competencias profesionales integradas que articula conocimientos globales, conocimientos profesionales y experiencias laborales, se propone reconocer las necesidades y problemas de la realidad. Tales necesidades y problemas se definen mediante el diagnóstico de las experiencias de la realidad social, de la práctica de las profesiones, del desarrollo de la disciplina y del mercado laboral. Esta combinación de elementos permiten identificar las necesidades hacia las cuales se orientará la formación profesional, de donde se desprenderá también la identificación de las competencias profesionales integrales o genéricas, indispensables para el establecimiento del perfil de egreso del futuro profesional".

No obstante, al contener 49 asignaturas es posible entonces que aun pudieran considerarse algunos cursos más, relacionados sobre todo con el ciclo específico, ciencias sociales y humanísticas y las electivas/optativas, e incrementar esta cifra.

Sem		Créditos		
		Ob	Op	T
1	Mat I, Dibujo, Química I, Geol. General I, Topografía			
2	Mat II, Física I, Química II, Geol. General II, Mineralogía I			
3	Mat III, Física II, Miner. Óptica, Geoq., Paleo., Geol. Estructural			
4	Física III, Estadística, Mapeo Geol., Geomorf, FG			
5	Geofísica, Teledetección, Petro I, Estratigrafía, Geotectónica, Campo I			

Figura 6. Proyecto de Currículo a partir del promedio de cursos dados en 22 Facultades-Departamentos de Geociencias de Latinoamérica y del Caribe.

Se considera que este Currículo corresponde a lo que la enseñanza superior cubana ha llamado en calificar: **formación de un profesional de amplio perfil**, capaz de resolver en los puestos de trabajo de base de su profesión, los problemas más generales y frecuentes que se presentan en las diferentes esferas de su actividad profesional.

Las diferencias fundamentales del plan de C perfeccionado del actual currículo que se aplica en Cuba con el proyecto dado en la figura 6 están dadas en que las asignaturas Teledetección, la tercera Petrografía y Sedimentología aparecen dentro de otras, por ejemplo Geomorfología y Teledetección, el Mapeo Geológico se da en la práctica de Levantamiento Geológico II y la Geología Ambiental en forma de contenidos transversales a partir de una estrategia curricular. Se supera la cantidad de prácticas de campo con seis. Sin embargo, la diferencia esencial se da por la presencia de materias tales como: Idioma Inglés, Marxismo– Leninismo, Preparación para la Defensa y Educación Física.

CONCLUSIONES

1. Los Currículos que actualmente se aplican en muchas de las Facultades-Departamentos de Geociencias de Latinoamérica y del Caribe tienden a tener un total de 49 signaturas. De ellas 10 pertenecen al ciclo básico, 20 al ciclo básico específico y 8 al específico, predominan 3 prácticas de campo, el proyecto de grado y se incluyen asignaturas de formación general: ciencias sociales y humanísticas (3 como promedio) y las electivas/optativas (4 como promedio).
2. Las asignaturas que corresponden al ciclo específico responden de forma general a las principales esferas de actuación del profesional de la geología: yacimientos minerales, geotecnia, hidrogeología, petróleo y geología ambiental. Por lo que corresponde a un profesional de amplio perfil, capaz de resolver en los puestos de trabajo de base de su profesión, los problemas más generales y frecuentes que se presentan en las diferentes esferas de su actividad profesional.

3. El actual Currículo que se aplica en las escuelas de Cuba posee 59 asignaturas, cifra que excede el número promedio (49) de éstas presentes en los currículos estudiados. En esencia la diferencia se da por la presencia de materias tales como: Idioma Inglés, Marxismo–Leninismo, Preparación para la Defensa y Educación Física.

RECOMENDACIONES

1. Perfeccionar los actuales planes de estudio tendientes al modelo resultante del presente trabajo para lograr homogeneidad en los Currículos de las Facultades-Departamentos de Geociencias de Latinoamérica y del Caribe. En particular potenciarlos en: las esferas principales de actuación del profesional de la geología, las actividades de campo, asignaturas de formación general, las electivas/optativas y definir los créditos.
2. Las titulaciones de los Currículos deben tender al otorgamiento de la categoría de Ingeniero, pues éstos son los que predominan actualmente.
3. Iniciar gestiones tendientes a encaminar las posibles **HOMOLOGACIONES Y EQUIVALENCIAS DE TITULOS PROFESIONALES** con los ministerios e instituciones de educación correspondientes.

BIBLIOGRAFIA

- Advine, F., González, M., Ortigoza, C., Batista, L.C., Pla, R., Laffita, R., Quintero, G., García, J.B., Silverio, M., Castillo, Fuxá, M. 2000. Diseño Curricular. Instituto Pedagógico Latinoamericano y Caribeño.
- Álvarez de Zayas, C.M. 1996. El Diseño Curricular en la Educación Superior Cubana. Educación Superior y Sociedad.
- Horrutiner, P. 2000. Tendencias Actuales en la formación de profesionales en Cuba. Biblioteca Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.
- Huerta, J.J., Pérez I.S., Castellanos, A.R. Desarrollo curricular por competencias profesionales integrales. <http://educacion.jalisco.gob.mx/consulta/educar/13/13Huerta.html>
- González, O. 1994. Currículo: Diseño, Práctica y Evaluación. Centro de Estudios para el Perfeccionamiento de la Educación Superior. Universidad de La Habana.
- Pedraza, B. La Nueva Formación Profesional en España ¿Hacia un Sistema Nacional de Cualificaciones Profesionales?. Weboei.

PRÁCTICA DE YACIMIENTOS MINERALES SÓLIDOS: UN ESCENARIO PARA LA FORMACIÓN AMBIENTALISTA DE LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE GEOLOGÍA

José Francisco Lastra Rivero, Ramón G. Pérez Vázquez y Elmidio Estévez Cruz

Universidad de Pinar del Río, Departamento de Geología, Calle Martí No. 270, esq. 27 de Noviembre, Pinar del Río, Cuba. C.P. 20100. E-mail: jlastra@geo.upr.edu.cu, monico@geo.upr.edu.cu estevez@geo.upr.edu.cu

RESUMEN

La formación ambiental de los geólogos se ha convertido en los últimos años en una necesidad importante, debido a su contacto sistemático y directo con los ambientes superficiales de maneras muy diversas. En la carrera de Geología, la práctica de yacimientos minerales sólidos le da culminación a una de los modos de actuación del geólogo, como parte de la formación integral de los estudiantes en nuestra universidad. Un escenario muy apropiado está presente en esta práctica para lograr en los estudiantes una conducta crítica frente a los problemas ambientales provocados por la prospección, exploración y explotación de yacimientos minerales sólidos.

La realización de esta práctica en un área con mineralización metalífera y actividad minera propicia la valoración crítica de los estudiantes frente al impacto ambiental producido. La identificación de las fuentes de impacto ambiental, la determinación del pH de las aguas superficiales y los estudios de riesgos ambientales, forman parte de la experiencia práctica para alcanzar un nivel profesional en los problemas ambientales relacionados con los yacimientos minerales sólidos y contribuye a la adquisición de una correcta ética ambiental en los estudiantes.

Diferentes acciones están encaminadas a lograr modos de actuación que se correspondan con su formación ambientalista. Entre estos se han considerado muy importantes:

- Visitas a las diferentes fuentes de impacto ambiental.
- Identificación de hechos que demuestran el impacto ambiental provocado por la actividad minera en cada lugar.
- Clasificación de los niveles de afectación del medio ambiente por la actividad minera
- Propuesta de medidas para mitigar el impacto ambiental.

ABSTRACT

The formation environmentalist of the geologists has become in the last years in an important necessity because to their systematical contact that the geocientists establish with the surface environment in very different manners.

The practice of solid mineral deposits culminate one of the performance modes of geologists, as a part of the integral formation of the students in our university. A scenario very appropriate is present in this practice to achieve in the students a critical conduct front the environmental problems caused for the prospecting, exploration and exploitation of solids mineral deposits.

The performance of this practice in a area with metalliferous mineralization and mining activity propitiate the critical valuation of the students above the environmental impact produced. The identification of the environmental impact sources, the determination of pH of the surface water and the studies of environmental risks, form a part of de practical experience to obtain a professional level in environmental problems related to solids mineral deposits and contribute to acquisition of a correct environmental ethics in the students.

Different actions are guided to achieve performance modes that corresponding with their formation environmentalist. Among these they have been considered very important:

- Visits to different sources of environmental impact.
- Identification of facts that demonstrate the environmental impact caused by the mining activity in each place.
- Classification of the levels of affectation of the environment by mining activity
- Proposal of measure to mitigate the environmental impact.

INTRODUCCIÓN

Las prácticas de campo en el contexto del diseño curricular de la carrera de Geología se han ido convirtiendo en una necesidad insoslayable para la solución de problemas vinculados con la formación integral de los futuros profesionales de esta ciencia. Cruz et al. (2001) le confieren a estas actividades prácticas la categoría de escenario propicio para la interdisciplinaridad, entendiéndose esta como la integración de asignaturas y disciplinas en un contexto geológico apropiado dirigido a la adquisición de hábitos y habilidades, la consolidación de valores morales y éticos y la expresión práctica del modo de actuación de un profesional revolucionario.

La problemática surgida a partir de la ausencia de asignaturas de corte ambientalista en el Plan de Estudios vigente condujo al surgimiento de una estrategia curricular de Formación Ambiental que por su carácter se inserta transversalmente y a las que asignaturas y disciplinas deben contribuir de forma armónica y organizada. Atendiendo a este principio, se consideró necesario que la práctica laboral-investigativa, como colofones de las esferas de actuación del profesional de la geología, han de ser el escenario ideal para lograr en los estudiantes el accionar consciente ante las afectaciones al medio ambiente producidas por la actividad geólogo-minera. En este sentido, la práctica laboral-investigativa de yacimientos minerales sólidos se convierte en un escenario donde el estudiante logra adquirir conciencia con los problemas medio-ambientales que reporta la explotación de los recursos minerales sólidos y, acorde con su nivel de formación, es capaz de identificar los factores desencadenantes de estos y la adopción de medidas correctoras que minimicen los efectos nocivos sobre el medio ambiente.

En consecuencia, se plantea el problema de cómo lograr de una manera efectiva y activa el incremento del modo de actuación de los futuros profesionales de la geología ante el impacto ambiental producido por la actividad geólogo-minera y la toma de decisiones para mitigar este. La actividad geólogo-minera intensa desarrollada en la región Santa Lucía-Matahambre representa una primicia para ser usada como un escenario ideal en el que se puede incentivar el pensamiento ambientalista y el amor a la naturaleza en los estudiantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

➤ Fundamentos curriculares sobre la formación ambientalista del profesional de la geología.

Cada día se impone más la necesidad de incursionar en los aspectos medulares de la introducción de la temática ambiental en el proceso docente-educativo de las Ciencias de la Tierra. Catalán et al. (1998) proponen una programación para las Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente basada en cuatro tipos de referencias básicas: curriculares, epistemológicas, psicopedagógicas y ambientales.

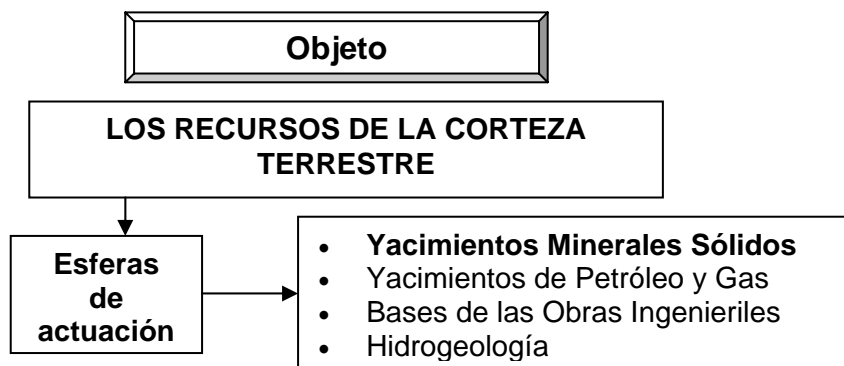
La idea que se propone en este trabajo acerca de lograr un escenario adecuado para fomentar la formación ambiental de los estudiantes de la carrera de Geología en la práctica laboral-investigativa de Yacimientos Minerales Sólidos está sustentada en:

- Modelo del profesional. Este se encuentra definido en el Plan de Estudios C perfeccionado de la carrera de Geología, constituyendo la referencia curricular en la que se sustenta el sistema de habilidades, hábitos, actitudes y valores a lograr en los estudiantes con vistas a su formación integral.
- Estrategia de la carrera de Geología para la Formación Ambiental. Orienta y controla las acciones que se ejecutan para lograr una formación ambiental en los estudiantes, constituyendo el

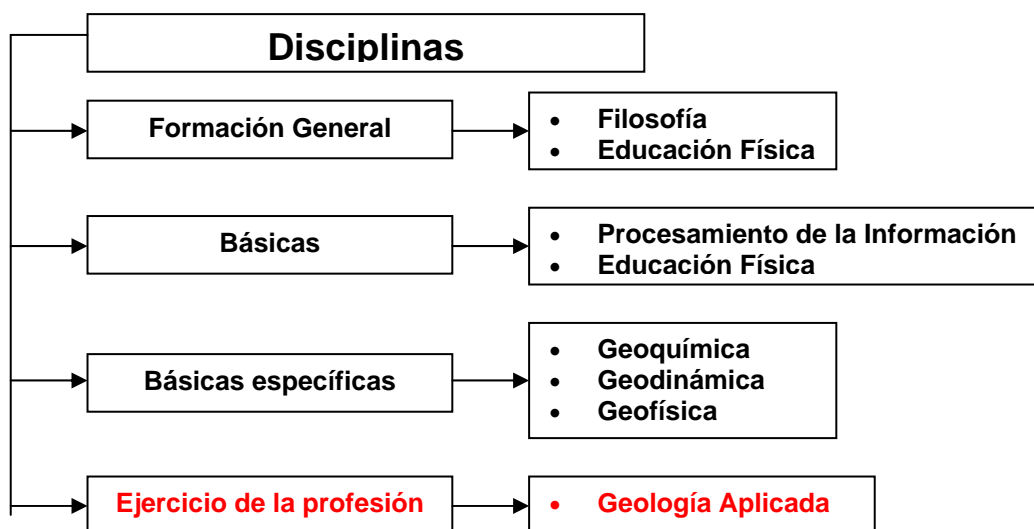
elemento organizativo y metodológico principal para la inserción de este aspecto en las diferentes disciplinas y asignaturas. Su efecto concreto está dado en la integración del conocimiento científico del problema ambiental, haciendo uso de los métodos y medios de las ciencias ambientales, lo que le da un carácter de referencia epistemológica.

- Formación docente-investigativa de los profesores. Los profesores que participan en esta práctica tienen una suficiente experiencia profesional en temas vinculados con la geología ambiental, lo cual favorece la adecuada orientación de los estudiantes.
- El protagonismo activo de los estudiantes de manera tal que se convierta en el constructor de su propio conocimiento y sea capaz de tomar sus propias decisiones ante los problemas ambientales. Esto responde a la necesidad de considerar una referencia psicopedagógica basada en el constructivismo.
- Vínculos sólidos con la Empresa Geominera de Pinar del Río para la colaboración docente e investigativa. Desde hace varios años se ha estado realizando esta práctica laboral-investigativa en esta institución, con resultados favorables para ambas partes; existe un convenio de colaboración inter-institucional. Esto posibilita la referencia ambiental concreta basada en los problemas ambientales que la actividad geólogo-minera ha generado en la región minera Matahambre-Santa Lucía, administrada por esta institución
- Guía para la práctica de Yacimientos Minerales Sólidos. Contiene la orientación metodológica que incluye los elementos básicos que conforman la práctica, a partir de una concepción integradora de diferentes asignaturas que inciden en la prospección y exploración de yacimientos minerales sólidos y la integración armónica del enfoque ambientalista.

Analizando el modelo del profesional integral de la geología resulta fácil detectar las diferentes esferas de actuación en que este se ha de desenvolver una vez egresado de las aulas universitarias.



Ello implica que cada profesional adquiriera una sólida formación integral en cada una de estas esferas de actuación, lo cual debe ser garantizado durante la ejecución de las prácticas laboral-investigativas que competen a la disciplina de Geología Aplicada (Díaz, 1999).



➤ **Escenario para la introducción de de la estrategia de Formación Ambiental en la práctica laboral-investigativa de Yacimientos Minerales Sólidos.**

Para el diseño y organización de las prácticas laborales es imprescindible partir de los elementos constitutivos del currículum de la carrera y de un contexto geológico adecuado. Cruz et al. resaltan la importancia de lograr la interdisciplinaridad como parte de la integración que trae en sí misma la práctica laboral-investigativa.

El diseño y ejecución de la práctica laboral-investigativa de Yacimientos Minerales Sólidos está en correspondencia con una de las esferas de actuación del profesional que se está formando y, por consiguiente, debe ir encaminado a lograr comportamientos y valores morales y éticos que propicien una calidad superior en la formación integral del profesional.

Así, en el ámbito ambientalista, no basta con la observación pasiva de los problemas ambientales que se puedan presentar dentro de un contexto geológico determinado. Resulta necesario también una toma de conciencia que implique la valoración crítica y la necesidad de un cambio en el comportamiento individual hacia el medio ambiente; esto debe conducir a un cambio en la conducta social a través de la influencia de los geocientíficos que se están formando actualmente.

En este sentido, Espinet (1999) refiere el tratamiento del problema ambiental va más allá del aspecto puramente docente y se proyecta hacia la connotación que tiene el dominio de la problemática ambiental sobre el comportamiento de los individuos en la sociedad; en este sentido refiere que existen varios factores intrínsecos y extrínsecos que dificultan la percepción y la valoración de los problemas ambientales y como consecuencia merman la necesaria acción social preventiva y correctora. Además considera que una buena percepción y comprensión de los problemas ambientales no se puede reducir a sus consecuencias y efectos, sino que también ha de tener en cuenta las causas y los procesos. Estas afirmaciones sirven de punto de partida para orientar a los estudiantes en el camino a seguir para la solución de los problemas ambientales.

Estos principios sirven de punto de partida para introducir el problema ambiental de manera integrada a la prospección y exploración de yacimientos minerales sólidos, lo cual se expresa en el diseño del proyecto de investigación con un problema profesional a resolver, el objeto de estudio, los objetivos, el sistema de habilidades, el sistema de conocimientos y el sistema de actitudes (Lastra et al., 2005):

Problema Profesional.

- ❖ Necesidad de aplicar de manera integrada los métodos geológicos, técnicos, geoquímicos y geofísicos para la prospección, exploración y evaluación de una región con potencialidades metalíferas, así como de valorar críticamente y adoptar las medidas correctoras sobre el impacto ambiental de la actividad geólogo-minera.

Objeto de estudio.

- ❖ Distrito Metalogénico Matahambre-Santa Lucía.

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 y evaluación de los recursos minerales sólidos, caracterizándose por el amor a la naturaleza y una correcta ética ambiental.

Instructivo:

- ❖ Proyectar y ejecutar investigaciones geológicas de prospección, exploración y evaluación de los recursos minerales, haciendo uso de los métodos y procedimientos más eficaces, racionales y sustentables.
- ❖ Identificar y valorar los factores vinculados con la actividad geólogo-minera que provocan impacto ambiental, sobre la base de la aplicación de los métodos empleados por la geología ambiental.
- ❖ Proponer plan de medidas para mitigar el impacto ambiental provocado por la actividad geólogo-minera sobre la base de los hechos identificados como impacto ambiental, haciendo uso de las técnicas disponibles para ello.

Sistema de habilidades:

- ❖ Realizar revisión bibliográfica.
- ❖ Diseñar una investigación científica orientada a la prospección, exploración y evaluación de un yacimiento mineral metálico.
- ❖ Proyectar y ejecutar trabajos de prospección y exploración mediante la utilización de un complejo racional de métodos.
- ❖ Realizar el modelaje de un yacimiento mineral.
- ❖ Ejecutar la evaluación geólogo-económica de un yacimiento mineral.
- ❖ Muestrear y documentar objetos geológicos en superficie, pozos de perforación y laboreos mineros.
- ❖ Aplicar técnicas para la valoración del impacto ambiental provocado por el hombre durante los trabajos geólogo-mineros.
- ❖ Elaborar planes de medidas correctoras o mitigadoras del impacto ambiental producido por la actividad geólogo-minera.
- ❖ Procesar automáticamente los resultados de los métodos empleados.
- ❖ Confeccionar mapas y esquemas (geológicos, geoquímicos y geofísicos).
- ❖ Interpretar integralmente los resultados analíticos y gráficos del procesamiento de los datos geológicos, geoquímicos y geofísicos.
- ❖ Elaborar informes técnicos.
- ❖ Defender un informe técnico.

Sistema de conocimientos:

- ❖ Variabilidad de los parámetros geólogo – industriales.

- ❖ Criterios e índices de búsqueda.
- ❖ Métodos de prospección geológicos, geofísicos y geoquímicos.
- ❖ Muestreo.
- ❖ Documentación geológica.
- ❖ Confección de mapas a partir de redes.
- ❖ Cálculo de reservas.
- ❖ Evaluación geólogo-económica.
- ❖ Impacto ambiental producido por la actividad geólogo-minera.

Sistema de actitudes:

Se pretende contribuir en esta práctica al desarrollo de las siguientes actitudes en los estudiantes:

- ❖ Solidario en los trabajos de campo y de 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
- ❖ Enfoque integrador en la utilización de los métodos geológicos, geoquímicos y geofísicos en la prospección de un yacimiento mineral-
- ❖ Constatación de la sustentabilidad económica y ambiental de los trabajos que se ejecutan, teniendo en cuenta la relación costo/beneficio y lo que esto representa para la economía del país y en el logro de un desarrollo sostenible en la explotación de los recursos minerales.
- ❖ Interpretar a partir de los métodos y técnicas más actuales en el trabajo de campo los datos obtenidos y realizar un adecuado procesamiento y presentación de la información.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La organización de la práctica laboral-investigativa de Yacimientos Minerales Sólidos en la región minera Matahambre-Santa Lucía tiene en cuenta que este territorio posee rasgos que posibilitan una dualidad integrada: terreno adecuado para una aproximación a la realidad de la proyección de actividades prospectivas de yacimientos minerales sólidos y escenario en el que se pueden observar y valorar los efectos del impacto ambiental producido por la actividad geólogo-minera.

La estructura organizativa de la práctica incluye 4 etapas, las que se pasan a describir a continuación:

Etapas 1.- Preparación previa y diseño del proyecto.

Esta etapa comienza con la organización de los estudiantes en equipos de trabajo de 4-5 miembros, cada uno de los cuales estará orientado por un tutor.

En esta etapa inicial se debe realizar una orientación cuidadosa hacia la búsqueda bibliográfica sobre la prospección y exploración de yacimientos minerales sólidos y la influencia negativa de la actividad geólogo-minera extractiva sobre el medio ambiente. Esto se fundamenta en la búsqueda bibliográfica preliminar general sobre estas temáticas y la recopilación de información previa existente sobre la región de estudio.

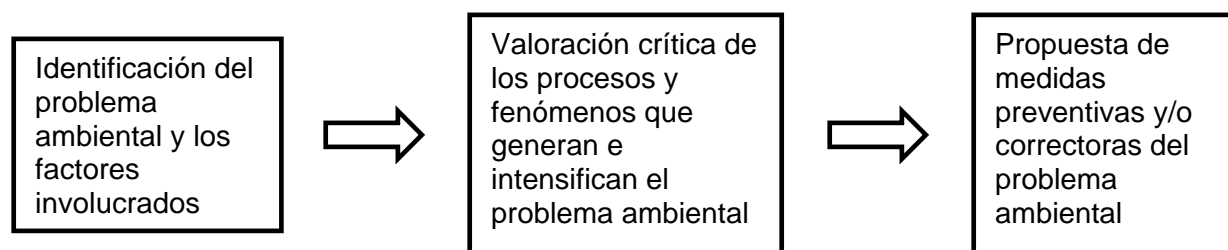
Cada equipo de trabajo deberá presentar el proyecto de investigación antes de pasar a la próxima etapa de la práctica.

Etapas 2.- Trabajos de campo y visitas.

En esta etapa se organizan todas las actividades prácticas fundamentales donde se integran las actividades profesionales vinculadas directamente con la prospección y exploración de yacimientos minerales y aspectos fundamentales del impacto ambiental producido por la actividad geólogo-minera.

Por su significación para los objetivos de este trabajo solo se hará referencia en lo adelante a las actividades que se realizan con vistas a la detección de los factores que contribuyen al impacto ambiental de la actividad geólogo-minera en esta región y el papel activo que juegan los estudiantes con este fin.

De manera general, el estudiante deberá orientarse por el esquema siguiente para abordar el estudio de los problemas ambientales que se le presentarán:



Las investigaciones geólogo-ambientales que se realizarán están concebidas en dos subetapas: de reconocimiento y detallada.

Subetapa de reconocimiento.

I. Itinerario geológico regional

Este incluye un recorrido panorámico que comienza en una zona donde solo se han realizado investigaciones prospectivas anteriores con afectaciones insignificantes al medio ambiente y se transita paulatinamente hacia otras en las que se hacen evidentes las actividades antrópicas relacionadas con la explotación de yacimientos minerales con una elevada influencia negativa.

Este se convierte en un momento de trascendental importancia para que el estudiante pueda reconocer regionalmente los principales focos de impacto ambiental. Así, deben ser capaces de lograr perfilar los rasgos generales ambientalistas que caracterizan al territorio y localizar en el mapa topográfico a escala 1:25000 cada uno de estos puntos de interés medio-ambiental con una clasificación cualitativa preliminar. Esto sirve de base para la proyección de la etapa detallada de estas investigaciones geólogo-ambientales.

Subetapa detallada.

I. Visita a la cantera Santa Lucía.

Durante esta actividad los estudiantes deberán:

- Describir y caracterizar los procesos y fenómenos que ocurren en el ambiente superficial y que son expresión del deterioro del medio ambiente (deterioro de la vegetación, emisión de gases, residuos de la autocombustión de la pirita, etc.) (Figuras 1, 2 y 3).
- Predecir la posible ocurrencia de lluvias ácidas provocadas por la emisión de SO_2 y SO_3 a la atmósfera.
- Medir el pH de las aguas que circulan desde la cantera Santa Lucía, evaluando el grado de afectación del drenaje de mina ácido generado en esta.
- Recolectar muestras de rocas, suelos y aguas dirigidas a estudios geoquímico-ambientales.
- Caracterizar el "paisaje lunar" provocado por la actividad minera a "cielo abierto" (Figura 3).
- Determinar cualitativamente algunos metales pesados disueltos en las aguas ácidas.
- Describir los principales efectos que sobre la vegetación y los suelos se aprecian en el área de la cantera y en la región circundante (Figuras 2 y 3).



Figura 1- Arroyo que drena las aguas ácidas provenientes de la cantera Santa Lucía, con afectaciones notables a la vegetación



Figura 2- Salida de aguas extremadamente ácidas del socavón de la cantera Santa Lucía

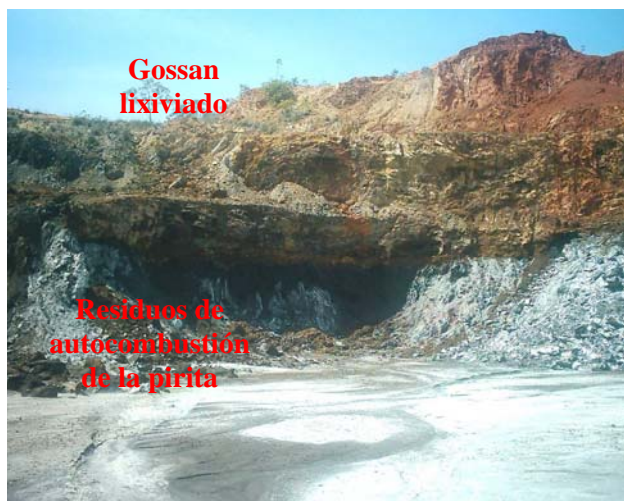


Figura 3- Gossan lixiviado que corona los residuos contaminantes de la autocombustión de la pirita en las paredes y piso de la cantera santa Lucía

II. Visita a mina Oro Castellano.

Durante esta actividad los estudiantes deberán:

- Caracterizar el “paisaje lunar” provocado por la actividad minera a “cielo abierto” (Figura 4)
- Describir el proceso tecnológico de “lixiviación en pilas”, haciendo énfasis en aquellos pasos de mayor riesgo de contaminación ambiental.
- Valorar la efectividad de las medidas que se proponen por la empresa para minimizar el riesgo de contaminación de las aguas, suelos y atmósfera.
- Describir los principales efectos que sobre la vegetación y los suelos se aprecian en el área de la cantera y en la región circundante (Figura 4)



Figura 4- Laboreo minero a “cielo abierto” en el que se ponen al descubierto la capas de mineralización sulfurosa en proceso de oxidación en la mina Oro Castellanos.

III. Visita a la Planta Sulfometales Patricio Lumumba.

Durante esta actividad los estudiante deberán:

- Describir las operaciones que se ejecutan actualmente en la fábrica y que pueden producir contaminación atmosférica (emisiones de SO_2 y SO_3 , emisiones de gases producidos por la combustión de combustibles fósiles, dispersión de aerosoles de compuestos de plomo, etc.) (Figura 5)
- Caracterizar cualitativamente los residuos acumulados en la escombrera de la fábrica, resultantes de la producción de H_2SO_4 por tostación de la pirita y sus posibles efectos sobre el drenaje ácido de mina y la contaminación de suelos y aguas por metales pesados (Figura 6)

- Valorar las afectaciones que se producen en el ecosistema costero dada la proximidad de la fábrica al mar.



Figura 5- Emisión de gases contaminantes por las chimeneas de la Planta Sulfometales



Figura 6- Escombrera en el patio de la Planta Sulfometales con residuos de mineral procesado para la producción de H_2SO_4

Etapas 3.- Procesamiento de la información.

Al procesar la información resultante de los estudios geólogo-ambientales se debe prestar atención especial a la utilización de las técnicas que con estos fines han sido diseñadas. Principalmente deben hacer uso de la representación en mapas y gráficos de los resultados obtenidos y recopilados de trabajos anteriores, con vistas a una generalización del impacto ambiental producido por la actividad geólogo-minera en la región. También se recomienda la utilización de la matriz de Leopold para valorar el grado de impacto ambiental existente y como base para la propuesta de medidas correctoras.

Etapas 4.- Preparación y defensa del informe técnico.

Al preparar el informe técnico el estudiante debe dedicar un acápite a las investigaciones geólogo-ambientales, incorporando toda la información obtenida de los trabajos de campo e integrándola a la recopilada de trabajos anteriores.

Se explicará científicamente todo lo relacionado con los factores desencadenantes del impacto ambiental y las causas y consecuencias de los problemas ambientales. Cada equipo de trabajo propondrá un conjunto de medidas correctoras del impacto ambiental producido por la actividad geólogo-minera en la región.

CONCLUSIONES

La experiencia acumulada en la formación ambiental de los estudiantes de la carrera de Geología y, en particular, el escenario en que se desarrolla la práctica laboral-investigativa de Yacimientos Minerales Sólidos garantiza:

1. La percepción y toma de conciencia de los problemas ambientales que acompañan a la actividad geólogo-minera vinculada con la prospección, exploración y explotación de yacimientos minerales sólidos.

2. La valoración de los factores desencadenantes de problemas ambientales y la adopción de medidas preventivas que minimicen el impacto ambiental.
3. La apreciación del papel que deben jugar las instituciones y organismos en el cumplimiento estricto de la Legislación Ambiental y en la corrección del impacto ambiental producido por la actividad geólogo-minera.
4. El papel protagónico que juegan los estudiantes al valorar críticamente y evaluar las causas y consecuencias de los problemas ambientales.
6. La evaluación sistemática del impacto ambiental y la adopción de medidas correctoras en la región minera Matahambre-Santa Lucía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Catalán, A., I. Bestard, I. Bobadilla., C. Ponsell, 1998. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente: Valoración y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* (Barcelona, España), 6 (1): 52-63.
- Comisión Nacional Carrera de Geología, 1997. Plan de Estudios C perfeccionado.
- Cruz, E. M., O. Díaz., D. Cáceres, 2001. Un escenario de interdisciplinaridad: las prácticas de campo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* (Barcelona, España), 9 (1): 49-56.
- Díaz, O., 1999. Diseño de modelos didácticos de prácticas en la carrera de Geología. Tesis de maestría Universidad de Pinar del Río.
- Díaz, S., 2006. Estrategia de la Carrera de Geología para la Formación Ambiental (Curso 2005-2006). Departamento de Geología. Universidad de Pinar del Río. Inédito.
- Espinet, B., 1999. Los problemas ambientales y la educación ambiental: una reflexión. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* (Barcelona, España), 7 (1): 2-7
- Lastra, J., E. Estévez, R. Pérez, 2005. Guía para la práctica de Prospección y Exploración de Yacimientos Minerales Sólidos. Departamento de Geología. Universidad de Pinar del Río. Inédito.



LA PRÁCTICA DE LEVANTAMIENTO GEOLOGICO I. UN ESCENARIO REAL PARA CONOCER E INTERPRETAR ROCAS, PROCESOS Y FENÓMENOS GEOLÓGICOS

Roberto Denis Valle ⁽¹⁾ **Sandra Pilar Díaz Díaz** ⁽²⁾ **Ana Ibis Despaigne Díaz** ⁽²⁾ **Irma Rodríguez González** ⁽²⁾

⁽¹⁾ *Calle Martí #141, Empresa Geominera de Pinar del Río. CP 20100. Pinar del Río. Cuba. (Prof. a tiempo parcial del Departamento de Geología Universidad de Pinar del Río).*

⁽²⁾ *Calle Martí #270 esquina 27 de Noviembre, Departamento de Geología, Facultad de Geología –Mecánica. Universidad de Pinar del Río. CP 20100 Pinar del Río. Cuba*

RESUMEN

La práctica de levantamiento geológico correspondiente al primer año de la carrera de Geología de la Universidad de Pinar del Río es considerada la asignatura integradora del curso. Enfrentar a los estudiantes a la tarea de identificación de rocas, reconocimiento de algunos procesos geológicos y fenómenos ambientales les permite la elaboración proyecto e informe con los resultados de los trabajos de campo y del procesamiento posterior de los datos obtenidos.

Se exponen algunas de las experiencias acumuladas en estas prácticas desde su incorporación al plan de estudio C hasta la actualidad, con las consiguientes adaptaciones a las condiciones económicas que ha atravesado el país. La práctica constituye el primer acercamiento real de los estudiantes a la rama geológica donde se adquieren conocimientos sobre técnicas básicas como orientación en el campo, uso de los instrumentos del geólogo y habilidades profesionales. Los estudiantes desarrollan espíritu de solidaridad y compañerismo, cualidades que deben caracterizar a un profesional de la rama.

Con la identificación de los procesos geológicos en un área y la interacción directa con la Naturaleza, los estudiantes reafirman la teoría asimilada en asignaturas básicas de la carrera durante el año lectivo; además se logra su familiarización con nuevos términos, conceptos, datos y con localidades o puntos de interés geológico del territorio, lo que crea las bases y estimulación necesarias para la continuación del desarrollo de habilidades en los estudiantes y posibilita su permanencia en la carrera al desarrollar en ellos sentimientos de amor a la especialidad.

ABSTRACT

The Geological survey training for students of the first academic year at the university of Pinar del Rio, is the achievement of all knowledge compiled during this period. Students face their first practical exercise: Rock, minerals and processes identification in the field. The first task is a geological project including geological tasks applied to specific problems, logistics and laboratory analysis. A final report with principal results is needed at the end of the exercise.

This paper shows some experiences achieved during the geological survey training from the first model of C plan up to now. All the exercise have been modified according to the economical problems of our country. The practical exercise is the first close view of students into the geological field. They obtain basic knowledge on traditional as well as modern geological techniques, how to use the geological instruments in the field work and they gain skills and knowledge.

Team work, solidarity and partnership are one of the experiences in this time and they become familiar with the peculiarities of a geologist. Students compare the theoretical knowledge with the real world during fieldwork, they get familiar with scientific vocabulary, geological data, interesting geological points and they promote the base of skills, feeling of love and self confidence with geology

INTRODUCCIÓN



Durante el primer año de la carrera de Geología los estudiantes adquieren, a través de las asignaturas de Geología General, Mineralogía, Topografía y Química conocimientos generales sobre la constitución del planeta, los procesos endógenos y exógenos que en él ocurren, la génesis, características, clasificación de rocas y minerales, así como nociones elementales de Geología Ambiental y del trabajo con mapas y perfiles topográficos y geológicos. Toda esta información, teórica y delimitada en materias independientes, es integrada y complementada de modo práctico con la práctica de levantamiento geológico que se realiza al final de dicho curso, con lo que mejora sustancialmente sus condiciones y servir de base para la asimilación de contenidos más específicos y complejos.

Desde el comienzo de la carrera de Geología en la Provincia de Pinar de Río hasta la actualidad esta práctica ha sido sometida a transformaciones constantes con vista a su mejoramiento siempre para lograr los objetivos propuestos. Ajustándose además a las afectaciones económicas por las que ha pasado el país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como se deduce de lo anteriormente planteado el objetivo de la práctica es la generalización y consolidación de los conocimientos adquiridos en el año académico, en el conjunto de asignaturas básicas, usando para ello la observación y caracterización de procesos y fenómenos geológicos.

Está estructurada en diferentes etapas con actividades propias de cada una:

- Recopilación de información
- Elaboración del Proyecto.
- Trabajos de campo.
- Procesamiento de la información.
- Confección y Defensa del Informe.

Recopilación de información: En esta etapa los estudiantes se familiarizan con la geología del área de estudio, la metodología de trabajo y otros conceptos básicos mediante conferencias impartidas por profesores, además de búsquedas bibliográficas en bibliotecas reales y virtuales y a través de Intranet para lo cual disponen en esos lugares de informes, artículos, publicaciones, trabajos de tesis, etc., sobre estudios regionales y otros que abordan con mayor detalle el territorio donde se desarrollan las prácticas.

Elaboración del Proyecto: Aquí los estudiantes entran en contacto por primera vez con el diseño y la metodología para esta labor, que además de permitirle elaborar un documento guía para su desempeño en la presente práctica, les será muy útil en su vida futura como estudiante y profesional. Incorporan a su arsenal técnico – cultural nociones básicas de la Metodología de la Investigación Científica como: “Antecedentes”, “Problema”, “Hipótesis”, “Objeto”, etc. También realizan, de forma elemental y bajo tutoría, la confección de un cronograma de trabajo y estimaciones económicas como la planificación de gastos. Para esta etapa como material de trabajo se entrega una guía con la estructura y capítulos que debe incluir el proyecto.

Trabajos de campo: Se ejecutan en ocho itinerarios: dos en la ciudad de Pinar del Río, cinco en secuencias de margen continental (Terreno Guaniguanico) y uno en la cobertura neoa autóctona presente en la llanura sur de la provincia. Además de los objetivos específicos de cada itinerario, en sentido general la realización de los mismos permite la familiarización con las técnicas básicas de mapeo geológico (orientación con mapa y brújula, mediciones de elementos de yacencia, estimación



de distancias, documentación geológica, toma de muestras y representación gráfica de la información obtenida en el terreno). Como materiales los estudiantes cuentan con hojas cartográficas a distintas escalas, brújulas, piquetas, lupas y ácido.

De los itinerarios de la ciudad uno se realiza por calles y el cementerio local para observar los procesos de meteorización y la importancia de factores como el clima, composición de la roca, duración e intensidad del proceso, al ocurrir en construcciones y estructuras creadas por el Hombre utilizando elementos naturales (rocas de variadas características y origen) en un marco espacial relativamente pequeño, lo cual permite establecer comparaciones y arribar a conclusiones. El otro itinerario se realiza por las márgenes del río Guamá, el cual atraviesa la ciudad y sirve para que los alumnos lleven a cabo el reconocimiento ambiental de esta corriente fluvial e identifiquen formas del relieve, parámetros y mecanismos propios de la actividad geológica de los ríos.

Los itinerarios en secuencias del Terreno Guaniguanico sirven para el reconocimiento de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, la identificación de unidades litoestratigráficas y de elementos estructurales de importancia regional como la Falla Pinar y algunas unidades tectónicas; además reconocimiento en el terreno y descripción de deformaciones tectónicas plicativas y disyuntivas, observación de procesos de mineralogénesis, contaminación por causas naturales y por actividad minera. Uno de estos itinerarios, al área de Viñales, permite observar en un solo recorrido el desarrollo de procesos cárlicos en formas muy particulares del relieve y en sistemas cavernarios notables; también sitios paleontológicos relevantes y evidencias del impacto de un meteorito en el ámbito regional durante el límite K – T, así como el aprovechamiento con fines terapéuticos y turísticos de la actividad geológica de las aguas subterráneas.

El itinerario en forma de perfil N - S por la Llanura Sur de Pinar del Río permite observar una amplia gama de procesos exógenos que incluye la meteorización, movimientos gravitacionales, actividad geológica de aguas corrientes superficiales, actividad geológica de lagos y pantanos y del mar, con el conjunto de medios de sedimentación que ello implica.

Procesamiento de la información: Parte de esta etapa marcha paralela a los trabajos de campo como la revisión, organización, traslado y representación gráfica de la información obtenida, además los estudiantes deben Interpretar e integrar, a partir de los métodos y técnicas aprendidos en el año académico y en las etapas anteriores de la práctica, los datos obtenidos en la recopilación de información y en el trabajo de campo para realizar un adecuado procesamiento de la información.

Confección y Defensa del Informe: Esta etapa constituye el resumen de lo realizado en las anteriores y un ejercicio inicial con el fin de adquirir habilidades que serán puestas a prueba durante el transcurso de toda la carrera con punto culminante en la defensa de la tesis para obtener el Diploma de Graduado. De igual modo que para la elaboración del proyecto, los estudiantes cuentan con una guía con el formato para estructurar el contenido. Aquí se integran además algunos softwares para la confección de esquemas, perfiles y otras representaciones gráficas; así como para diseñar la presentación en formato digital que sirve de apoyo para la defensa del informe.

DISCUSIÓN

Las experiencias acumuladas en estas prácticas docentes desde su incorporación al Plan de Estudio C hasta la actualidad donde se trabaja con el Plan de Estudio C perfeccionado, es resultado de las diferentes adaptaciones ó variaciones que ha sido necesario realizar ya sea por las condiciones económicas por las que ha atravesado el país, como por perfeccionamiento del plan de estudio y además la necesidad de incluir nuevos elementos legales como la Ley de Medio Ambiente que



comenzó a regir a partir de 1997 y constituye una guía para incorporar conocimientos y habilidades relacionadas con la protección y cuidado del entorno.

Esto ha traído consigo cambios paulatinos durante estos años, así por ejemplo las limitaciones de combustible unidas a las dificultades para el alojamiento han limitado la extensión del territorio a estudiar por lo que se han buscado entre los puntos de interés geológico que dispone la provincia aquellos que queden relativamente cerca de la Universidad e incluso dentro de la ciudad. No obstante al realizar cualquier cambio o adaptación siempre se ha tenido en cuenta, en primer lugar, la calidad de estas prácticas docentes y que se cumplan los objetivos fundamentales.

La concepción y ejecución de las prácticas se ha hecho bajo el Enfoque de Investigación y Desarrollo: donde prime el concepto de ciencia que permita a partir de los conocimientos apropiados, su transformación para la búsqueda de respuestas propias y la participación activa en la elaboración de hipótesis que contribuyan a la resolución de diversos problemas. Además se ha procurado el cumplimiento del Sistema de los Principios Didácticos que abarca los siguientes:

- a) del carácter científico;
- b) de la sistematicidad;
- c) de la vinculación de la teoría con la práctica;
- d) de la vinculación de lo concreto y lo abstracto;
- e) de la asequibilidad;
- f) de la solidez de los conocimientos;
- g) del carácter consciente y de la actividad independiente de los estudiantes;
- h) de la vinculación de lo individual y lo colectivo.

Todo lo cual está en plena concordancia con principios fundamentales que caracterizan la educación, como son:

Aprender a aprender: Dotar a los educandos de los elementos y herramientas necesarias al alcance de todos, para que se apropien por sí solos de los conocimientos, interactuando con ellos, procesándolos y transformándolos de forma creadora.

Aprender a hacer: Preparar a los estudiantes para que apliquen los conocimientos adquiridos, para el desarrollo de habilidades intelectuales, manuales, físicas, etc., es decir, que el conocimiento no quede en el marco teórico abstracto sino que trascienda a la práctica.

Aprender a vivir juntos: Desarrollar el sentido de colectividad, de resolver problemas sociales a cualquier escala. Se prepara al individuo para que desde su crecimiento individual conviva en colectivo.

Aprender a ser: Reforzar las potencialidades de cada individuo de forma tal que le posibilite actuar y moverse en la sociedad desde su individualidad, de tener motivaciones y aspiraciones presentes y futuras.

RESULTADOS

La realización de esta práctica integradora contribuye a implantar y desarrollar en los estudiantes un Sistema de Habilidades y un Sistema de Actitudes a partir de la consolidación del Sistema de Conocimientos adquirido durante el año académico.

Sistema de conocimientos:

SEGUNDA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS '2007.
Memorias en CD-Rom, La Habana, 20-23 de Marzo de 2007



- Procesos Exógenos.
- Minerales y Rocas.
- Procesos de Mineralogénesis.
- Deformaciones plicativas.
- Deformaciones disyuntivas.
- Perfiles geológicos.
- Medio Ambiente.

Sistema de habilidades:

- Revisión bibliográfica de trabajos geológicos realizados en la zona.
- Realizar itinerarios geológicos, aplicando la metodología básica de la investigación científica.
- Manipular equipamiento geológico a partir de los principios básicos de su funcionamiento.
- Aplicar técnicas de seguridad y medidas de protección e higiene del trabajo durante la ejecución de los trabajos de campo.
- Cumplir medidas de protección del medio ambiente.
- Elaborar esquemas geológicos y otros materiales en los que se presentan los resultados de las caracterizaciones realizadas, aplicando las normas técnicas establecidas.
- Interpretar a partir de los métodos y técnicas más actuales en el trabajo de campo los datos obtenidos y realizar un adecuado procesamiento y presentación de la información
- Aplicar técnicas automatizadas en el procesamiento de la información.
- Elaborar informes técnicos de los resultados de la investigación, aplicando las normas básicas.
- Defender informes.

Sistema de actitudes:

- Solidaridad en los itinerarios geológicos y trabajo de 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
- Responsabilidad ante las tareas asignadas en el colectivo
- Respeto de las opiniones de los demás y del derecho de autor
- Cooperación, 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.
- Responsabilidad en el cumplimiento de las medidas de seguridad e higiene del trabajo
- Cumplimiento del secreto estatal
- Sensibilidad ante los efectos antrópicos sobre el medio natural
- Actitud crítica ante los problemas medioambientales
- Organización en el cumplimiento y ejecución de las actividades a realizar.
- Enfoque integrador en la descripción de los principales procesos y fenómenos geológicos presentes en la región.
- Constatación de los procesos y fenómenos geológicos en la práctica para la asimilación individual y creación de convicciones

CONCLUSIONES

1. La Práctica de Levantamiento Geológico I correspondiente al primer año de la carrera de Geología de la Universidad de Pinar del Río constituye la asignatura integradora del curso y



un escenario real para la verificación y consolidación del Sistema de Conocimientos adquirido durante el año académico.

2. La concepción de la práctica ha permitido conjugar el cumplimiento de múltiples objetivos con el empleo reducido de recursos, ajustándose a las afectaciones económicas por las que ha pasado el país y sin dejar de aprovechar los avances en el plano teórico o técnico en aras de una mayor calidad.
3. La práctica se planifica y ejecuta bajo el Enfoque de Investigación y Desarrollo en concordancia con los sistemas de Principios Didácticos y Principios de la Educación que caracterizan los modelos educacionales más modernos.
4. El cumplimiento de las diferentes etapas en las cuales se estructura esta práctica provee a los educandos de un Sistema de Habilidades y de un Sistema de Actitudes que le serán de gran utilidad en su vida como estudiantes y futuros profesionales.

BIBLIOGRAFÍA

- Colectivo de Autores (2002): "Compendio de Pedagogía" . Documentos de la Maestría en Educación. SEPADMedia 1.0
- Departamento de Geología (2006): "Programa de la Práctica de Levantamiento Geológico I" Facultad de Geología y Mecánica. Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca"

ENFOQUE INTEGRAL PARA LA LABOR EDUCATIVA EN LA CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Roberto Díaz Martínez, Rafael Guardado Lacaba, José Nicolás Muñoz Gómez, Gerardo Orozco Melgar, Carlos Leyva Rodríguez, Jesús Blanco Moreno, José A. Batista Rodríguez, Alina Rodríguez Infante.

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, las Coloradas s/n, Moa. CP: 83329.

RESUMEN

La educación cubana ha comprendido plenamente que los objetivos relacionados con la formación de la personalidad del estudiante es lo más importante de todo el proceso de formación, y en correspondencia con ello ha elevado al rango de estrategia principal el sistema de influencias educativas a realizar en cada universidad para lograr la formación de los valores que deben caracterizar a un profesional en la época actual. Es así que surge y se incluye en el plan de estudio D el Enfoque Integrar para la Labor Educativa en la Carrera de Ingeniería Geológica. El enfoque es integral porque involucra a toda la comunidad universitaria. La estrategia integral para la labor educativa está conformada por los objetivos educativos, las dimensiones curriculares, extracurriculares y socio-Política, la estrategia principal y los valores trascendentales de la Carrera. El objetivo de este trabajo es brindar una guía que permita trazar las estrategias educativas que permitan graduar un ingeniero geólogo con características éticas, estéticas, culturales y morales propias de un técnico revolucionario con conocimientos de la Historia de Cuba, del Marxismo y del pensamiento martiano y con un alto grado de responsabilidad ante las tareas asignadas que le permitan ejercer su profesión en el marco legal, aplicando las técnicas de dirección modernas y los fundamentos de la defensa nacional.

ABSTRACT

The Cuban education has understood fully that the objectives related with the formation of the student's personality are the most important in the whole formation process, and in correspondence with the system of educational influences has risen to the range of main strategy to carry out in each university to achieve the formation of the values that you/they should characterize a professional in the current time. It is so it arises and it is included in the study plan D the Focus to Integrate for the Educational Work in the Career of Geologic Engineering. The focus is integral because it involves to the whole university community. The integral strategy for the educational work is conformed by the educational objectives, the curricular, extracurricular and socio-political dimensions, the main strategy and the values transcendental of the Career. The objective of this work is a guide that allows to trace the educational strategies that allow to graduate an engineer geologist with characteristic ethical, aesthetic, cultural and moral characteristic of a revolutionary technician with knowledge of the History of Cuba, of the Marxism to toast and of the thought martian and with a high degree of responsibility before the assigned tasks that they allow him to exercise its profession in the legal mark, applying the modern address techniques and the foundations of the national defense.

INTRODUCCIÓN

La educación cubana ha comprendido plenamente que los objetivos relacionados con la formación de la personalidad del estudiante es lo más importantes de todo el proceso de formación, y en correspondencia con ello ha elevado al rango de estrategia principal el sistema de influencias educativas a realizar en cada universidad para lograr la formación de los valores que deben caracterizar a un profesional en la época actual. Es así que surge y se incluye en el actual plan de estudio el Enfoque Integrar para la Labor Educativa en la Carrera de Ingeniería Geológica.

El enfoque es integral porque involucra a toda la comunidad universitaria porque en el proceso de formación están presentes las dimensiones instructiva, desarrolladora y educativas. Para que esta labor rinda los frutos deseados, en el proceso participan activamente todos los profesores de la carrera, en sus respectivas juntas de año. Además, cada docente se desempeña como tutor de estudiantes desde el primer año hasta que termina sus estudios de pregrado con la defensa del trabajo de diploma. Este trabajo imbrica todos los modos de actuación del estudiante, es decir, la actividad académica (clases y prácticas docentes y laboral-investigativas), extensionista (dentro y fuera de la universidad), política e investigativa.

Este trabajo tiene como objetivo principal mostrar la vía en que la carrera de Ingeniería geológica realiza el proceso de formación del profesional garantizando con ello la transformación de la personalidad del estudiante, para alcanzar niveles cualitativamente superiores en su desempeño profesional integral.

MATERIALES Y METODOS

El enfoque integral para la labor educativa en la carrera de ingeniería geológica es un documento de trabajo permanente del colectivo de la carrera de geología y de consulta obligada por todos los profesores guías y jefes de juntas de año. Este programa ha sido elaborado partiendo de las orientaciones emanadas del la dirección del profesional del Ministerio de Educación Superior de la Republica de Cuba. Para su elaboración se desarrollaron numerosos talleres a nivel de departamento y de facultad, así como de los resultados de las encuestas elaboradas por la vicerectoría docente del ISMM y de las deficiencias detectadas a partir de los ejercicios del diagnóstico y de los resultados año tras año de la ejecución de los proyectos educativos.

DESARROLLO

En las universidades, en la época actual, un tema de mucha vigencia en los debates académicos en torno al problema de la formación lo constituye el modo de formar a los estudiantes bajo un determinado modelo (Horruitiner, 2006).

La formación integral del estudiante es el objetivo central de la educación superior cubana (Horruitiner, 2006a). La estrategia integral para la labor educativa en la carrera de ingeniería geológica ha sido diseñada desde la dimensión curricular y forma parte del sistema de influencias educativas para la formación integral del estudiante (Horruitiner, 2006a).

La consideración de que el estudiante es un sujeto que posee potencialidades para el desarrollo y que a él se puede acceder mediante la actividad conjunta, en interacción con los demás, constituye uno de los principios fundamentales de dicho enfoque (Molina Álvarez, A.T., 2006).

ESTRATEGIA INTEGRAL PARA LA LABOR EDUCATIVA

La estrategia integral de la carrera para la labor educativa está conformada por: 1) los objetivos educativos de la carrera; 2) el proyecto educativo (dimensión curricular, dimensión extracurricular y la dimensión Socio-Política); 3) la estrategia principal y 4) los valores transcendentales de la Carrera. A continuación se explica cada uno de estos eslabones de la estrategia integral.

OBJETIVOS EDUCATIVOS DE LA CARRERA

El objetivo general educativo de la carrera puede enmarcarse en:

“Graduar un profesional de perfil amplio, con características éticas, estéticas, culturales y morales propias de un técnico revolucionario con conocimientos de la Historia de Cuba, del Marxismo y del pensamiento martiano y con un alto grado de responsabilidad ante las tareas asignadas que le permitan ejercer su profesión en el marco legal, aplicando las técnicas de dirección modernas y de los fundamentos de la defensa nacional.

Des este objetivo general se desprenden los siguientes objetivos específicos:

- Conocer y aplicar los principios de la filosofía marxista - leninista en la actividad social, científica y profesional.
- Orientar los intereses individuales en función de las necesidades sociales.
- Reconocer la significación del Partido Comunista de Cuba como vanguardia dirigente de toda la sociedad, aplicando consecuentemente su política.
- Cumplir con la ética profesional con relación a los resultados de los trabajos de prospección, exploración y explotación de las reservas geológicas, manteniendo la debida discreción y protección del secreto estatal.
- Elevar el conocimiento de la Historia de Cuba, las Ciencias de la Tierra y el pensamiento científico cubano.
- Saber polemizar, explicar y defender la realidad cubana y el proyecto cubano de desarrollo social.
- Lograr un nivel adecuado de expresión oral y escrita correspondiente a un graduado universitario.
- Conocer y estar actualizado sobre la situación nacional y global sobre las materias primas, las políticas que se aplican y la eficiencia energética.
- Desarrollar la capacidad de apreciar y amar a la naturaleza y propiciar la conservación y protección del medio.
- Estar impregnado de un espíritu de superación constante, que se manifieste en la autosuperación.
- Aplicar la Ley de Minas y la Ley de Conservación y Protección del Medio Ambiente.
- Dominar las causas del diferendo Cuba - Estados Unidos de América, sus orígenes y evolución, así como el pensamiento antiimperialista de José Martí Pérez y Fidel Castro Ruz.
- Aplicar las técnicas modernas de cómputo, de dirección científica, tecnología de información, comunicación y la racionalidad económica en los trabajos geológicos.
- Lograr un nivel de desarrollo y preparación física sistemática que contribuya a la conservación y mejoramiento de la salud y la creación de habilidades que garanticen una actividad laboral segura y productiva.
- Contribuir a desarrollar los valores culturales y artísticos de la sociedad.
- Conocer y aplicar los aspectos mas generales de la Ley de la Defensa Nacional y los fundamentos del sistema de medidas de la Defensa Civil para los tiempos de paz y en situaciones excepcionales.

PROYECTO EDUCATIVO

La educación superior cubana ha comprendido plenamente que los objetivos relacionados con la formación de la personalidad del estudiante son los más importantes de todo el proceso de formación, y en correspondencia ha elevado al rango de *estrategia principal* el sistema de influencias educativas a realizar en cada universidad para lograr la formación de valores que deben caracterizar a un profesional en la época actual. Y lo hace conscientemente (Horruitiner, 2006a).

Partiendo de esta estrategia principal es que surge a escala de todo el país el denominado *Enfoque Integral para la Labor Educativa en las Universidades*, a partir del cual la carrera de Ingeniería geológica ha perfeccionado el proceso de formación del profesional mediante la elaboración del proyecto educativo.

El proyecto educativo en la carrera se elabora a inicio de curso, específicamente en la segunda semana de clases, a partir de un diagnóstico de las necesidades educativas individuales y grupales, y se elabora en todos los años de la carrera. En él se establecen los objetivos y acciones que se desarrollarán durante el curso. Aunque el proyecto es esencialmente de los estudiantes, los profesores del colectivo de año hacen suyas todas las acciones que conlleven al logro de los objetivos propuestos. El objetivo es transformar la personalidad del estudiante, para alcanzar con ello niveles cualitativamente superiores en su desempeño profesional integral.

El proyecto contempla tres aristas principales, denominadas dimensiones; ellas son: curricular, extracurricular y socio-política.

Dimensión curricular

El enfoque integral para la labor educativa visto desde lo curricular significa disponer de una sólida preparación científica y técnica. Sin ella no hay, ni puede haber, desempeño profesional integral (Horruitiner, 2006a). Para su cumplimiento se prevé desarrollar un conjunto de acciones, entre las que se destacan:

- Desarrollar el proceso enseñanza-aprendizaje con eficiencia y calidad asegurando el cumplimiento de los objetivos instructivos y educativos de los planes de estudios.
- Desarrollar las invariantes de habilidad del modelo del profesional de forma que se garantice la preparación de los egresados para sus respectivas esferas de actuación fundamentales y campo de acción.
- Desarrollar en los estudiantes los valores educativos contenidos en las asignaturas.
- Dedicar especial atención a las estrategias curriculares de computación, del idioma extranjero y materno, a la formación económica y la dimensión ambiental.
- Desarrollar los métodos de investigación científica e incrementar la incorporación estudiantil a las investigaciones extracurriculares.
- Utilizar las prácticas docentes y el componente laboral para desarrollar valores tales como: amor al trabajo, solidaridad, disciplina y otros (colectivismo).
- Prestar especial atención a los ejercicios evaluativos integradores.
- Rescatar los exámenes de la dignidad como vía para evaluar la formación de valores: honradez, honestidad.
- Desarrollar el enfoque humanista a través de las asignaturas de los planes de estudios y el conocimiento de la historia de las ciencias.
- Vinculación del pensamiento cubano a través de la referencia a los científicos nacionales, época, lucha, etc.

Dimensión extracurricular

¿Qué hace el estudiante dentro y fuera del aula? ¿emplea adecuadamente su tiempo libre?, ¿investiga?, ¿realiza deporte?, ¿va al teatro?, ¿lee una obra relacionada con la cultura universal?, ¿se proyecta hacia la comunidad?, ¿contribuye con su trabajo al desarrollo de la sociedad en el entorno de la universidad y en su comunidad de origen, ¿es ejemplo de estudiante revolucionario?. Estas y otras interrogantes son resueltas mediante un conjunto de acciones, tales como:

- Desarrollar las actividades de extensión universitaria de forma que contribuyan a la educación formal, artística, científica, ética, estética y física, consolidando la influencia universidad- sociedad utilizando entre otras: Conversatorios, conferencias, peñas literarias, concursos, cursos optativos,

visitas a instalaciones socioculturales (Museo, Galerías), la práctica deportiva y la participación en manifestaciones culturales.

- Proyectar el trabajo de extensión hacia la comunidad, a través de intercambio científico técnico, cultural, deportivo, político, con organismos, empresas, instituciones educacionales, consejos populares, entidades laborales y unidades docentes, logrando la participación consciente y activa de los estudiantes en el territorio.
- Realizar una divulgación sistemática de la vida de la facultad, sus logros, y actividades relevantes.
- Crear un clima agradable en aulas, laboratorios, talleres y el departamento que influya positivamente en la formación estética de estudiantes y trabajadores, facilite la labor educativa y que con la participación activa en la consecución de este se eleve el sentido de pertenencia a la carrera, facultad y el centro.
- Prestar la mayor atención posible a la residencia estudiantil de la carrera fundamentalmente a través de los colectivos de año para elevar la higiene, orden interior y estética de nuestra beca y mejorar los hábitos de convivencia social entre nuestros becados.

Dimensión socio-política

A diferencia de un graduado universitario en un país capitalista, en Cuba el estudiante está comprometido con su país, con las conquistas de la revolución y del socialismo y participa conscientemente en el proyecto social cubano. Es por ello que la dimensión socio-política contempla un conjunto de acciones encaminadas a fortalecer el trabajo político ideológico en los estudiantes. Dentro de estas acciones se mencionan:

- Participar en la batalla de ideas que libra nuestro pueblo a través de los proyectos de impacto vinculados con la carrera como es el TRASVASE Este-Oeste, el plan sequía de la provincia de Holguín y la participación en el programa energético de la revolución, así como en la Escuela de Trabajadores Sociales de Holguín atendiendo estudiantes venezolanos y bolivianos.
- Utilizar como vía para desarrollar la cultura política la comunicación cotidiana de los docentes en las brigadas, en la residencia y en cualquier sitio oportuno para reflejar la situación nacional, las principales cuestiones del acontecer territorial, nacional e internacional que propicie el debate abierto, franco y permita la labor orientadora que nos corresponde.
- Inculcar a los estudiantes la responsabilidad ante la defensa de la patria, exigiendo la participación con calidad en la preparación para la defensa, en los concentrados de las MTT, las guardias estudiantiles y en la disciplina PPD.
- Desarrollar hábitos de conductas en los estudiantes acordes con su instrucción, a través de su ejemplo personal, el intercambio sistemático y el control en la residencia estudiantil, la participación en las actividades productivas, políticas u otras organizadas por los departamentos o secciones sindicales.
- Lograr el incremento del conocimiento de la Historia de Cuba de estudiantes y trabajadores a través de métodos activos, conservatorio con participantes o testigos de hechos históricos, recorridos históricos, visitas a monumentos (desfiles y marchas) y otras actividades.
- Celebrar las efemérides y jornadas ideológicas más relevantes de la historia de la revolución cubana, divulgar su significado e importancia a nivel de carrera en unidad de factores.
- Lograr una participación consciente y efectiva en las movilizaciones agrícolas, autoservicio programado de estudiantes y trabajadores y el cumplimiento de las tareas en saludo al 26 de Julio.
- Lograr una participación en las BET, de forma activa en la solución de problemas de la base material y de vida de la facultad y en obras perdurables.
- Celebrar las efemérides más importantes de los estudiantes extranjeros, dándole la importancia necesaria en la brigada a nivel de carrera.

- Aplicar el conocimiento de aspectos socio-políticos, geográficos, culturales y otros de los países con representaciones de estudiantes extranjeros a través de conservatorios en los colectivos de año.

ESTRATEGIA PRINCIPAL

La estrategia principal en la carrera se define de la siguiente manera: *Avanzar en la obtención de resultados superiores en todas las esferas de la vida universitaria en la Carrera de Ingeniería Geológica, con una aplicación consecuente del enfoque integral en la labor política-ideológica en los estudiantes y trabajadores, profundizando en la adquisición y aplicación de los valores compartidos del Instituto.*

Criterios de medida

1. Fortalecer aún más la unidad de acción y el sentido de pertenencia de todos los trabajadores y estudiantes y sus organizaciones a todos los niveles en la defensa de los principios de la Revolución y en el logro de mejores resultados de la Carrera de Ingeniería Geológica avances en la gestión económica que permita mejoras tangibles en la calidad de la vida material y el ambiente universitario de la Facultad y el Centro.
2. Perfeccionar la elaboración de los proyectos Educativos en las Brigadas sobre la base del diagnóstico realizado y las orientaciones del colectivo de carrera, los objetivos educativos y las acciones dirigidas a la formación de los valores trascendentales. Garantizar la participación protagónica de los estudiantes en su elaboración, ejecución y evaluación de dichos proyectos; y una activa participación en las Brigada Estudiantiles de Trabajo (BET), como culminación de las actividades a desarrollar en cada Proyecto Educativo.
3. Fortalecer las unidades organizativas de base, de todas las organizaciones políticas y de masas, así como incrementar el liderazgo efectivo de todos sus dirigentes. Incrementar la participación consciente de trabajadores y estudiantes en las tareas de la Revolución.
4. Incrementar el protagonismo estudiantil en la dirección del proceso docente educativo y en el autogobierno de la Residencia Estudiantil en el área de la Facultad de Geología y Minería. Obtener buenos resultados en la aplicación del proyecto comunitario en la Residencia Estudiantil.
5. Proyectar y ejecutar un Sistema de Superación de la Comunidad Universitaria en general que comprenda la preparación política y económica basada en los documentos del V Congreso del PCC, los estudios de dirección estratégica, la cultura de la calidad y excelencia de los servicios que se prestan, así como la superación psicológica y sociológica, acorde a las necesidades de trabajadores, profesores y cuadros de la Facultad de Geología y Minería.
6. Perfeccionar la educación patriótico militar de los estudiantes y trabajadores, profundizando en el diferendo EEUU-Cuba, en la formación internacionalista y en la Historia de Cuba.
7. Priorizar el trabajo metodológico de los Departamentos Docentes que tributan a la carrera hacia el proceso de educación en los valores definidos por las carreras y su implementación concreta a nivel de asignatura y año.
8. Fortalecer la cultura organizacional, la imagen de la Carrera de Ingeniería Geológica y la conquista del entorno a nivel de Municipio, Provincia y las Empresas del Territorio y Nación, con vistas a favorecer el estado político-moral y la adecuada calidad de la vida Universitaria.
9. Incrementar la comunicación entre los dirigentes, trabajadores y estudiantes, fortaleciendo el trabajo en equipo. Concebir e implementar una estrategia de comunicación universitaria que permita asumir los valores compartidos del Instituto por los trabajadores y estudiantes y los transforme en promotores culturales hacia la sociedad.

10. Fortalecer el papel de la geología en todo el país. La Carrera de Ingeniería Geológica se propone alcanzar la excelencia y a contribuir a que el Instituto alcance uno de los primeros lugares dentro de los Centros de Educación Superior del país.

VALORES TRASCENDENTES DE LA CARRERA DE INGENIERIA GEOLÓGICA.

Por el carácter de sistema de los valores, el proceso consciente de formación de un valor dado arrastra la formación de otros valores afines, para ello es necesario determinar aquellos valores generales, esenciales e integradores asociados al contenido de la Asignatura, de la Disciplina, del Año y de la Carrera (llamados valores trascendentes), que reflejan las características estables de la personalidad, que por una parte, genera el desarrollo del proceso docente – educativo del referido contenido, a través de su integración, de la solución sistemática de tareas por parte del estudiante a través del trabajo (se educa para el trabajo, por el trabajo y mediante el trabajo); y por la otra se requiere formar o desarrollar en los estudiantes para viabilizar la apropiación del contenido por parte de estos, cuya formación, además, coadyuva a la formación o desarrollo de otros valores afines.

Los valores trascendentes en un nivel de sistematicidad dado (Carrera, Disciplina, Año, Asignatura), constituyen la integración de los valores trascendentes de los elementos que componen el nivel de sistematicidad inferior. Para que un valor sea trascendente, el trabajo con su correspondiente objeto de estudio debe permitir la adecuada sistematización de éste a través de la solución de un amplio sistema de problemas que genere la necesidad en los educandos de manifestar el rasgo de la personalidad que requiere dicho valor, como condición necesaria que permita la solución de los referidos problemas. Estos valores trascendentes son componente esencial del Contenido, y por tanto están asociados al mismo, por ello hay que concentrarse en su formación, porque a través de estos se contribuye al desarrollo o formación de los restantes valores del mismo. Por tal motivo a nuestro juicio es erróneo en ocasiones declarar como valores trascendentes de un nivel de sistematicidad dado aquellos que corresponden directamente al encargo social para cualquier tipo de carrera.

Desde el punto de vista táctico existen una serie de valores que se deben formar primero por su incidencia en la formación de cualquier tipo de valor, de aquí que los referidos valores que permiten el desarrollo de lo táctico en el proceso formativo, deban ser capacidades, por lo cual a los mismos los denominaremos *Valores Básicos o Desarrollantes*.

Por tal razón en la carrera de Ingeniería Geológica se busca la forma de contribuir a la formación de las nuevas generaciones a través de la enseñanza de la Geología por medio de la estructuración y jerarquización de los sistemas de valores al nivel de carrera y años.

El sistema de formación de valores de la carrera representa la creación de capacidades para que el estudiante tenga conciencia de determinados órdenes sociales y reguladores del medio geológico y los recursos naturales que se desean transformar. Para la determinación de los valores trascendentes se parte del Modelo del profesional de la carrera y de la *relación Hombre-Hombre* en el establecimiento de valores universales, la *relación Hombre-Naturaleza* en el cuidado y protección ambiental y la *relación Hombre-estado* en el desarrollo de la calidad ciudadana.

Sistema de valores trascendentes y desarrollantes de la carrera de ingeniería geológica.

- Humanismo de la actividad geológica bajo la óptica del proyecto socialista cubano. (Relación Hombre-Hombre).

VALORES BASICOS O DESARROLLANTES

- 1 Patriotismo
- 2 Firmeza revolucionaria
- 3 Identidad Nacional
- 4 Sentimiento de igualdad de derecho
- 5 Amor a la libertad
- 6 Modestia
- 7 Lealtad
- 8 Dignidad
- 9 Ética
- 10 Generosidad
- 11 Ética
- 12 Antiimperialismo
- 13 Autodeterminación
- 14 Honestidad
- 15 Compañerismo
- 16 Colectivismo y solidaridad
- 17 Internacionalismo
- 18 Sencillez
- 19 Hábito de comunicación y trabajo grupal.
- 20 Crítica y autocrítica

- Sustentabilidad y desarrollo en la prospección, exploración, explotación y protección del medio geológico. (relación hombre-naturaleza)

VALORES BASICOS O DESARROLLANTES

- Sentido de racionalidad
 - Amor a la naturaleza
 - Preocupación y ocupación por el medio ambiente
 - Creatividad
 - Concepción científica del mundo y visión de futuro
 - Hábito de innovación permanente
 - Tenacidad
 - Persistencia
 - Capacidad de observación
 - Visión y capacidad de sistematización y generalización
 - Capacidad de transmitir conocimientos
-
- Eficiencia, eficacia y rentabilidad en la prospección, exploración y explotación de los recursos geológicos y la protección del medio. (relación Hombre-estado).

VALORES BASICOS O DESARROLLANTES

- Amor a la soberanía
- Profesionalidad
- Laboriosidad y amor al trabajo
- Honradez
- Sinceridad
- Liderazgo
- Responsabilidad
- Justicia

- Independencia
- Pasión por la excelencia
- Consagración al trabajo
- Sentido de pertenencia
- Dinamismo y afán de conquista del entorno

Sistema conceptual de los valores trascendentales de la carrera de ingeniería geológica.

- Humanismo de la actividad geológica bajo la óptica del proyecto socialista cubano.

Preparar a los estudiantes para que a través de la actividad geológica y social manifiesten ideas que expresen respeto a la dignidad humana, preocupación por el bien de los hombres, por su desarrollo multilateral y que bajo la óptica del proyecto socialista cubano sean capaces de crear condiciones de vida favorables para el hombre y la sociedad.

- Sustentabilidad y desarrollo en la prospección, exploración, explotación y protección del medio geológico.

Fomentar el uso racional de los recursos y la búsqueda de alternativas en la solución de los problemas, con la aplicación de las nuevas tecnologías para hacer frente a un entorno altamente competitivo. Actuar con excelencia. Ser competitivo, eficiente, racional y creativo.

- Eficiencia, eficacia y rentabilidad en la prospección, exploración y explotación de los recursos geológicos y la protección del medio.

Ser activo, fervoroso para obrar y lograr hacer efectivo todos los propósitos a través de su actividad en la prospección, exploración y explotación y la protección del medio geológico. Hacer lo que tiene que hacer en este aspecto y hacerlo bien.

Valores trascendentales de los años de la carrera de ingeniería geológica. Sistema conceptual.

AÑO: 1ro		
OBJETIVO: Caracterizar los procesos y fenómenos geológicos.		
DISCIPLINAS	ASIGNATURAS	
Marxismo Leninismo	Filosofía y sociedad, Historia de Cuba	
Geodinámica.	Dibujo Básico, Topografía, Geología General I y II, Geología de campo I.	
Geofísica	Física I.	
Geoquímica	Química General I y II y Mineralogía I.	
Matemática Computación	Análisis matemático I y II, Algebra lineal, Computación I y II.	
Idioma	Idioma Ingles I y II.	
Educación Físicas	Educación Física I y II.	
VALORES		
1	2	3
Colectivismo, dignidad y Sentido de pertenencia.	Concepción científica del mundo.	Amor al trabajo, honradez y responsabilidad

Colectivismo: Desarrollar relaciones armónicas entre la sociedad y el individuo, derechos y obligaciones recíprocas entre el individuo y la colectividad a través del desarrollo de actividades conjuntas.

Dignidad: Ser digno, excelente, tener realce. Comportarse con decoro, respetar a los demás y tener sentido de justicia.

Sentido de pertenencia: Sentir orgullo de pertenecer a un colectivo, institución, país y por tanto defenderlo bajo cualquier concepto. Tener apego a lo que construye, a lo que pertenece.

Concepción científica del mundo: Mantener una concepción filosófica a partir del materialismo dialéctico e histórico, aplicando las leyes de la dialéctica en cuanto a la formación del hombre, los elementos químicos, minerales, rocas, yacimientos y nuestro planeta en sentido general.

Amor al trabajo: Afición y satisfacción por el trabajo creador, obtener buenos resultados en las actividades que se realicen, mostrar disposición en la realización de diferentes tareas, ser creativos.

Honradez: Muestra de una posición de honor que permite vivir del esfuerzo propio, que se opone al robo, al fraude, a la corrupción. Ser imparcial y actuar sin doblez.

Responsabilidad: Constituye el sentido del deber y el compromiso con el resultado de sus acciones.

AÑO: 2do		
OBJETIVO: Identificar los procesos y fenómenos geológicos.		
DISCIPLINAS	ASIGNATURAS	
Geodinámica	Paleontología, Geología Estructural, Geomorfología y geología de campo II.	
Geofísica	Física II y III.	
Geoquímica	Geoquímica General, Mineralogía II, Petrología ígnea.	
Matemática Computación	Análisis matemático III, Estadísticas.	
Marxismo-Leninismo	Economía política del capitalismo, Economía política de la construcción del socialismo.	
Idioma ingles	Ingles III y IV	
Educación Física	Educación Física III, IV.	
VALORES		
1	2	3
Colectivismo	Visión y capacidad de	Profesionalidad
Dignidad	sistematización y	Responsabilidad
Sentido de pertenencia	generalización de los	Liderazgo
	conocimientos.	

Colectivismo: Desarrollar relaciones armónica entre la sociedad y el individuo, derechos y obligaciones reciprocas entre el individuo y la colectividad a través del desarrollo de actividades conjuntas.

Dignidad: Ser digno, excelente, tener realce. Comportarse con decoro, respetar a los demás y tener sentido de justicia.

Sentido de pertenencia: Sentir orgullo de pertenecer a un colectivo, institución, país y por tanto defenderlo bajo cualquier concepto. Tener apego a lo que construye, a lo que pertenece.

Amor al Trabajo: Afición y satisfacción por el trabajo creador, obtener buenos resultados en las actividades que se realicen, mostrar disposición en la realización de diferentes tareas, ser creativos.

Responsabilidad: Constituye el sentido del deber y el compromiso con el resultado de sus acciones.

Liderazgo: Desarrollar la condición de líder en el ejercicio de sus actividades. Jefe o conductor de un grupo social o de otra colectividad. Se manifieste a través de la dirección del colectivo al cual pertenece, para unir las acciones en el cumplimiento de un objetivo determinado.

AÑO: 3ro		
OBJETIVO: Explicar procesos y fenómenos geológicos a partir de la elaboración e interpretación geológica geofísica.		
DISCIPLINAS	ASIGNATURAS	
Geodinámica.	Estratigrafía y sedimentología, Geotectónica, Geología Histórica, Cartografía geológica y Geología de campo III.	
Geofísica	Geofísica I y II	
Geoquímica	Petrología sedimentaria, petrología metamórfica	
PPD	Defensa Nacional y Defensa civil.	
Preparación científica y pedagógica	Introducción a la Pedagogía	
Marxismo Leninismo	Teoría socio política y problemas sociales de la ciencia y la tecnología.	
Geología Aplicada	Hidrogeología General, Perforación y Laboreo Minero.	
VALORES		
1	2	3
Firmeza revolucionaria, Patriotismo	Visión y capacidad de generalización y elaboración de la información: Tenacidad, Persistencia.	Pasión por la excelencia, Justicia, Liderazgo

Firmeza revolucionaria: Estabilidad, fortaleza entereza, constancia, fuerza moral de quien no se deja dominar y abatir.

Patriotismo: Es el sentimiento de amor a la patria que propicia su apego a la tierra, la disposición plena del hombre a contribuir con su desarrollo, con su defensa desde diferentes posiciones.

Visión y capacidad de generalización y elaboración de la información.

Tenacidad: Calidad de tenaz, firme, porfiado y pertinaz en un propósito.

Persistencia: Insistencia, constancia en el intento o ejecución de una cosa.

Pasión por la excelencia: Fomentar el interés por hacer las cosas bien y no conformarse con ello sino tratar de hacerlas perfectas. La resolución de tareas docentes, los trabajos investigativos, las prácticas docentes laborales.

Justicia: Virtud que inclina a dar a cada uno lo que le pertenece.

Liderazgo: Desarrollar la condición de líder en el ejercicio de sus actividades. Jefe o conductor de un grupo social o de otra colectividad. Se manifieste a través de la dirección del colectivo al cual pertenece, para unir las acciones en el cumplimiento de un objetivo determinado.

AÑO: 4to		
OBJETIVO: Ejecutar los trabajos geológicos considerando su evaluación económica ambiental, con la finalidad de lograr una explotación racional del medio geológico en correspondencia con su desarrollo sustentable.		
DISCIPLINAS Geodinámica Geofísica Geoquímica Geología Aplicada Preparación científica y pedagógica	ASIGNATURAS Geología de Cuba Geofísica III Geoquímica aplicada Prospección y Exploración de yacimientos Minerales, Geología del Petróleo, Exploración y explotación de hidrocarburos, Prospección y exploración de yacimientos, geología ambiental. Metodología de la investigación	
VALORES		
1	2	3
Identidad nacional y profesional, Habito de comunicación y trabajo grupal	Transmisión y aplicación de conocimientos, Protección racional del medio geológico y Creatividad	Visión económica y hábito de su aplicación y Pasión por la excelencia

Identidad nacional y profesional:

1. Hecho de ser una persona o cosa la misma que se supone o busca (hecho identificable).
2. Habito de comunicación y trabajo grupal.
3. Transmisión y aplicación de conocimientos.
4. Protección racional del medio geológico.

Creatividad:

1. Capacidad de crear alguna cosa, posee o estimula la capacidad de creación, invención.
2. Visión económica y hábito de su aplicación.
3. Pasión por la excelencia

AÑO: 5to
OBJETIVO: Ejecutar los trabajos geológicos considerando su evaluación económica ambiental, con la finalidad de lograr una explotación racional del medio geológico en correspondencia con su desarrollo sustentable.

DISCIPLINAS		ASIGNATURAS
Geofísica Geología Aplicada		Geofísica IV Ingeniería geológica, Hidrogeología aplicada, Economía y gestión, Trabajo de Diploma
VALORES		
1	2	3
Humanismo de la actividad de prospección, exploración y explotación de los recursos gaso-petrolíferos, minerales sólidos, hídricos,	Sustentabilidad y desarrollo en la prospección, exploración y explotación del medio geológico y el entorno Creatividad	Eficiencia, eficacia y rentabilidad en la prospección, exploración y explotación de los recursos del medio geológico.

Humanismo de la actividad de prospección, exploración y explotación de los recursos gaso-petrolíferos, minerales sólidos, hídricos:

Ideas que expresan respeto a la dignidad humana, preocupación por el bien de los hombres por su desarrollo multilateral. Por crear condiciones de vida social favorable para el hombre.

Sustentabilidad y desarrollo en la prospección, exploración y explotación del medio geológico y el entorno

Creatividad:

- 1 Capacidad de crear alguna cosa, posee o estimula la capacidad de creación, invención.
- 2 Eficiencia, eficacia y rentabilidad en la prospección, exploración y explotación de los recursos del medio geológico.

Sistema de valores de las disciplinas.

Disciplina: Marxismo Leninismo.

- 1 Dignidad Revolucionaria.
- 2 Responsabilidad.
- 3 Ética revolucionaria
- 4 Firmeza revolucionaria
- 5 Humanismo
- 6 Fidelidad

Disciplina: Idioma

- 1 Comunicación
- 2 Internacionalismo
- 3 Sensibilidad
- 4 Responsabilidad con su profesión.

Disciplina: Educación Física.

- 1 Tenacidad
- 2 Persistencia
- 3 Resistencia
- 4 Colectivismo

Disciplina: Geodinámica.

- 1 Colectivismo. (relación hombre- hombre).
- 2 Visión y capacidad de sistematización y generalización de los procesos y fenómenos geológicos. (relación hombre – naturaleza).
- 3 Profesionalidad, Responsabilidad, Liderazgo.

Disciplina: Geoquímica

- 1 Dignidad (relación hombre- hombre).
- 2 Concepción científica del mundo, preocupación y ocupación por el medio ambiente.
- 3 Responsabilidad, Dinamismo y afán de conquista del entorno (relación hombre – estado).

Disciplina: Geofísica.

1. Profesionalidad, responsabilidad, dignidad y ética.
2. Visión y capacidad de sistematización y generalización. Capacidad de transmitir conocimientos del medio geológico y los campos físicos (relación hombre – naturaleza).
3. Racionalidad, sistémico, responsabilidad. (relación hombre – estado).

Disciplina: Matemática computación.

1. Honestidad, ética, sentido común, lógica
2. Sistémico y generalización de los modelos y procesos del medio geológico y de los campos físicos.
3. Integralidad en la solución de problemas, (relación hombre – estado).

Disciplina: Geología Aplicada.

1. Humanismo de la actividad de prospección, exploración y explotación de los recursos gaso petrolíferos, minerales sólidos, hídricos (relación hombre- hombre)
2. Sustentabilidad y desarrollo en la prospección, exploración y explotación del medio geológico y el entorno. Creatividad (relación hombre – naturaleza)
3. Eficiencia, eficacia y rentabilidad en la prospección, exploración y explotación de los recursos del medio geológico. (relación hombre – estado).

Disciplina: Preparación para la defensa.

1. Firmeza revolucionaria
2. Internacionalismo
3. Fidelidad

Disciplina Preparación pedagógica y científica:

1. Honestidad
2. Ética
3. Responsabilidad y compromiso con la sociedad.

CONCLUSIONES

La formación del profesional de la geología en Cuba, asumiendo cabalmente los retos de la época actual y participando activamente en el desarrollo económico y social del país es posible mediante la aplicación del enfoque integral para la labor educativa, donde la unidad entre la instrucción y educación constituya la idea rectora principal del proceso de formación.

BIBLIOGRAFÍA

- Horruitiner , P. 2006. El proceso de formación en la universidad cubana. *Revista Pedagogía Universitaria*. Editorial Felix Varela 11 (3):
- Horruitiner, P. 2006^a. La Universidad cubana: el modelo de formación. 1 ed. C. Habana: Felix Varela, ISBN: 959-258-894-5, 249p.
- Molina, A.T., C. Osaba, E. M. López, G. Marín, C. S. Freyre, A. Díaz, T. Ortiz, A. García, Vilma Machín, Ma. E. García, N. Aguilar, A. Nodarse. 2006. Consideraciones teóricas y metodológicas para la implementación de un modelo pedagógico para la formación de valores en estudiantes de ciencias técnicas. *Revista Pedagogía Universitaria*, Editorial Felix Varela 11 (3):



ENSEÑANZA DE LA MINERÍA EN CUBA

Diosdanis Guerrero Almeida (1). Rafael Noa Monjes (2)

(1) Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez". E mail: dguerrero@ismm.edu.cu; dguerrero2006@yahoo.es

(2) Doctor en ciencias Técnicas. Master en Ciencias, Ingeniero de minas. Profesor Instructor Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez". E-mail: rnoam@ismm.edu.cu

RESUMEN

La enseñanza de la minería a nivel mundial, no solo es una aspiración profesional, sino una necesidad para la existencia de la ciencia y tecnología al servicio de la sociedad. En Cuba, desde los primeros años del surgimiento de las labores mineras, este proceso no siempre estuvo presente, por lo que posee particularidades y características específicas. Este trabajo aborda dicha temática y tiene como objetivo caracterizar el estudio de la enseñanza de la minería en Cuba. La aplicación de métodos de investigación muestran su aplicabilidad en otras partes del mundo donde se imparten carreras similares y la necesidad de trabajar a escala local, regional y global, en aras de alcanzar una mayor socialización del proceso de enseñanza-aprendizaje minero, que dado su carácter y objeto de trabajo, históricamente es considerado propio de sectores específicos.

ABSTRACT

The teaching of the mining at world-wide level, not only is a professional aspiration, but a necessity for the existence of science and technology to the service of the society. In Cuba, from the first years of the sprouting of the mining activity, this process has had not present, its specific particularities and characteristics. This work approaches this thematic one and must like objective to characterise of study the teaching of the Cuban mining. The application of methods of scientific research demonstrates its applicability in other parts of the world where is study similar courses and the necessity to work on local, regional and global scale, for the sake of reaching a greater socialization of the mining teaching-apprenticeship process, that given to their character and object of work, historically have been considered proper for the specific sectors.

Key words: mining science; mining teaching-apprenticeship process small Cuban mining, socialization.

INTRODUCCIÓN

La preparación y superación de los recursos humanos relacionados con la explotación de los yacimientos de minerales cubanos, data desde la época colonial. Sin embargo, esta no siempre se desarrolló en nuestro país. Las diversas compañías mineras que explotaron los yacimientos de oro, hierro, níquel, cobre, manganeso y otros, (Spanish American Iron Company, The Cuba Steel Ore Company, Moa Bay Mining Company, entre otras; (Ver **Figura 1**), tenían sus propias vías y medios para enviar trabajadores al extranjero para su preparación técnica, y captar profesionales calificados capaces de asumir esta actividad, [Guerrero, (2003)].



Figura 1. Algunas compañías extranjeras que explotaron en Cuba yacimientos minerales, antes de 1959.

A principios del siglo XX, los propietarios de estas compañías le prestaron especial atención a la formación de técnicos e ingenieros capaces de explotar las riquezas mineras presentes en sus concesiones, toda vez que cursaban estudios en escuelas o universidades extranjeras en temáticas como la búsqueda, explotación y beneficio de minerales, las cuales se dictaban en otras partes del mundo, principalmente en aquellos lugares de donde procedían los propietarios mineros, (generalmente Europa y Estados Unidos).

Lograr que carreras como la minería, geología y otras afines se desarrollaran en nuestro país fue uno de los mayores resultados alcanzados por el proceso de formación de la educación superior cubana. Determinar las fuentes y particularidades de la evolución histórica del proceso de enseñanza-aprendizaje de la carrera de minas, fue el gran desafío enfrentado por los autores del siguiente trabajo cuyo objetivo consiste en caracterizar el estudio de la enseñanza de la minería en Cuba.

Para su cumplimiento fue necesario, realizar un análisis histórico y estadístico de los resultados alcanzados en la impartición de esta carrera en la universidad de Oriente primeramente y más adelante en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, "Dr. Antonio Núñez Jiménez".

DESARROLLO

Evolución histórica de la enseñanza de la minería en Cuba

Si se realiza en apretada síntesis un análisis de la enseñanza de esta materia, se aprecia que desde que se iniciaron las labores de búsqueda y explotación del oro y otros minerales metálicos y no metálicos en 1512 [Soto, (1981)], no se manifiesta tradición sobre su estudio, motivado entre otros factores por la falta de una escuela y personal calificado en tales materias.

La idea de la creación de una escuela de ingeniería de minas para suplir los necesarios conocimientos científico-técnicos data desde la época colonial. Es a partir de 1939 en la secciones de la Real Sociedad Económica del país cuyas secciones de trabajo se desarrollaron en la ciudad de Santiago de Cuba, (perteneciente a la antigua provincia de Oriente), donde se presentó esta inquietud que nunca se materializó.



Hasta la fecha se desconoce las causas que motivaron a que esta primera idea no se llevara a vías de efecto.

Dicha aspiración se pierde con el, paso de los años y no es hasta el pasado siglo que se retoma en la Convención Nacional de Minería celebrada en esa misma ciudad, en noviembre de 1938 en la figura del Ing. Antonio Calvache: infatigable propugnador por la docencia minera en Cuba. Pero sus ideas iban más allá de consideraciones universitarias y describe además la necesidad de la enseñanza técnica minera, con miras a la formación de obreros capaces para lo cual propone la creación de un centro de especialización práctica para el laboreo de las minas, la preparación mecánica de minerales, flotación, etc., así como la creación de un museo de minerales, rocas y fósiles cubanos (sin perjuicio de dotarlo de colecciones extranjeras), en los principales distritos mineros.

Esta escuela llegó a materializarse, y Calvache fue uno de los profesores que colaboraron en ella; sin embargo, la falta de recursos y desatención oficial la hizo desaparecer. Ya en los años posteriores, el 12 de agosto de 1955 se crea la escuela de ingeniería de minas en la Universidad de Oriente, [Soto, (1981)].

Un rasgo característico de la escuela lo constituye el hecho de que su concesión docente, obedecía al grado de desarrollo de las ideas que un siglo antes habían tenido los promotores de su creación. En sus planes de estudio se concebía al minero abarcando todo el proceso industrial desde la búsqueda hasta el beneficio de los minerales: era el tipo de ingeniero de minas que existía en España y otros países, del tipo global y que dominaba la esfera geólogo-minera.

La composición del claustro en esa etapa era mínima, se contaba solamente con un profesor norteamericano que impartía docencia a dos alumnos que al final del curso desertaron. Más adelante en 1962 se reanudan los esfuerzos y con ayuda de profesores del antiguo campo socialista, especialmente con el Instituto de Minas de San Petes Burgo, la escuela logra dar sus primeros pasos, donde se sientan las bases sobre una idea más moderna del ingeniero de minas.

Es bueno destacar que paralelo a esta escuela, en el 1963 se creó la Escuela Tecnológica de Minería en El Cristo, ubicada en la antigua provincia de Oriente hoy provincia de Santiago de Cuba. Fue creada con ayuda de la Unión Soviética y graduó una promoción de obreros y técnicos mineros. Más adelante, por motivos de cambios tácticos en el desarrollo económico de nuestro país fue transformada por un tecnológico para la graduación de técnicos principalmente para la industria azucarera.

La escuela de minas se mantuvo funcionando en la Universidad de Oriente hasta el año 1976, a partir del cual se construye el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, como parte del plan de desarrollo minero que se proyectaba en el país y donde pasa a ser hasta la fecha, una carrera más de dicho centro. Desde su fundación, este centro se creó con el fin de tener la universidad para la carrera (Ingeniería de Minas) en el lugar más adecuado, por lo que en sus primeros 25 años fue esencialmente tecnológico. Luego se abrieron nuevas ingenierías que más adelante se incrementaron con el proceso de universalización de la educación superior cubana y permite un aumento de la categoría científica de su profesorado.

Desde su apertura en 1975, esta carrera estuvo orientada a formar un especialista de perfil amplio que abarcara todo lo concerniente a la construcción y explotación de las minas, tanto subterránea como a cielo abierto, la mecanización de estos trabajos, la topografía minera y el beneficio de minerales.

Estas concepciones se mantuvieron así hasta la puesta en vigor de los planes de estudios A, las especializaciones de Explotación de yacimientos (con el perfil de construcción y explotación), topografía minera, beneficio de minerales y electromecánica minero-metalúrgica. Al aplicarse el plan de estudio B y eliminarse las especialidades anteriores, se retomó el perfil amplio inicial, [EMCM, (2006)].

Matrícula y graduados de ingeniería de minas

Según sus datos históricos, en este centro la cantidad de graduados de ingeniería de minas supera los 550 en todo el país y procedente de otras partes del mundo. Al realizar un análisis de los datos



estadísticos de cantidad de graduados se aprecia que las cifras son diferenciadas por etapas, tal como se refleja en la **Figura 2**.

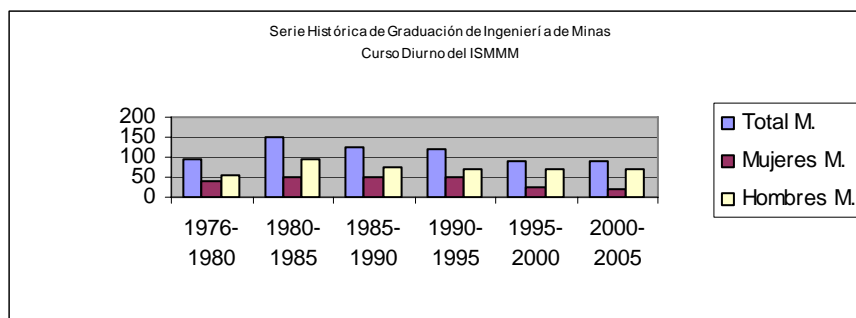


Figura 2. Serie histórica de graduados de ingenieros de minas en el ISMM desde 1976-2005. Curso Regular Diurno. [EMCM, (2006)].

El período enmarcado entre 1976 y 1980, existe cierta estabilidad en la cantidad de estuantes matriculados en la carrera, lo cual deviene indicador que permite interpretar que la cantidad de graduados es también relativamente estable y alta, no así en los años 80-85 donde se recoge un notable incremento en el número de estudiantes matriculados y graduados motivado entre otros factores por los planes de desarrollo económicos del país.

Desde 1995 hasta el 2000, se aprecia una disminución considerable de estudiantes en minas. Esto es motivado por el contexto estructural del país para esos años (el llamado Período Especial), donde la economía colapsó bruscamente y por tanto tuvo una inevitable influencia a nivel microsocial. Esto condujo a muchos estudiantes a tomar la decisión de no venir a Moa de tan lejos a estudiar, lo cual influyó de forma negativa en la matrícula y por ende en las cifras de graduados.

Este decrecimiento se ha mantenido hasta la fecha pues en todo el país se han aprobado alternativas de estudio (Escuelas de Trabajadores Sociales, Maestros Emergentes, Programas de la Universalización de la Enseñanza, entre otros), que permiten a los futuros universitarios ante la crisis, no tener que trasladarse fuera de sus lugares de residencia para estudiar.

Lo anterior trae como resultado una considerable disminución en la cantidad de profesionales mineros que laboran en la actividad propia de la minería y mucho menos en la impartición de la docencia del pre y posgrado en nuestro país. Sin embargo, por su preparación con los trabajos con explosivos, construcción subterránea, mecanización de los trabajos en movimientos de tierra y topografía, los graduados de minas pueden además desarrollar actividades en la construcción de obras subterráneas y superficiales para otros fines de la economía, obras viales, hidrotécnicas, entre otras; todas ellas con un elevado nivel de informatización garantizado a partir del proceso de enseñanza-aprendizaje ya transitaron en su período de formación profesional.

Una vez culminados los estudios de pregrado los cuales abarcan 5 años, según lo establecido en cada Plan de estudio, (A, B, C, C perfeccionado y D; este último en proceso de aprobación a nivel nacional), los egresados de esta carrera se dedican fundamentalmente a la explotación racional de los recursos minerales tanto de forma subterránea como a cielo abierto contemplando la mitigación de los impactos ambientales, los problemas de seguridad minera y la evaluación económica de los proyectos mineros, [Guerrero, (2005)].

Perfeccionamiento de los planes de estudio de la carrera de minería.

Con la elaboración y aplicación de los planes de estudios en la carrera de minería del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, se garantiza la formación integral del ingeniero de minas.



Desde sus inicios, estos planes fueron sometidos a un intenso proceso de análisis y perfeccionamiento lo cual ha permitido su actualización y adaptación a las exigencias actuales de la rama minera, que demanda profesionales de un amplio perfil con incidencia a nivel internacional.

El perfeccionamiento continuo de los planes de estudio ha estado dirigido fundamentalmente en dos direcciones principales, [Resolución 166/97, (1998)]:

- Formación curricular. Está dirigida al incremento de los conocimientos teórico-prácticos de los estudiantes, vinculándolos directamente con los procesos productivos de las entidades afines.

- Formación extracurricular. Está enfocada a la inserción de los alumnos en el desarrollo socio-comunitario y su vinculación con la vida de las comunidades mineras próxima a los yacimientos.

De igual manera, en los Planes de estudios se contemplan estrategias educativas que permiten la formación integral de los ingenieros de minas, las que al ser implementadas incrementan los conocimientos de los estudiantes en las siguientes áreas: medio ambiente, economía, historia, idioma e informatización; [R. Noa, M., (2006)].

Para su materialización se lleva a cabo un trabajo metodológico constante, a través de los diferentes niveles de organización del proceso de enseñanza-aprendizaje de la carrera, el cual se inicia con el trabajo de la Comisión Nacional de Carrera la que incide en el perfeccionamiento de los programas de estudios de cada asignatura, a través de las disciplinas, departamentos docentes y colectivos de cada año, tal como se refleja en la **figura 3**.

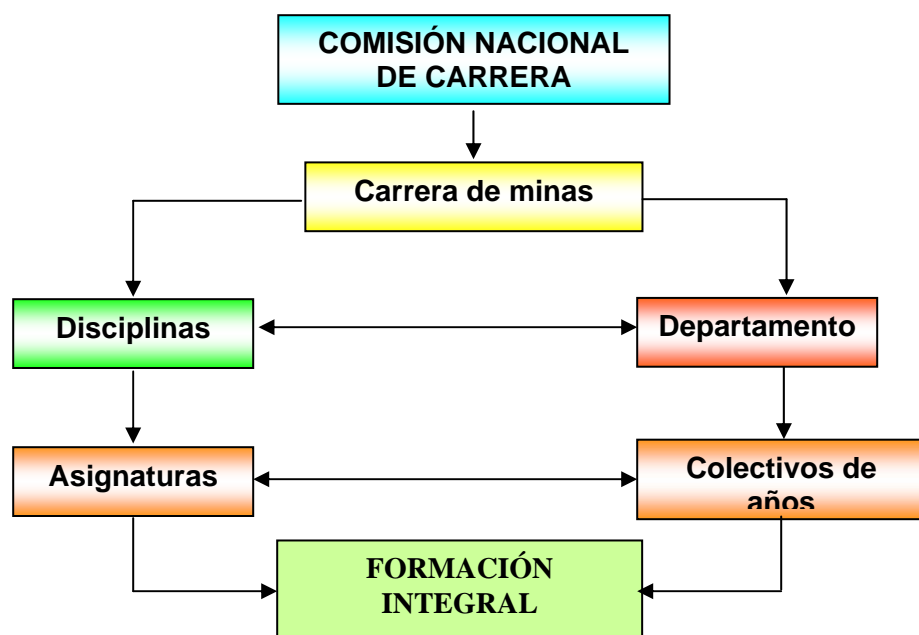


Figura 3. Organigrama del proceso de perfeccionamiento del Plan de Estudio de la carrera de minas.

CONCLUSIONES

1. La ausencia de la enseñanza de la minería en Cuba se encuentra determinada por la falta de apoyo gubernamental y la irracional explotación de los recursos minerales explotados por las compañías mineras presentes en nuestro país desde la época colonial. Existen características histórico-sociales que le imprimen un sello distintivo al proceso de enseñanza-aprendizaje de la minería desde los primeros años de su impartición.

2. El por ciento de estudiantes matriculados y graduados de la carrera de minería ha disminuido considerablemente en los últimos años, lo cual resulta contradictorio con las amplias posibilidades de trabajo que tienen los ingenieros de minas.



3. El perfeccionamiento de los planes de estudio de la carrera de minas en Cuba garantiza la formación integral de los egresados de esta carrera.

BIBLIOGRAFÍA

- Expediente Metodológico de la carrera de Minas (EMCM), 2006. *Acreditación de Excelencia de la Carrera de Minas*. (Departamento de Minas). Facultad de Geología y Minas. ISMMM. Moa, 150 pág.
- 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.
- Guerrero Almeida D. Proyección Internacional del ISMM de Moa, 2005. CD Resumen. *XIII Reunión anual de la Asociación Iberoamericana de Enseñanza Superior de la Minería*. (Pontificia Universidad Católica del Perú). Lima. Perú
- R. Noa, M., 2006. *Estrategia para la formación integral en la carrera de ingeniería de minas*. Trabajo de diploma. Centro de información Científico Técnica. (ISMMM). 96 pág.
- Resolución 166/97. Ministerio de Educación Superior, 1998. *Reglamento de inspecciones de la Educación Superior*. (República de Cuba). MES. 76 pág.
- Soto, González, Luis, D, 1981. *Apuntes sobre la Historia de la minería cubana*. Edit: Oriente. (Santiago de Cuba), p.121.



APLICACION DEL MODELAJE SISMICO 2D AL ESTUDIO DEL CINTURON DE SOBRECORRIMIENTO NORTE CUBANO

Guillermo Miro¹, Josias Silva², Luiz Landau³

¹ CUJAE, Facultad de Ingeniería Civil, La Habana, (Profesor Auxiliar D. Sc. 1993, ISPJAE, Cuba.) E-mail:gmiro@civil.cujae.edu.cu

² COPPE-UFRJ, Laboratório 2m, Rio de Janeiro, (MsC. 1992, Investigador, COPPE-UFRJ) E-mail:jsilva@lab2m.coppe.ufrj.br

³ COPPE-UFRJ, LAMCE, Rio de Janeiro, (Professor Adjunto, D.Sc.1983, COPPE-UFRJ) E-mail:landau@lamce.ufrj.br

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es investigar las posibilidades del modelaje sísmico 2D para el desciframiento del cuadro de ondas que caracteriza al cinturón sobrecoorrido norte cubano, a fin de evaluar las posibilidades informativas de estas técnicas para el análisis de la respuesta que cabe esperar a lo largo de las líneas sísmicas adquiridas en esta región.

En el curso del trabajo, que fue desarrollado en COPPE-UFRJ, sus autores emplearon la técnica de modelaje basada en el trazado de rayos sísmicos mediante el moderno software NORSAR.

En el trabajo se expone sucintamente una breve caracterización sobre el tipo de respuesta sísmica que es registrada en esta compleja e importante región de Cuba desde el punto de vista de su producción gasopetrolífera.

Como resultado principal se arriba a una serie de conclusiones sobre las limitaciones y posibilidades de la sísmica en este territorio, formulándose algunas recomendaciones para el desarrollo de los trabajos futuros.

ABSTRACT

The objective of the present work was to test the techniques of the seismic modeling 2D throughout a typical section of the complex region of the overthrust belt of Cuba in order to evaluate its informative possibilities and to analyze the response that is possible to hope in the seismic lines that would be acquired in this region.

In the course of the work made in COPPE-UFRJ, their authors have used the technique of modeling based on the Ray Tracing Method by means of software NORSAR.

In the article a brief characterization is also exposed about the registered seismic response in this important region of Cuba.

As a result we arrive to a series of conclusions about the limitations and possibilities of the seismic one in this territory, being formulated some recommendations for the development of the future works.

INTRODUCCION

El presente trabajo fue desarrollado en el laboratorio de Cuencas Sedimentarias de COPPE-UFRJ en el marco de la colaboración existente entre la Universidad Federal de Río de Janeiro y el Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" de La Habana, dirigida a la superación de recursos humanos en la esfera de la exploración gasopetrolífera y el mismo constituye por tanto un modesto pero elocuente ejemplo de la colaboración Brasil-Cuba.

Este trabajo está dedicado a establecer consideraciones sobre las posibilidades de las técnicas del modelaje sísmico para el estudio de una compleja región de Cuba, que tiene probadas capacidades gasopetrolíferas.

La región en cuestión, corresponde al cinturón de sobrecorrimento norte cubano que es el sector de mayor importancia probada para la exploración y explotación petrolera en Cuba.

Esta área presenta las dificultades para la exploración gasopetrolífera típicas de estas regiones a escala internacional, ya que aquí la interpretación de las imágenes sísmicas se torna muy compleja.

Por esta razón los autores del presente trabajo se propusieron probar las técnicas del modelaje 2D a lo largo de un corte geológico de la región referida, a fin de investigar sus posibilidades para la interpretación de las imágenes sísmicas de este territorio.

En el curso del trabajo, fue empleada la técnica de modelaje basada en el trazado de rayos ("Ray Tracing") mediante el software NORSAR (NORSAR, 2001).

MATERIALES Y METODOS

❖ Revisión teórica

La exploración de las zonas de cinturones de sobrecorrimento, análogas a la que constituye la franja petrolera norte cubana de crudos pesados, constituye hoy en día un objetivo de primera importancia en muchas regiones del mundo.

Entre las principales zonas de este tipo, acerca de las cuales se han publicado diversos artículos, tenemos algunas tales como: la región de Wyoming en los EE.UU., Papua (Nueva Guinea), Cordillera Oriental de Colombia, zona subandina de Bolivia, Apeninos Centrales de Italia, área sureña terrestre de Trinidad, sector sureño de los Alpes Italianos, etc.

En la región de las Montañas Rocosas, por ejemplo, que se extiende desde Canadá hasta Méjico, se considera que existen muchas trampas petroleras provocadas por el choque de la Placa Oceánica del Pacífico contra la Placa Continental Norteamericana. Las trampas petroleras formadas aparecen localizadas desde Canadá hasta Wyoming, en las que millones de barriles de petróleo han sido descubiertos desde 1970. Esta región está, sin embargo, todavía subexplorada, a pesar de sus gigantes reservas potenciales, debido principalmente a que los datos sísmicos obtenidos, aun con las más modernas tecnologías, no siempre son suficientemente resolutivos.

Según reporta la experiencia internacional (Sheriff R., 1995), la aplicación del Método Sísmico del Punto Medio Común (MCMP) tropieza en estas áreas con diversas limitaciones que dificultan mucho la interpretación geológica de sus resultados, tales como: irregularidades pronunciadas del relieve superficial, complejas estructuras del campo de velocidades, discontinuidades abruptas de las fronteras sismogeológicas investigadas, lo que da origen a efectos de dispersión e interferencias destructivas con energía proveniente de diferentes planos del espacio, existencia de capas de altas velocidades en la parte superior de los cortes constituidas por rocas tales como calizas, ofiolitas etc.

Uno de los principales problemas que enfrenta la sísmica para cartografiar las fronteras profundas en estas condiciones, consiste en que éstas se tornan limitadas en extensión, fracturadas, muy

inclinadas etc. lo que pone de hechos en entredicho la aplicabilidad del concepto básico de enfocamiento de los rayos en puntos de reflexión verdaderamente comunes, circunstancia que pone a prueba las posibilidades del método con las técnicas de adquisición, procesamiento e interpretación empleadas habitualmente (Miró G, 2003).

Una de las técnicas más empleadas hoy en día en la interpretación de áreas caracterizadas por campos de ondas tan complejos, es el modelaje (Lalan Yan et al, 2002), el cual, en muchas ocasiones, permite realizar una interpretación menos ambigua de los datos sísmicos.

Acerca de los rasgos geológicos característicos de estas regiones es de destacar, que los geólogos observaron hace mucho tiempo, la presencia de fallas extensas subhorizontales que separan rocas antiguas que yacen sobre otras mas jóvenes asociadas a los llamados cinturones de sobrecorrimientos (Boyer S, 1982; Gerhard B, 1982; Faure J L et al, 2004; Pires, R.S., 2005).

Muy frecuentemente, el ángulo de buzamiento del plano de falla observado es solamente de unos pocos grados.

Tales estructuras, que fueron identificadas por vez primera en la región de los Alpes durante el siglo XIX, intrigaron a los geólogos desde entonces. Se concluyó que los elementos que principalmente caracterizan tales regiones son los siguientes:

- Los planos de fallas de despegue, tienen ángulos de buzamientos muy pequeños generalmente menores de 10 grados.
- Los espesores de los bloques sobrecorridos de rocas pueden ser del orden de 5-10 Km.
- Las trazas de las fallas anteriormente referidas en la superficie terrestre pueden ser muy extensas, en ocasiones del orden de 100-300 Km.
- Los bloques de rocas pueden ser desplazados distancias que oscilan en el orden de 10-100 Km.
- Los cinturones sobrecorridos constituyen el resultado de un acortamiento horizontal y un engrosamiento vertical con relación a las dimensiones originales de las capas.

En muchas regiones del mundo, éstas áreas son perspectivas para la exploración gasopetrolífera ya que en ellas se produce una favorable combinación de diferentes premisas básicas de los sistemas petroleros: existencia de materia orgánica, rocas madres, maduración térmica, condiciones de reservorios, de trampas, sellos etc. (D'Andrea et al., 1993; Picha, 1996). Sin embargo las capas aloctonas que típicamente constituyen estas regiones, presentan patrones conformados por diferentes litologías y se manifiestan fracturadas y falladas lo que da lugar generalmente a una respuesta sísmica de muy baja calidad como fue señalado anteriormente. Las condiciones tectónicas que dan lugar a esto, es decir el desplazamiento de capas relativamente plásticas sobre estratos autóctonos más rígidos, provocan apilamientos de estratos de variadas velocidades.

Tradicionalmente las áreas correspondientes a los cinturones de sobrecorrimiento fueron ignoradas por la exploración petrolera debido tanto a la creencia de que presentaban estructuras de pobre interés como a las dificultades inherentes a la adquisición e interpretación sísmica en ellas.

Sin embargo andando el tiempo, con el incremento de las mejoras en las tecnologías geofísicas se le va prestando cada vez una mayor atención a regiones tales como los Apalaches, las Montañas Rocosas y los Alpes.

De este modo, la exploración petrolera de los cinturones de sobrecorrimiento tiene mucho más vigor hoy en día que en el pasado reciente.

La calidad de la interpretación sísmica en estas regiones (Sheriff R.E., 1995) depende en gran medida de la calidad de las imágenes que son obtenidas de las mismas y del conocimiento del campo de velocidades de que se disponga.

En el proceso de interpretación en estas áreas, se emplea ampliamente la sísmica 3D (Brown A, 1999) como una de las principales herramientas existentes para atenuar el pernicioso efecto de las ondas laterales y considerar el verdadero carácter tridimensional del campo de ondas registrado en las mismas.

En la etapa de interpretación, el modelaje constituye una herramienta casi obligada hoy en día, ya que el mismo permite realizar un desciframiento menos ambiguo de los cortes.

Sin pretender agotar los aspectos teóricos sobre los que se basa el modelaje sísmico, por no constituir esto el objetivo del presente trabajo, a continuación, nos referiremos brevemente a algunos elementos básicos sobre los que se fundamenta esta técnica, por considerarlo procedente para una mejor comprensión del presente trabajo.

❖ **Modelaje sísmico**

La teoría del modelaje sísmico aparece expuesta en numerosas publicaciones (Fagin S, 1996; Bording P, 1995; Yilmaz O, 1987; Mrinal K S, 2005).

Las dos estrategias mas empleadas para la realización del modelaje sísmico actualmente son:

- La técnica analítica basada en el trazado de rayos en base a la Ley de Snell.
- La técnica numérica, basada en la solución de la ecuación de ondas mediante el método de las diferencias finitas.

Ambas estrategias parten en esencia de la solución de la ecuación de onda, la cual como es conocido, es formulada en su forma más simple, del siguiente modo:

$$\nabla^2 P = \frac{1}{V^2} \frac{\partial^2 P}{\partial T^2}$$

La ecuación anterior expresa que la presión P (también pudiera formularse en base al campo de desplazamientos de las partículas habitualmente identificado como U), representa una magnitud escalar que varía con el espacio y el tiempo. Esta ecuación describe matemáticamente el proceso de propagación, en este caso, de las ondas de presión.

Recientemente en el trabajo (Margrave G, 2004), se hace un interesante análisis comparativo sobre las ventajas y limitaciones de las diferentes técnicas del modelaje sísmico. En esta publicación se concluye que las principales ventajas de la técnica del trazado de rayos, que es la que fue empleada en el presente trabajo, son las siguientes:

1. Puede ser modelado cualquier estilo tectónico por complejo que sea.
2. Pueden ser obtenidos con relativa facilidad cortes en tiempo sintéticos de cero offset equivalentes a los cortes-suma poststack.
3. Pueden ser simulados fácilmente los sismogramas correspondientes al Punto de Excitación Común.

El modelaje mediante el trazado de rayos (Ray Tracing) trabaja con los frentes y superficies de ondas indirectamente, a través del campo de rayos.

Simplificadamente el problema del trazado de rayos consiste en lo siguiente: Dado un modelo del subsuelo, el campo de velocidades y los sitios de ubicación de las fuentes y los receptores es necesario hallar los rayos que se reflejan en las fronteras del medio considerado viajando desde la fuente hasta los receptores.

Generalmente la estrategia empleada consiste en determinar el recorrido de los rayos iterativamente mediante el método de prueba y error hasta que un rayo satisfactorio es hallado (Fagin S, 1996).

Uno de los problemas principales que es preciso resolver con esta estrategia, es hallar el rayo que incide normalmente sobre la frontera y alcanza el punto de emisión-recepción. Debido a que se parte de la condición de que el rayo incide normalmente sobre la frontera, el problema consiste en iniciar el trazado del rayo emergiendo desde la frontera dada en su recorrido ascendente.

Los programas de modelaje basados en la solución de la ecuación de onda mediante el método de las diferencias finitas por su parte, intentan modelar los cambios físicos que se producen en el subsuelo debido al proceso de la propagación ondulatoria.

Estos cambios, expresados en variaciones de las presiones o desplazamientos de las partículas, son evaluados a medida que las ondas se propagan.

Comúnmente el medio investigado es representado a través de una malla de celdas, atribuyéndosele a cada una, varios valores numéricos de distintos parámetros elásticos (Velocidades de las ondas P y S, Coeficientes de Poisson, Módulos de Young, de Cizallamiento etc.)

La principal ventaja de la estrategia del modelaje mediante la solución de la ecuación de onda en forma numérica según se expone (Fagin S, 1996), es que generalmente da lugar a una mejor continuidad de los eventos sísmicos y sus amplitudes, lo que es particularmente beneficioso (en comparación con las técnicas de trazado de rayos) para modelar los bordes de las estructuras. (Kennet B. L. et al, 1985).

Sin embargo según (Fagin S, 1996), el método analítico del trazado de rayos es el más apropiado para el análisis de imágenes sísmicas en zonas de tectónica compleja, ya que en estas circunstancias los programas basados en la ecuación de ondas tienen dos desventajas muy significativas respecto a los que parten del trazado de rayos:

- Para fronteras reflectoras de superficies equivalentes, los programas que resuelven la ecuación de onda requieren un tiempo de máquina mucho mayor, el que llega a ser prácticamente prohibitivo en el caso del modelaje 3D.
- Los programas basados en la ecuación de onda no permiten al intérprete asociar los puntos de reflexión con los de excitación y recepción.

En esta propia publicación se exponen interesantes experiencias sobre el empleo de esta técnica de modelaje en regiones de cinturones de sobrecojimiento similares a la investigada en el presente trabajo, como por ejemplo en la región de las Montañas Rocosas del Canadá.

De todos modos debe señalarse, que por lo visto actualmente, ninguna de las dos técnicas referidas tiene aceptación unánime ya que ambas tienen aspectos positivos y negativos (Margrave, G, 2004).

A continuación, pasaremos a exponer algunas experiencias prácticas obtenidas por nosotros como resultado de la aplicación de las técnicas referidas.

❖ Modelaje sísmico de una sección geológica típica correspondiente a la región de sobrecojimiento norte cubana.

Las primeras experiencias sobre aplicación de técnicas de modelaje sísmico unidimensional (1D) para el cálculo de trazas sintéticas en Cuba fueron obtenidas por compañías norteamericanas que realizaron trabajos de exploración sísmica antes del triunfo de la Revolución (Cia. de Servicios Sísmicos, 1957).

Posteriormente fueron desarrollados trabajos de modelaje sísmico unidimensional (1D) empleando el software MECCA (Escartin E y Miro G, 1981) desarrollado en el curso de aquella investigación.

Más recientemente, las primeras experiencias sobre el empleo del modelaje sísmico 2D en Cuba fueron obtenidas en DIGICUPET durante el año 2003, mediante el software "TESSERAL" que se basa en la continuación del campo de ondas mediante el método de las diferencias finitas (Sorá A, et al, 2003).

Actualmente en diferentes publicaciones (Da Silva B et al, 2005; Costa, et al, 2005; Silva J et al, 2005), se aborda el problema del modelaje sísmico de estructuras subyacentes a capas de altas velocidades tales como cuerpos salinos o de basalto, situación que presenta cierta analogía geofísica a la que caracteriza a nuestra región de estudio, en la que las estructuras de interés, subyacen bajo complejas capas de serpentinitas u ofiolitas caracterizadas generalmente por altas velocidades.

El modelo geológico correspondiente a la zona de sobrecojimiento norte cubana, considerado para el cálculo de cortes en tiempo sintéticos en el presente trabajo, fue tomado de la publicación (Álvarez Castro, J, 2005) y el mismo aparece en la figura 1.

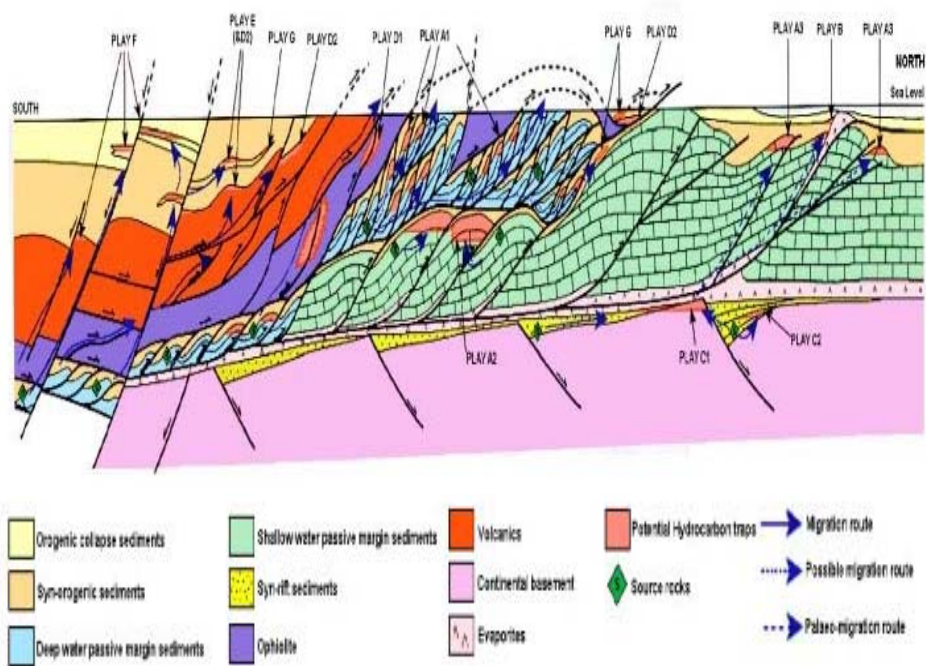


Figura 1: Modelo geológico considerado.

Para el desarrollo del modelaje de la compleja sección considerada, inicialmente fue necesario consultar los datos disponibles mas actualizados a que tuvieron acceso los autores, sobre las características de las velocidades sísmicas en la región objeto de estudio (Ruiz J, 2005).

Del análisis de estos datos, pudo estimarse el siguiente comportamiento aproximado, representativo de los valores de las velocidades requeridas para el modelaje:

- Rocas sedimentarias sobreyacentes: 1500-2000 m/s
- Volcánicas: 3000-4000 m/s
- Ofiolitas: 3500-4000 m/s
- Complejo de sedimentos marinos de aguas profundas: 2000-2500 m/s
- Complejo carbonatado: 2000-3000 m/s
- Basamento continental: 5000-6000 m/s

En base a los datos anteriores, fue abordado el modelaje de la sección considerada mediante el software NORSAR (NORSAR, 2001), como se verá a continuación.

❖ Breve descripción de la metodología de trabajo empleada para realizar el modelaje sísmico.

• Diseño del modelo

Inicialmente fue diseñado (Ver Fig. 2) el modelo de constitución de la región investigada, mediante el modulo correspondiente del software empleado, asignándosele a sus bloques constituyentes los valores de las velocidades de propagación de las ondas P referidas anteriormente. Como puede apreciarse al establecer una comparación con la figura 1, este modulo permite una fiel reproducción de los rasgos geométricos principales del modelo de partida. Debe indicarse que en base a las

características de la sección investigada, para la confección del modelo se eligieron las siguientes escalas: Horizontal 1 cm. = 2.5 Km.; Vertical 1cm = 2 Km.

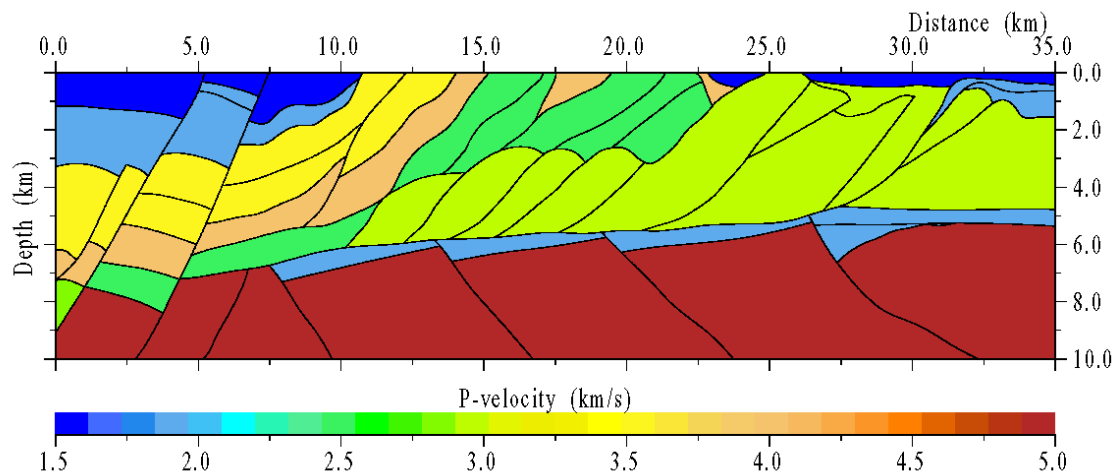


Figura 2: Modelo diseñado mediante el software NORSAR.

- Análisis del campo de ondas

Fue obtenido el hodógrafo sintético correspondiente a un tiro hipotético efectuado en el punto 10, una distancia entre los centros de grupos de receptores a lo largo de la línea de $\Delta x = 25$ m y una longitud total de la línea de 12 Km. a fin de analizar el campo de ondas que debe ser registrado en esta región (Ver Fig. 3). En el hodógrafo se aprecian numerosos eventos de difícil asociación con los elementos del modelo geológico de partida lo cual responde sin dudas a la complejidad del área investigada.

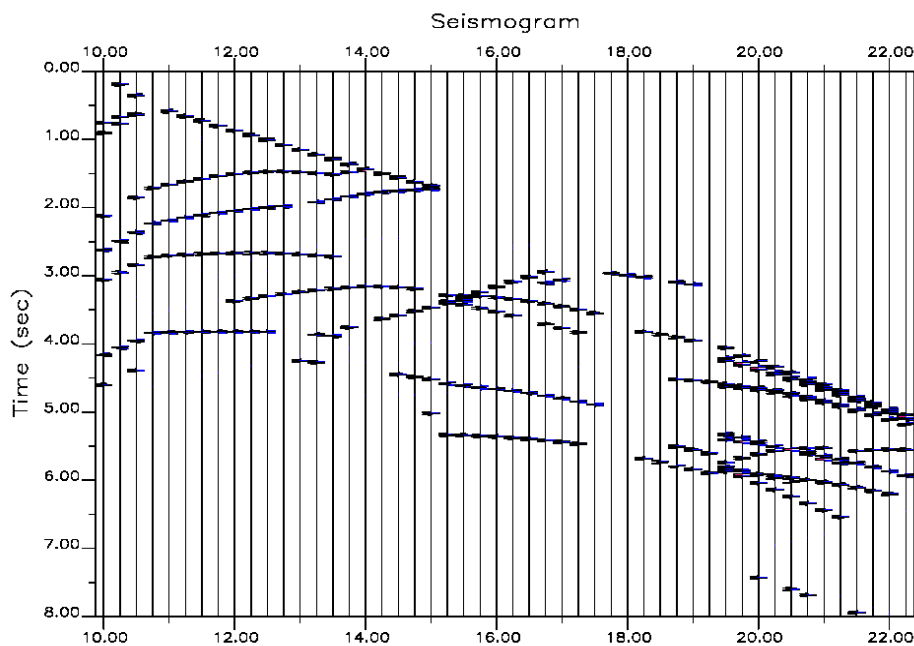


Figura 3: Hodógrafo sintético cuando el tiro se realiza en el punto 10.

- Calculo de cortes en tiempo sintéticos

Durante esta etapa inicialmente fueron calculados varios cortes en tiempo sintéticos. Resulta relevante destacar que fue calculado el corte de tiempos migrado para $\Delta x = 15$ m, y un pulso original transformado en un "spike" (deconvolución) pudiendo apreciarse que bajo estas condiciones la informatividad de la sísmica resulta incrementada (Ver figura 4) con relación a la obtenida cuando $\Delta x = 25$ m, aunque aun la imagen resulta muy compleja debido presumiblemente a las complejas características que presenta el campo de rayos sísmicos (Ver Fig. 5) que da lugar a la misma, no solo por la complejidad geométrica de las fronteras sino también debido a los fuertes gradientes de velocidad que caracterizan al medio investigado.

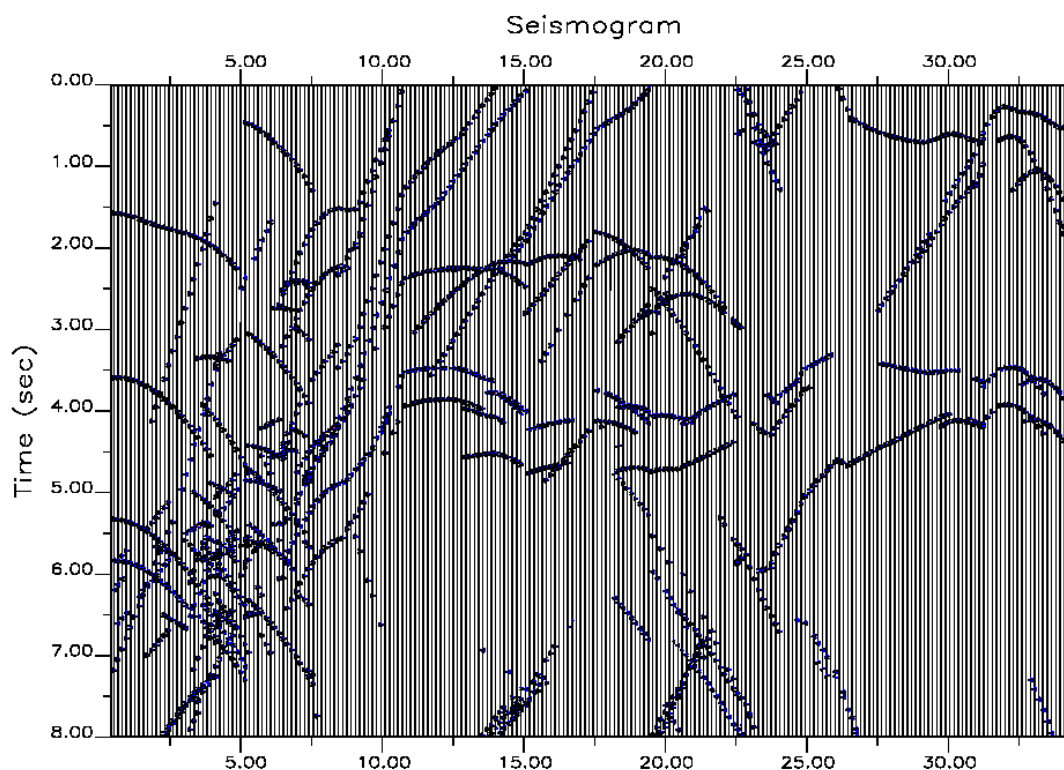


Figura 4: Corte sintético migrado en tiempo para $\Delta x = 15$ m y un pulso original de "spike"

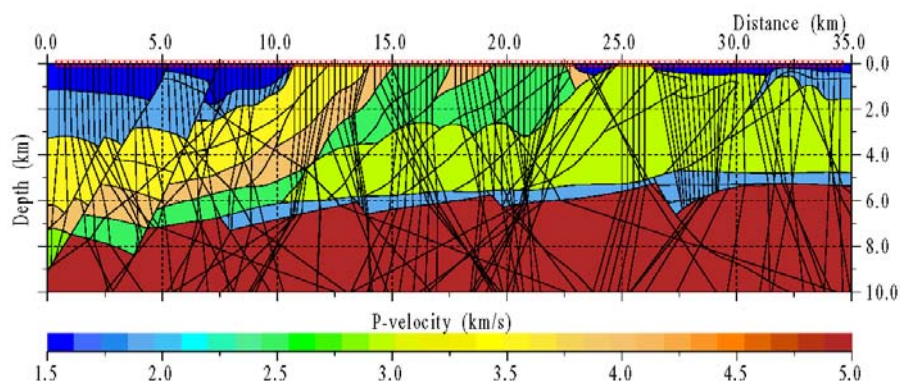


Figura 5: Campo de rayos sísmicos que da lugar al corte en tiempo migrado de la figura 4. En la figura 4 llama particularmente la atención la existencia de ejes cofásicos convexos vinculados a las aparentes estructuras localizadas entre los puntos 10-22 del modelo (Ver fig. 2) para valores de $T \approx 2$ s así como algunas pseudoestructuras asociadas a $T \approx 4$ s que no se expresan en el modelo de partida, las que pudieran acarrear nefastos errores en la interpretación; debe indicarse que existen experiencias en otras regiones análogas del mundo acerca de situaciones similares (Yilmaz O, 2001). El análisis de éstos resultados permitió concluir las limitadas posibilidades de la migración en tiempo en una región como ésta, sugiriendo la mayor informatividad que pudieran proporcionar los procesamientos en profundidad mediante algoritmos tales como “Prestack Depth Migration” (PSDM).

A continuación se decidió analizar el efecto que provoca la capa superior del medio en la calidad de los cortes sísmicos. A este fin, fue diseñado el modelo que aparece en la figura 6. En el modelo correspondiente a la figura 6 se le atribuyó a la capa homogénea superior un valor hipotético de $V = 3500$ m/s y fue obtenido su modelo del campo de rayos (Ver Fig. 7) y su corte en tiempo migrado correspondiente para $\Delta x = 25$ m (Ver Fig. 8).

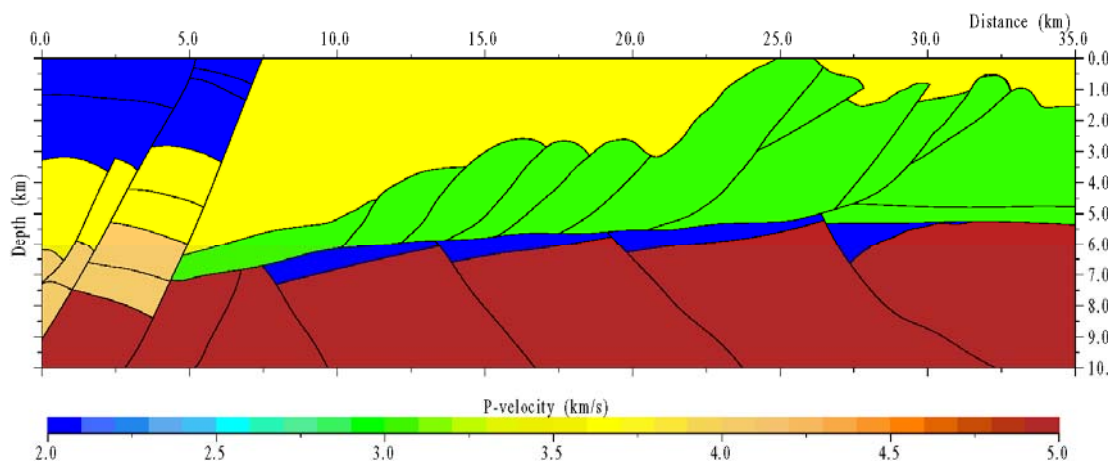


Figura 6: Modelo hipotético para una capa homogénea sobreyacente

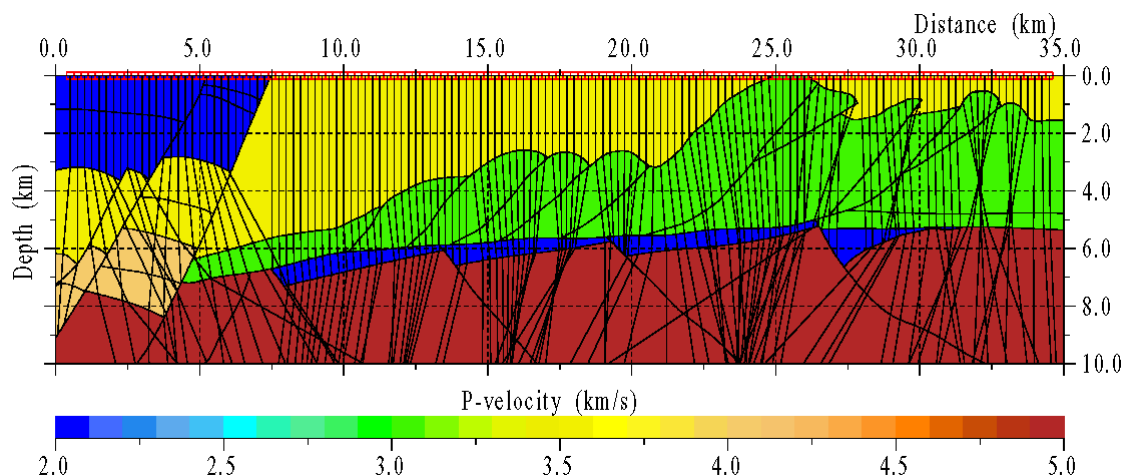


Figura 7: Campo de rayos sísmicos para el medio correspondiente a la figura 6.

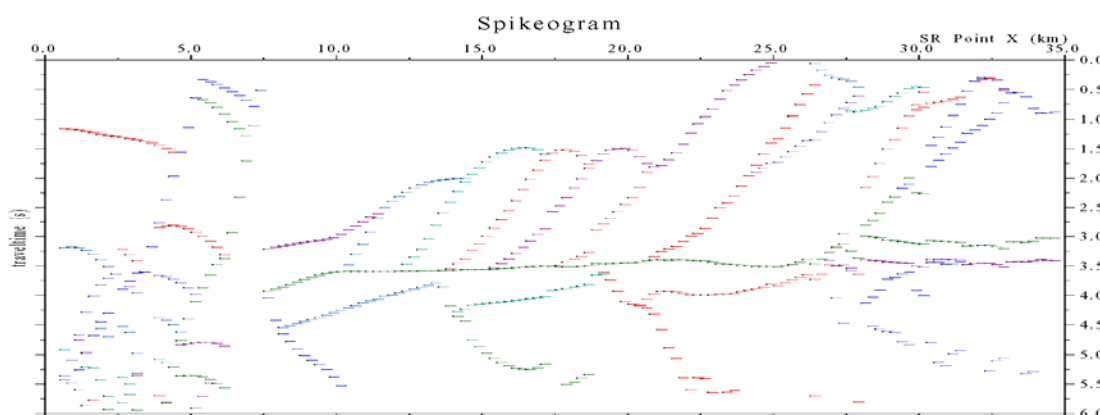


Figura 8: Corte en tiempos sintético migrado correspondiente al campo de rayos de la figura 7.

Como puede apreciarse, la calidad de la información aumenta sustancialmente sobre todo si la principal frontera objeto de estudio es la relacionada con el tope superior de las rocas carbonatadas correspondientes al play del Grupo Veloz, poniéndose claramente de manifiesto las estructuras asociadas al mismo, lo que demuestra el negativo efecto que ejerce la heterogeneidad lateral del medio superior en esta región para la interpretación de los cortes sísmicos en tiempos.

Por ultimo resultó de interés en el marco del presente trabajo, analizar el rango aproximado de tiempos en que deben ser registradas las reflexiones procedentes de la frontera asociada al tope de los carbonatos así como las dimensiones mínimas de las estructuras para que las mismas puedan ser detectadas, concluyéndose con relación al primer asunto, que los anticlinales ubicados en el modelo se expresarán en el rango de tiempos de registro aproximados $T \approx 2s$, aunque debe significarse que esta conclusión debería ser robustecida mediante el modelaje sísmico de otras líneas adicionales. En relación al segundo asunto se llegó a la conclusión que las estructuras asociadas a la capa carbonatada caracterizada por $V \approx 2500$ m/s, cuyas amplitudes de cierre sean inferiores a unos 60

m, se identificarán muy difícilmente en el corte de tiempos y tanto menos cuanto mas profundas se hallen emplazadas éstas. También pudo concluirse, que la extensión lateral de estas estructuras, que es del orden de 5 – 10 Km., resulta suficiente para su detección en los cortes de tiempos, especialmente en los migrados.

En lo referente tanto a los pliegues-escamas asociados al play Carmita-Santa Teresa cuyo espesor productor (Álvarez J, 2005) no rebasa los 50 m, como a las posibles trampas asociadas al play de serpentinitas, ha quedado evidenciado, que las mismas no resultarán identificables en los cortes sísmicos, al menos en aquellos que correspondan a un modelo similar al analizado en el presente trabajo.

RESULTADOS

El resultado principal del presente trabajo consiste en que han sido demostradas las posibilidades del modelaje sísmico y en especial mediante el empleo del software NORSAR para el análisis del cuadro ondulatorio que se observa en una región tan compleja geológicamente como el cinturón sobrecorrido norte cubano.

CONCLUSIONES

1. El software NORSAR basado en el algoritmo del trazado de rayos resultó efectivo para el modelaje de la sección geológica considerada.
2. El paso de muestreo en la adquisición 2D debe ser disminuido lo más posible dentro de márgenes razonables a fin de mejorar la resolución de las imágenes, aunque resultó imposible realizar una cuantificación mas precisa de este parámetro como hubiera sido deseable, tanto por la limitación de datos de que dispusieron los autores para el desarrollo del presente trabajo como por el hecho de que en una región tan compleja como la que ocupa nuestro estudio, tal elección no se debería derivar solo de los resultados del modelaje sino también de trabajos experimentales de campo. Puede inferirse que un muestreo denso también en Y (sísmica 3D) pudiera mejorar adicionalmente la calidad de la información.
3. La migración en tiempo, por lo visto, resulta poco efectiva para el desciframiento de las imágenes sísmicas en esta región, siendo prácticamente imprescindible el empleo de algoritmos de migración en profundidad antes de la suma (PSDM) en la misma.
4. La heterogeneidad de la parte superior del corte es responsable en buena medida de la baja calidad de los cortes sísmicos de tiempos en el área ocupada por el cinturón sobrecorrido norte cubano, ya que la misma puede dar lugar a una apreciable distorsión del campo de ondas, e inclusive a eventuales pseudoestructuras en la imagen sísmica.
5. Las reflexiones procedentes de la frontera de interés asociadas al tope de las rocas carbonatadas, deben ser localizadas en los cortes sísmicos en un rango de tiempos de registro aproximado que oscila alrededor de los 2 segundos.
6. El límite mínimo de amplitudes de los cierres de las estructuras que la sísmica puede identificar en el tope de las rocas carbonatadas asociadas al Grupo Veloz en situaciones de yacencia

análogas a las modeladas en el presente trabajo es del orden de unos 60 m; sus dimensiones laterales (5-10 Km.) son suficientes para su identificación en las secciones sísmicas, sobre todo en las migradas.

7. Tanto los pliegues-escamas correspondientes al play Carmita-Santa Teresa como las posibles trampas asociadas al play de las serpentinitas prácticamente no resultaran identificables en los cortes sísmicos correspondientes a un modelo como el analizado en el presente trabajo.
8. Las técnicas de modelaje deben ser introducidas en la práctica habitual de la exploración sísmica en Cuba a los siguientes fines:
 - Lograr un mejor y más efectivo diseño de las campañas de adquisición.
 - Apoyar diferentes importantes tareas del procesamiento tales como la selección de los modelos de Velocidades de Intervalo para la aplicación de algoritmos de migración en profundidad antes de la suma (PSDM).
 - Apoyar la etapa de interpretación a los efectos de disminuir ambigüedades y riesgos en los resultados de la misma.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de la presente publicación desean expresar su mas sincero agradecimiento a las autoridades correspondientes de COPPE-UFRJ en cuyo Laboratorio de Modelaje de Cuencas sedimentarias fue realizado el trabajo experimental aquí expuesto, por las facilidades brindadas a los autores para el desarrollo del mismo.

BIBLIOGRAFIA

- Álvarez Castro et al, 2005: "Propuesta de los trabajos a realizar en el bloque 7 onshore", VI Congreso de Geología, Cuba
- Boccoli, G 2005: Curso de postgrado "Cuencas sedimentarias" UFRJ-COPPE, Brasil.
- Boyer et al, 1982 "Thrust systems" AAPG bull, Vol 66
- Bording P, 1995: "Seismic wave propagation, modelling and inversion", Computation Science Education Project.
- Brown A, 1999: "Interpretation of three-dimensional seismic data", AAPG, Memoir 42
- Bruno M. da Silva et al, 2005: "Comparação de imageamentos sísmicos usando PSPI e RTM com registro de múltiplas fonts", IX Congresso Internacional de la Sociedade Geofísica del Brasil, Salvador de Bahia.
- Costa J et al, 2005: "Imageamentos sísmico abaixo de camadas com altos contrastes de impedância, IX Congresso Internacional de la Sociedade Geofísica del Brasil", Salvador de Bahia
- D'Andrea, S., Pasi, R., Bertozzi, G., and Dattilo, P., 1993, "Geological model, advanced methods helpunlock oil in Italy's Apennines": Oil and Gas Journal, p: 53-57
- Fagin S, 1996: "Seismic modeling of geologic structures" Society of Exploration Geophysics
- Faure J L et al, 2004 "Kinematic and petroleum modelling of the Alberta foothills and adjacent foreland- West of Calgary" INTERNET
- Gerhard Bachmann et al, 1982 "Exploration in a classic thrust belts and its foreland: Bavarian Alps, Germany" AAPG bull, Vol 66
- Josias J. Silva, et al, 2005: "Migração RTM de registros de múltiplas fontes aplicada a estruturas geológicas complexas", IX Congresso Internacional de la Sociedade Geofísica del Brasil, Salvador de Bahia
- Lalan Yan et al, 2002 "Building Velocity model for anisotropic PSDM: A TTI modeling example" CSEG Geophysics

- Margrave G.F., 2004: "Seismic modeling: An essential interpreter's tool", INTERNET
- Miró G, 2003: "Exploración sísmica de las zonas de cinturones de sobrecorrimiento en el mundo: Estado del arte" en Informe del Proyecto 2114, DIGICUPET.
- Mrinal K, 2005: "Modelaje e inversión de los datos sísmicos", Curso, Salvador de Bahía.
- NORSAR, 2001: "NORSAR 2D: ray modeling" Kjeller, Norway.
- Ojeda R et al, 2005: "Retos de la adquisición sísmica en cinturones plegados y cabalgados: Experiencias cubanas", III Congreso Cubano de Geofísica.
- Picha, F.J., 1996 "Exploring for hydrocarbons underthrust belts - a challenging new frontier in the Carpathians": AAPG Bull. 80(10), p: 1547-1564.
- Pires, R.S., 2005: Curso de Geología estructural, UFRJ-COPPE, Brasil.
- Ruiz, J, Miró, G, 2005: "Consideraciones sobre el empleo de la velocidad de intervalo en la evaluación de las características geológicas de los cortes sísmicos en la búsqueda de petróleo.", Forum de Ciencia y Técnica, Cuba.
- Sejourne Stephan et al, 2001 "Seismic interpretation from the southern Quebec Appalachians structural front" Geological Survey of Canada
- Sorá A, Miró G, 2003:"Informe sobre el modelaje sísmico en la zona del cinturón de sobrecorrimiento cubano mediante el software TESSERAL" Informe del Proyecto 2114, DIGICUPET.
- Sheriff R. E., 1995: "Exploration seismology" Edit Cambridge, University Press
- Kennett. B. L., Harding, A J., 1985. Is ray theory adequate for reflection seismic modeling'? (A survey of modeling methods): First Break. 3, 9-14.
- Yilmaz, O, 1987: "Seismic data processing", Society of Exploration Geophysicists



NECESIDAD DE LA INTEGRACIÓN REGIONAL EN LA FORMACIÓN DEL ESPECIALISTA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Rosa María Valcarce Ortega ⁽¹⁾ y **Willy Roberto Rodríguez Miranda** ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (CUJAE). Calle 114, No. 11901, e/119 127, Marianao, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: rosy@tesla.cujae.edu.cu

⁽¹⁾ Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (CUJAE). Calle 114, No. 11901, e/119 127, Marianao, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: willy@civil.cujae.edu.cu

RESUMEN

Los cambios más profundos del proceso de globalización se están operando en el campo del conocimiento y la información; por ello las organizaciones educativas enfrentan los mayores desafíos e impactos. El reto es enfrentar este desafío y lograr académicos y egresados competitivos en ambientes multiculturales, cada vez más comprometidos con la solución de los principales problemas de la región. Para ello es necesario promover el diálogo entre profesores y estudiantes de las diferentes regiones, favorecer la movilidad estudiantil y académica, la integración en redes, el desarrollo de proyectos de investigación internacionales, la membresía a organizaciones regionales. Importantes reuniones destacan la necesidad de crear un espacio académico de cooperación universitaria que contribuya a la integración de nuestra región, donde prevalezcan los principios de autonomía universitaria, reciprocidad, igualdad de oportunidades, flexibilidad, pertinencia y calidad. La formación de profesionales de alto nivel en las Ciencias de la Tierra tampoco escapa a esta realidad. Cada vez más se hace necesario incorporar en los currículums la diversidad de pensamiento de las diferentes escuelas geológicas a nivel mundial.

El presente trabajo presenta un Directorio de Instituciones de Educación Superior en el área de América Latina y Caribe donde pueden encontrarse Departamentos de Geociencias. El Directorio está soportado en un sistema de información geográfico y permite además acceder a la página web de cada una de las instituciones. La aplicación SIG desarrollada es una herramienta que pretende incrementar y facilitar la comunicación entre las diferentes escuelas de geociencias que se encuentran en nuestra región geográfica, y de esta manera, contribuir al proceso de internacionalización en la formación del especialista en Ciencias de la Tierra.

ABSTRACT

The deepest changes in the globalization process are operating in the field of the knowledge and the information; for it the educational organizations face the biggest challenges and impacts. The challenge is to face this change and to achieve academic and competitive graduated in multicultural atmospheres, more and more committed with the solution of the main problems of the region. For it is necessary to promote the dialogue between professors and students of the different regions, to favor the student and academic mobility, the integration in nets, the development of international investigation projects and the membership to regional organizations. Important meetings highlight the necessity to create an academic space of university cooperation that contributes to the integration of our region. The formation of professionals of high level in the Sciences of the Earth neither escapes to this reality. More and more it becomes necessary to incorporate in the curriculum the thought diversity from the different geologic schools to world level.

The present work shows an Institutions Directory of Higher Education in the area of Latin America and Caribbean where Geoscience's Departments can be located. The Directory is supported in a geographical information system and it also allows to consent to the page web of each one of the institutions. The GIS application developed is a useful tool in the process of internationalization in the specialist's formation in Sciences of the Earth.

INTRODUCCION



Sin duda alguna, el Siglo XXI será la era del conocimiento; el conocimiento se convertirá en el principal factor para garantizar el desarrollo sostenible de un país. Pero una sociedad basada en el conocimiento solo puede existir en un contexto abierto e interdependiente. En este contexto, la Educación Superior será la puerta de acceso a la sociedad del conocimiento y para cumplir satisfactoriamente su misión, está obligada a buscar nuevas alianzas y trabajar de manera proactiva en un mundo interconectado, pluralista, globalizado (ANUIES, 2000).

Para garantizar el cumplimiento exitoso de la misión de la Universidad del Siglo XXI, se deberá priorizar el intercambio y la cooperación entre instituciones de la educación superior nacionales y extranjeras. Será necesario fomentar el desarrollo de redes interinstitucionales disciplinarias e interdisciplinarias, que generen la actualización permanente de profesores, la movilidad de académicos y estudiantes, el desarrollo de proyectos de investigación; como estrategia idónea para hacer progresar el saber y compartirlo, e imprimir a la educación superior su necesaria dimensión internacional.

La Universidad como promotora de la cultura, el saber y la ciencia; tiene por naturaleza una fuerte vocación internacional. Desde sus orígenes fue una institución de carácter internacional. Hoy esta característica intrínseca es más evidente, con el desarrollo de las nuevas tecnologías de la informática y las comunicaciones (NTIC) y cuando la globalización se ha convertido en un fenómeno que transforma todas las actividades sociales. Es este el principal desafío que enfrenta hoy la educación superior: *la necesidad de actuar proactivamente frente al proceso de globalización y no tener que reaccionar ante sus consecuencias.*

En este escenario, una de las vías para transitar hacia este inevitable y necesario proceso de internacionalización de la Universidad, es su activa vinculación a redes que impulsen el desarrollo de la cooperación norte - sur y que incrementen la colaboración sur - sur, con el predominio de relaciones de tipo horizontal entre sus miembros (Brovetto, 1998).

La Declaración Mundial sobre Educación Superior en el Siglo XXI, aprobada en la Conferencia Mundial organizada por la UNESCO en 1998 en Ciudad de La Habana, reconoce que la segunda mitad del pasado siglo fue la época de mayor expansión de la educación superior a escala mundial, pero también fue la época en que se agudizó aún más la disparidad, que ya era enorme entre países industrialmente desarrollados y países en desarrollo, en lo que respecta al acceso a la educación superior y las investigaciones.

El artículo 15 de esta Declaración, subraya que los principios de cooperación internacional fundados en la solidaridad, el reconocimiento, el apoyo mutuo, la auténtica asociación entre instituciones de educación superior de todo el mundo; será esencial para poner en común los conocimientos teóricos y prácticos entre países y continentes. Así mismo, su artículo 17 reconoce que "asociaciones basadas en el interés común, el respeto mutuo y la credibilidad, deberán ser una modalidad esencial para renovar la enseñanza superior" (UNESCO, 1998).

En resumen: Hoy, voces autorizadas a nivel mundial coinciden en plantear que *el trabajo de las redes universitarias contribuye decisivamente a la formación de capacidades endógenas, al desarrollo de competencias científicas*, para que los propios países puedan resolver problemas de salud, nutrición, medio ambiente, aprovechamiento de sus recursos naturales; y avanzar hacia un desarrollo sostenible y equitativo integrando políticas económicas y sociales.

En general, las redes de instituciones constituyen un elemento clave para fortalecer la educación superior, al permitir:



- Incrementar la capacidad institucional.
- Superar la escasez de recursos disponibles.
- Fortalecer la capacidad de egresados y académicos para que sean competitivos en un mundo crecientemente interrelacionado, al favorecer que los programas de estudio contengan los avances de las diferentes disciplinas a nivel mundial.
- Promover y facilitar el conocimiento de otras lenguas y culturas.
- Generar nuevas ideas.
- Favorecer el respeto a las diferencias y la aceptación de la diversidad, como factores importantes de la verdadera globalización solidaria

Sin embargo, se identifican algunos problemas que enfrentan estas actividades, como son:

- La asimetría en necesidades y fortalezas institucionales.
- La escasez de recursos.
- La limitada planeación del intercambio y la cooperación.
- La falta de reconocimiento de estos aspectos en las visiones y misiones institucionales.
- Dificultades para la transferencia y reconocimiento de créditos.
- La necesidad de reforzar la enseñanza de lenguas extranjeras en todas las instituciones de educación superior.

Un factor clave para el éxito del trabajo en redes lo constituye el financiamiento de que puedan disponer las mismas. En países desarrollados disponen de mayores recursos y fuentes financieras para el desarrollo de sus actividades, pero en América Latina, en general no se dispone de programas y recursos que permitan el mejor desarrollo del trabajo en redes universitarias, es por ello que *se impone, para esta región, la búsqueda de alternativas propias que posibiliten también el intercambio sur-sur.*

El artículo 11 de la *Declaración sobre la Educación Superior en América Latina y el Caribe* dice textualmente:

"Las instituciones de educación superior de la región deben generar en sus graduados la conciencia de pertenecer a la comunidad de naciones de América Latina y el Caribe, promoviendo los procesos que conduzcan a la integración regional, y situando la integración cultural educativa como bases de la integración política y económica. Frente a la formación de nuevos espacios económicos en el actual contexto de globalización y regionalización, las instituciones de educación superior deben asumir el estudio de la integración latinoamericana en sus aspectos económicos, sociales, culturales, ecológicos, políticos, etc. como tarea fundamental, con un tratamiento interdisciplinario de los problemas".

Ello pone de relieve la enorme responsabilidad de las Instituciones de Educación Superior en la formación de recursos humanos capaces de actuar en un mundo globalizado y comprometidos con la solución de los principales problemas de la región.

El esquema que ha predominado en los procesos de internacionalización de las universidades del Sur, han sido las relaciones de instituciones académicas de cada uno de estos países con centros de excelencia de los países desarrollados. En este modelo, las relaciones de integración entre los países de la región han tenido muy poca importancia, tampoco se han desarrollado relaciones significativas con otras universidades del propio país (Gacel-Avila J. y Knight J, 2006).



En importantes reuniones de estas organizaciones y redes, el discurso oficial aboga por el desarrollo de una globalización solidaria donde la cooperación Sur – Sur sea una vía para lograr políticas de desarrollo científico y tecnológico que tengan en cuenta los aspectos sociales y culturales de nuestros países, que no favorezcan la “fuga de cerebros” y que permitan formar profesionales cada vez más comprometidos con la solución de los problemas de nuestra región: Pero aún estamos muy lejos de haber logrado la integración universitaria que necesita nuestro hemisferio. Se requiere ante todo voluntad política de los gobiernos y de las principales autoridades académicas para satisfacer las necesidades existentes en este sentido.

Se han dado importantes pasos para impulsar la colaboración Sur – Sur en América Latina y el Caribe. La Tabla siguiente resume algunas asociaciones y redes regionales universitarias, que tienen como misión principal la integración latinoamericana.

Tabla I. Resumen de algunas asociaciones y redes regionales universitarias.

Asociaciones Regionales y Subregionales	
UDUAL	Unión de Universidades de América Latina.
UNICA	Asociación de Universidades e Institutos de Investigación del Caribe
CRESALC/UNESCO	Centro Regional de Educación Superior para América Latina y el Caribe
CSUCA	Consejo Superior Universitario Centroamericano
SECAB	Secretaría Ejecutiva Permanente del Convenio Andrés Bello de Integración Educativa, Científica y Cultural de los Países de la Región Andina
UNAMAZ	Asociación de Universidades Amazónicas.
AUGM	Asociación de Universidades Grupo de Montevideo
Asociaciones Interamericanas e Iberoamericanas.	
AIU	Asociación Interamericana de Universidades.
AUIP	Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrados.

Fundada en 1949, la Unión de Universidades de América Latina (UDUAL) es una de las organizaciones universitarias más antiguas de nuestro continente. Agrupa a 165 universidades del área y desde sus inicios se ha destacado por defender la autonomía universitaria. La UDUAL ha sido elemento fundamental en la integración latinoamericana al propiciar el intercambio del conocimiento por medio de reuniones de profesionales, seminarios, encuentros y asambleas.

En la Ciudad de La Habana, en noviembre del 2004, los rectores presentes en la XV Asamblea General de la Unión de Universidades de América Latina (UDUAL), luego de importantes debates sobre la naturaleza y misión de la educación superior en la región, acordaron entre otros aspectos, declarar que:



1. Reafirman su convicción de que la educación superior es un bien público y en consecuencia rechazan comprenderla como servicio de carácter comercial con fines de lucro y sometida a las leyes del mercado.
2. Ratifican la insoslayable responsabilidad del Estado para asegurar el financiamiento adecuado que haga posible el sustento y desarrollo de una educación superior de excelencia, dentro de un marco de justicia y solidaridad. Es deber del Estado establecer políticas de acción afirmativa, sobre todo, con los pueblos indígenas y los sectores menos favorecidos.
3. Asumen que lo que caracteriza a la educación superior es la docencia, la investigación y su claro compromiso con la comunidad dentro de un sano espíritu crítico, que debe aplicárselo a ella misma, a través de un permanente autoexamen. Por ello, favorecen sin reservas los procesos de acreditación que, sin ceder al rigor, tengan en cuenta las peculiares condiciones históricas y culturales de nuestros países.
4. Entienden que la UDUAL, obedeciendo a su más íntima naturaleza, debe fomentar una adecuada cooperación académica regional. En consecuencia, intensificará los mecanismos que conduzcan a la movilidad académica, la homologación de títulos, la enseñanza y las titulaciones compartidas entre sus miembros.

MATERIALES Y METODOS

La Reforma Universitaria aprobada por nuestro país en 1962 dejó bien claro el propósito y la voluntad de transformar las universidades cubanas para ponerlas en función de las necesidades sociales y económicas de la Revolución, y esbozaba ya entonces, que la colaboración internacional era una necesidad para el propio desarrollo de otros países más necesitados.

En la historia de las relaciones internacionales de las universidades cubanas, después del triunfo revolucionario, se identifican dos etapas fundamentales:

1. Hasta 1989 la colaboración con los países del entonces campo socialista contribuyó a la formación de miles de profesionales y creó sólidas bases de investigación científica en diversas áreas del conocimiento. Esta colaboración solidaria, permitió formar la masa crítica de personal altamente calificado para responder a las necesidades del desarrollo social y económico del país; permitió enfrentar el derrumbe del campo socialista y la inserción cubana en la globalización desde posiciones proactivas (MES, 2002).
2. A partir de 1990, cuando se produce el derrumbe del campo socialista, se produce una profunda transformación en el modelo de colaboración internacional en las universidades cubanas. Se transita hacia un modelo de cooperación interactivo con beneficios mutuos, con instrumentos de colaboración flexibles, que faciliten programas conjuntos, intercambio académico, transferencia de créditos, reconocimiento de títulos, con esquemas de financiamiento mixto en función de las capacidades institucionales. Se desarrolla una estrategia de colaboración internacional plenamente identificada con la misión institucional y que tributa al desarrollo económico y social del país.

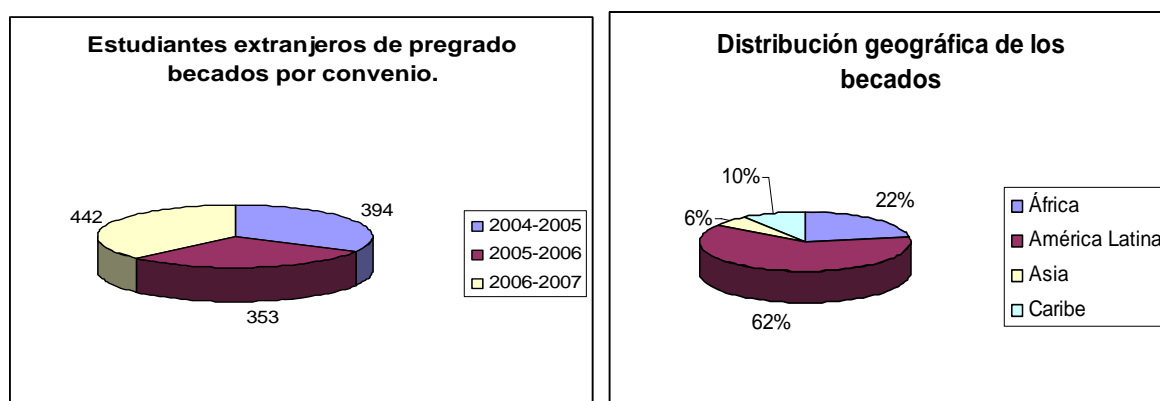
El Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE), no queda al margen de este proceso. Como Centro de Educación Superior trabaja por garantizar una fructífera colaboración internacional que le permita cumplir su misión: *contribuir significativamente al desarrollo sustentable de la sociedad cubana, mantener un liderazgo nacional en el campo de la tecnología y ser competente internacionalmente.*



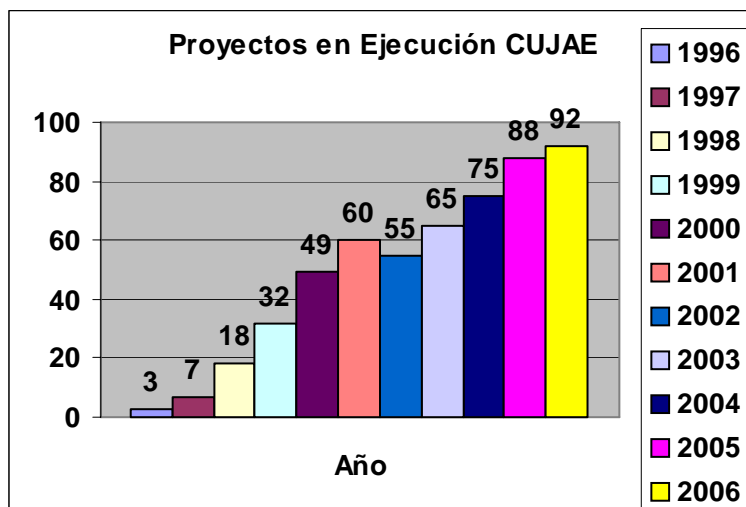
Desde 1990 y de año en año, el ISPJAE, y en particular el Departamento de Geociencias del ISPJAE, ha ampliado y fortalecido sus relaciones internacionales, promoviendo programas académicos, investigaciones conjuntas, movilidad de académicos y de estudiantes, asistencia solidaria al desarrollo internacional. Para ello ha incrementado sus vínculos institucionales, ha desarrollado proyectos internacionales, y se ha incorporado de forma decisiva al trabajo en redes universitarias.

La colaboración Sur – Sur no ha estado ausente en la estrategia de internacionalización del ISPJAE. A continuación se analizan diversos programas de colaboración y se muestran importantes estadísticas.

Programa de Becas. El ISPJAE ha graduado más de 1750 estudiantes extranjeros del Tercer Mundo en sus 42 años de fundado. La siguientes figuras ilustran el total de becados por convenios de los últimos tres cursos y la composición por zonas geográficas.



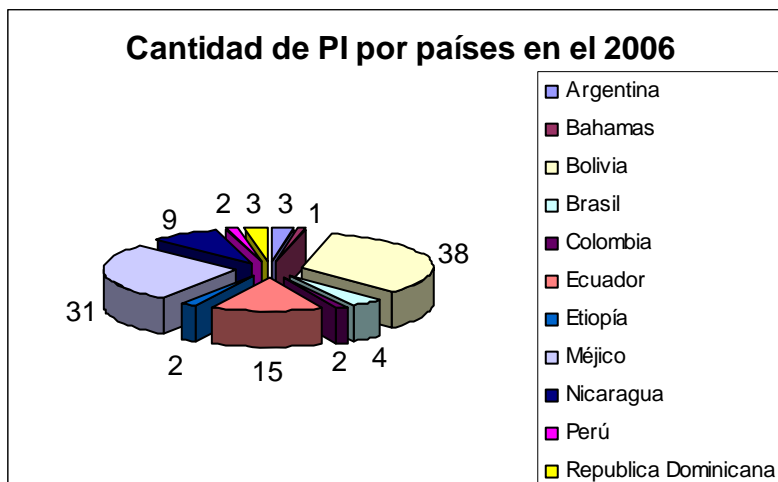
Vinculación a Proyectos y Redes Internacionales. El ISPJAE integra en la actualidad 92 proyectos y redes internacionales, el 76 % de los mismos se ejecutan con países desarrollados. El desarrollo de esta actividad se muestra a continuación.



Presencia de Profesores Visitantes del ISPJAE en América Latina y Caribe. Los profesores del ISPJAE tienen mucha presencia en Universidades de América Latina y Caribe, dictando programas



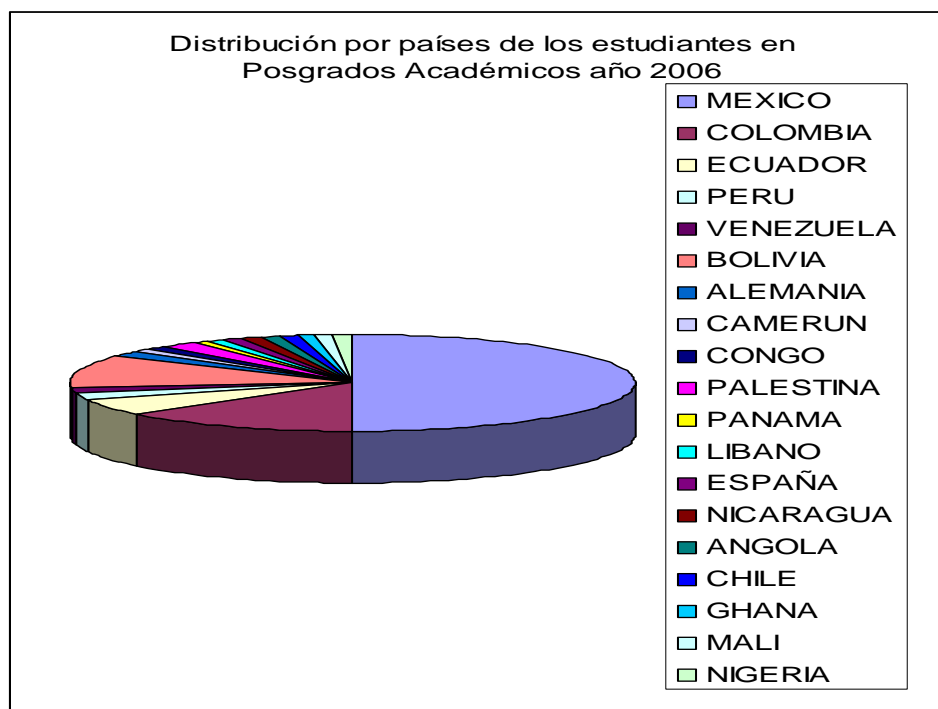
de pregrado y postgrado. Hoy puede decirse que la masa crítica de profesores formados como Doctores en Ciencia con que cuenta el ISPJAE, se ha puesto a disposición de la formación de recursos humanos en países del Sur. La siguiente figura ilustra esta afirmación.



En particular, el Departamento de Geociencias ha tenido presencia como Profesor Invitado, impartiendo docencia de pregrado y postgrado en Angola, Venezuela, Colombia y Brasil.

Profesionales del Sur en Postgrados del ISPJAE.

La presencia de profesionales en Programas Posgraduados, crece cada año, pero aún es insuficiente y muy por debajo de las necesidades de nuestra región. La siguiente figura muestra las estadísticas actuales.





RESULTADOS

Para apoyar el desarrollo de las relaciones internacionales del Departamento de Geociencias de la CUJAE, ha sido desarrollada una aplicación SIG que permite gestionar la información contenida en el Directorio de Facultades y Departamentos de Geociencias de Universidades de América Latina y Caribe, permitiéndose además acceder a la página web de cada una de las instituciones. Fue empleado el software ArcView.

La aplicación SIG desarrollada es una herramienta que pretende incrementar y facilitar la comunicación entre las diferentes escuelas de geociencias que se encuentran en nuestra región geográfica, contribuyendo al proceso de internacionalización en la formación del especialista en Ciencias de la Tierra.

CONCLUSIONES

- Es necesario desarrollar cada vez más la cooperación sur – sur con fondos propios, constituyendo redes que aprovechen la proximidad geográfica entre las instituciones.
- El momento histórico que vive hoy nuestra región, bajo los principios de la Alternativa Bolivariana para las Américas, con el apoyo de los gobiernos, las organizaciones no gubernamentales, la sociedad civil, las instituciones de educación superior, ofrece el marco político y económico adecuado para materializar las necesidades de integración Sur – Sur, con un impacto directo y positivo en el nivel de vida de nuestros pueblos. La Universidad no puede estar ajena a esa realidad y los geocientíficos cubanos tampoco.
- La aplicación SIG desarrollada facilita la gestión de la información sobre las escuelas de Geociencias existentes en América Latina y Caribe, y contribuye así al necesario desarrollo de la internacionalización de nuestra actividad profesional.

BIBLIOGRAFIA

- ANUIES, 2000.** La Educación Superior en el Siglo XXI. Líneas estratégicas de desarrollo. ISBN: 968-7798-59-9.
- Brovetto, J., 1996.** Informe final de la Conferencia Regional sobre Políticas y Estrategias para la Transformación de la Educación Superior en América Latina y el Caribe. Caracas. CRESALC/UNESCO.
- Gacel-Avila J. y J. Knight, 2006:** Educación Superior en América Latina: La dimensión internacional. Colombia. Editorial Banco Mundial. ISBN 958-97647-8-9.
- MES, 2002:** Principios y bases de la política de colaboración internacional del Ministerio de Educación Superior. Ciudad de La Habana, CUBA.
- UNESCO, 1998:** Conferencia Mundial Sobre la Educación Superior.
<http://www.unesco.org/education/> .



UN EJEMPLO DE COLABORACION SUR – SUR. LA RED INFORMATICA DEL DEPARTAMENTO DE GEOFISICA DE LA UAN

Willy Roberto Rodríguez Miranda ⁽¹⁾, **Emilio Ricardo Escartin Sauleda** ⁽¹⁾ y **Hermenegildo Higinio Carlos Gervasio** ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” (CUJAE). Calle 114, No. 11901, e/119 127, Marianao, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: willy@civil.cujae.edu.cu

⁽¹⁾ Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” (CUJAE). Calle 114, No. 11901, e/119 127, Marianao, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: escartin@civil.cujae.edu.cu

⁽²⁾ Universidad Agostinho Neto (UAN). Ave. 4 de Fevereiro, No. 796, Luanda, Angola, E-mail: gildohv@yahoo.com

RESUMEN

Las relaciones entre los Departamentos de Geofísica de la UAN y la CUJAE, comenzaron con la visita del Jefe del primero a la CUJAE en 1997. A partir de ese momento, se iniciaron los contactos para la colaboración académica, los cuales se materializaron en noviembre del 2002 cuando llegaron a Luanda los 2 primeros profesores procedentes de la CUJAE.

Una de las líneas de colaboración donde más ha incidido la experiencia del personal cubano, ha sido en la informatización de la carrera de Licenciatura en Geofísica de la UAN. Precisamente, este trabajo, expone particularidades del desarrollo de la aplicación de las nuevas tecnologías de la informática y las comunicaciones, durante la formación de los geofísicos angolanos, mediante el diseño, creación y puesta en funcionamiento de la red informática, que en un breve período de tiempo, se ha ido consolidando en el Departamento de Geofísica de la UAN, bajo la asesoría y dirección de los profesores cooperantes cubanos.

ABSTRACT

The relationships between the Departments of Geophysics of the UAN and the CUJAE began with the visit of Lic. Buca, Chief of Angolan Geophysics Department, to the CUJAE in 1997. Starting from that moment, the contacts began for the academic collaboration, which were materialized in November of the 2002 when arrived to Luanda the first 2 professors coming from the CUJAE.

One of the lines of collaboration where more has impacted the Cuban personnel's experience, it has been in the computerizing of the Geophysics Licentiate in the UAN. In fact, this paper exposes particularities of the development of the application of the computer science's new technologies and the communications, during the formation of the geophysics Angolans, by means of the design, creation and setting in operation of the computer net. In a brief period of time, the computer net has been consolidating in the Department of Geophysics of the UAN, under the consultant-ship and direction of the Cuban professors'.

INTRODUCCION

Desde su creación en los años 80, la especialidad de Geofísica en la UAN siempre estuvo subordinada al Departamento de Geología de Facultad de Ciencias, de la Universidad Agostinho Neto. Esto indudablemente freno su desarrollo y posibilidades de crearse una imagen propia, de acuerdo a las necesidades de las investigaciones geológicas contemporáneas. Esta situación comienza a cambiar radicalmente cuando en Septiembre del 2002, el Senado de la UAN aprobó la creación del Departamento de Geofísica y posteriormente en noviembre de ese mismo año, llegan los 2 primeros profesores cooperantes del Departamento de Geofísica de la CUJAE (Escartin, 2003). En esos momentos, como es de suponer, en un departamento de nueva creación, los recursos informáticos no existían y mucho menos se podía hablar de una red, pero teniendo en cuenta el desarrollo actual de la investigación geofísica y la necesidad de estas técnicas para sus especialistas,



de manera conjunta, se estableció una estrategia que permitiera, en el menor plazo posible, disponer de los recursos necesarios que garantizaran la estructuración de una red informática, capaz de dar respuesta a las necesidades de la formación de los Licenciados en Geofísica de la UAN (Escartin, 2004).

La creación de la Red Informática en el Departamento de Geofísica de la UAN se puede dividir en tres etapas (Rodríguez, 2005):

- Etapa de Diseño.
- Etapa de Desarrollo.
- Etapa de Consolidación.

Cada una de estas etapas ha tenido características propias, diferentes posibilidades, deficiencias y ejecutores directos. Por estas razones no se puede hablar de un producto terminado, sino de una obra en ejecución que con sus logros y deficiencias permite, mediante la combinación armónica de las experiencias existentes en el Departamento de Geofísica de la CUJAE y las potencialidades disponibles en el Departamento de Geofísica de la UAN garantizar que los profesionales angolanos puedan adquirir los conocimientos y habilidades que les permitan jugar el rol que les esta destinado en las investigaciones afines en el territorio nacional.

ETAPA DE DISEÑO

Dentro de la estructura del Departamento de Geofísica de la UAN, encargada de la coordinación y el asesoramiento a las diferentes disciplinas de la carrera se encuentra el LAGOP (Laboratorio de Geofísica Fundamental y Observaciones Permanentes), al cual se le encargó, entre otras, la tarea de asegurar el soporte informático del departamento. Este laboratorio, al frente del cual se encontraba en su primera etapa el DrC. Emilio Escartin Sauleda, debía brindar apoyo informático, no sólo a la actividad docente propiamente, sino también a aquellas relacionadas con las investigaciones que se desarrollan en el resto de los laboratorios que constituyen el departamento, a saber: LAGAMM (Laboratorio de Geofísica Aplicada a las Aguas, las Minas y los Materiales); LAGOAA (Laboratorio de Geofísica Aplicada a los Océanos, la Atmósfera y el Ambiente; LAGAPE (Laboratorio de Geofísica Aplicada a los Petróleos) y el propio LAGOP.

En esta primera etapa se establecieron las bases para la estructuración, instalación y funcionamiento de la red informática del Departamento de Geofísica. Para ello se establecieron contactos entre algunas de las empresas petroleras radicadas en Angola y la dirección de la UAN a fin de obtener los recursos materiales necesarios (Escartin, 2003). De estas gestiones se obtuvieron los siguientes resultados:

- Hardware a partir de una inversión de la UAN.
- Hardware a partir de una donación de SONANGOL para la actividad docente y el LAGAPE.
- Software de procesamiento sísmico para el LAGAPE.
- Conexión a Internet para 25 usuarios con un ancho de banda de 256 Kb y enlace mediante una combinación de antenas T/R desde el proveedor Mercury.

Entre estas gestiones también se encuentra un considerable grupo de aplicaciones informáticas de uso general y específico que se utilizan actualmente en el Departamento de Geofísica de la CUJAE.

Sobre la base de los recursos adquiridos se realizó el diseño de la red informática que poseía las siguientes características (Escartin, 2004):



- Antena Receptora de Internet donada por SONANGOL, Proveedor Mercury (figura 1).
- Un servidor de Internet (GEOFSERVER) y un servidor de archivos (GEOFINET).
- Enlace por par trenzado entre todas las áreas del departamento, mediante el uso de switch y tarjetas de red a 100 Kb: LAGOP; Sala Pedagógica; Sala Asociativa; Dirección; Área Académica; LAGAMM; LAGAPE y LAGOAA.
- Sistema Operativo: WINDOWS 2000 y WINDOWS 9x.
- Software de uso general y específico en el servidor de Intranet.

Para el funcionamiento de esta LAN se creó una estructura organizativa compuesta por:

- Jefe de la LAN.
- Grupo de apoyo a la LAN: 3 estudiantes en Diplomas de Licenciatura.
- Grupo de desarrollo WEB: 2 estudiantes en años iniciales.

Esta primera forma organizativa permitió el montaje de la red, así como su puesta en funcionamiento inicial y el intento para crear una Intranet que permitiera el mejor aprovechamiento de los servicios en la LAN, así como para la creación de un sitio Web. Estos dos últimos aspectos sólo quedaron en la etapa de diseño y un prototipo inicial, debido a la falta del trabajo sistemático necesario en un empeño de este tipo, pero al menos, se logró la preparación preliminar de los estudiantes que pudieran posteriormente acometer esta importante tarea.

ETAPA DE DESARROLLO

Aunque las acciones desarrolladas en la primera etapa permitieron, en general, disponer de una LAN que potenció el empleo de los recursos informáticos disponibles, sobre todo en la actividad docente, también es cierto que aún existían una serie de deficiencias que limitaban el óptimo aprovechamiento de los mismos. Por esta razón y con el objetivo de perfeccionar la red informática del departamento se encargó a mediados del 2004, al DrC. Willy Rodríguez Miranda, la tarea de realizar una evaluación del estado de la LAN y proponer las mejoras necesarias.

Después de un análisis pormenorizado de la situación de la LAN, se llegó a las siguientes conclusiones (Rodríguez, 2005):

Estructura: permitía la utilización de los recursos disponibles y sólo se precisaba de la conexión a la red de la Facultad de Ciencias de manera que fuera posible explotar sus facilidades, sobre todo en el área académica - administrativa, así como mejoraría la organización interna de los servicios que se prestaban.

Conectividad: se garantizaba la conectividad de las diferentes áreas del departamento mediante la red informática existente, así como el acceso a Internet a través del proveedor Mercury utilizando a los servidores GEOSERVER y GEOFINET (figura 2).

Intranet: no funcionaba y no existía la página Web del Departamento, aunque se habían dado los primeros pasos en esa dirección. No existía conexión directa con la red de la UAN lo que limitaba la promoción nacional e internacional de las actividades en la Licenciatura de Geofísica.

Seguridad: existían deficiencias de seguridad tanto físicas como lógicas, debido al no control eficiente del acceso a los diferentes locales, así como a la no actualización sistemática de los software antivirus y la ausencia de un servidor de dominios que controlara el acceso durante el trabajo en Internet.



Personal: no existía para atender las labores de organización y mantenimiento de la LAN, ni del hardware disponible.

Software: aunque existía una buena disponibilidad, el mismo no era totalmente aprovechado en las actividades docentes debido a cierto desconocimiento por parte del personal docente, así como a dificultades motivadas por incompatibilidades con el sistema operativo. Los estudiantes, en general, conocían poco o no poseían las habilidades necesarias para la óptima explotación del mismo.

Todos los aspectos anteriormente señalados permitieron comprender la necesidad de elaborar una nueva estrategia, que permitiera en lo adelante, garantizar la adecuada explotación de la red informática existente, así como su paulatina actualización contando para ello con los recursos humanos y materiales existentes en el área.

En esta etapa se logró, obtener los siguientes resultados:

1. Realizar un levantamiento total de los recursos informáticos disponibles, así como las posibilidades reales para el uso de Internet en el departamento.
2. Verificar el funcionamiento y actualización de la conectividad a la red informática de todas las estaciones de trabajo del departamento.
3. Adicionar a la red interna un nuevo servidor de ficheros que permitiera mejorar sustancialmente las prestaciones del laboratorio docente.
4. Reacondicionar el laboratorio docente (Sala Pedagógica) con la puesta en servicio de 12 puestos de trabajo y dedicarlo fundamentalmente a las actividades de docencia directa (figura 3).
5. Reacondicionar el laboratorio de servicio de Internet (Sala Asociativa) con la puesta en funcionamiento de 6 puestos de trabajo y dedicarlo fundamentalmente a las actividades de los estudiantes finalistas.
6. Mejorar las prestaciones de hardware de los docentes del departamento a partir de una redistribución de los medios existentes y una pequeña inversión en algunos accesorios.
7. Reorganizar el acceso a Internet, de manera que se pudiera disponer de una mejor conectividad, limitando el acceso a la cantidad de usuarios permitido por el canal de comunicación donado por el proveedor Mercury.
8. Realizar una propuesta de estructura que se adaptara a las posibilidades del departamento y permitiera darle una adecuada respuesta a las necesidades de la red informática interna, así como lograr su enlace con la red de la facultad.

ETAPA DE CONSOLIDACIÓN

Sobre la base de las acciones realizadas en las etapas precedentes y tomando en consideración que las mismas han permitido el diseño e implementación de una red informática con adecuadas prestaciones en el Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias de la UAN, se plantearon las siguientes acciones encaminadas a optimizar la eficiencia de estos servicios (Rodríguez, 2005):

Estructura Funcional: Mantener la existente que permite la conectividad entre las diferentes secciones del departamento, con la particularidad de limitar el uso de Internet a la Dirección, LAGOP, LAGAMM, LAGOAA, LAGAPE y la Sala Asociativa de manera que se gane en eficiencia ante las disponibilidades reales del canal existente en estos momentos. Además, se realizó la ubicación de computadores conectadas a la red, en la Biblioteca y cada una de las aulas con el objetivo de apoyar el desarrollo del proceso docente, evitando el traslado de estas desde otras áreas del departamento (figura 4).



Software: Utilizar WINDOWS XP y WINDOW 2000 como Sistemas Operativos fundamentales debido a sus prestaciones para el trabajo en red y además, se realizó un levantamiento de todo el software existente en el departamento, fomentando su divulgación y uso entre los estudiantes.

Intranet: Rediseñar y poner en funcionamiento la Intranet, así como crear la pagina Web del departamento y trabajar por establecer la conexión directa con la red de la UAN.

Seguridad: Garantizar la sistemática actualización del software antivirus en todas las estaciones de trabajo de la red, el adecuado control en el acceso a los diferentes locales, sobre todo en las Salas Pedagógica y Asociativa, así como trabajar por establecer un Servidor de Dominios en la red para garantizar la seguridad y mejorar las prestaciones de la misma.

Personal: Garantizar el personal que se encargara de la administración y mantenimiento de la red informática del departamento, teniendo en consideración que para ello se debe considerar tanto la parte logística, como la de hardware, así como el personal que atenderá y controlará el uso de los medios existentes en las Salas Pedagógica y Asociativa.

Una propuesta dirigida a perfeccionar los aspectos anteriormente señalados incluiría la siguiente organización del Grupo de Informática, que ya ha sido aceptada y se encuentra en su etapa de implementación (Rodríguez, 2005):

Jefe del Grupo: sería el encargado de realizar todas las coordinaciones pertinentes, así como establecer las direcciones de trabajo y garantizar el funcionamiento de las diferentes áreas de interés.

Administración de la Red: sería el grupo encargado de realizar las funciones necesarias para el adecuado funcionamiento de todo el sistema y estaría integrado por 2 ó 3 personas a saber.

- Administrador: garantizaría el acceso de cada usuario a los recursos que brindaría la red incluyendo el mantenimiento de la página Web y el servicio de mensajería electrónica una vez establecido el adecuado servidor de dominios.
- Técnico: garantizaría el funcionamiento, mantenimiento, reparación y actualización de todo el hardware existente en el departamento, así como la conectividad de la LAN desde la antena receptora hasta cada una de las PC y la conexión a la red de la UAN.
- Operador: garantizaría el control a los salones de trabajo (Sala Pedagógica, Sala Asociativa y Biblioteca), coordinaría todo lo relacionado con la planificación de las actividades docentes, la adecuada instalación del software necesario en cada semestre por las diferentes asignaturas, así como controlaría el uso y explotación de los servicios que debe prestar la biblioteca del departamento.

Grupos Estudiantiles: realizarían actividades de apoyo a la administración de la red, según las necesidades de la misma y las posibilidades de los estudiantes.

- Grupo de la Web: trabajaría en la creación, desarrollo y mantenimiento de los servicios de Intranet del departamento, bajo la dirección directa del Jefe del Grupo de Informática y en estrecha relación con el Administrador. Este grupo podría estar integrado por varios estudiantes interesados en trabajar en esta dirección.
- Grupo de Mantenimiento: trabajaría en el apoyo a las actividades de mantenimiento del hardware, así como la adecuada utilización de la Sala Pedagógica con fines docentes siendo orientados por el Operador y el Técnico según las necesidades existentes. Este grupo podría estar formado por



los estudiantes de 4to año en cada período lectivo y formando parte de sus actividades dentro de la asignatura Informática Aplicada a la Geofísica.

- Grupo de Investigación: trabajaría en el adecuado funcionamiento de las actividades que se desarrollen en la Sala Asociativa, que podría dedicarse a prestar servicios de acceso a Internet y a los estudiantes en trabajos de diploma fundamentalmente, siendo controlados por el Operador. Este grupo podría estar formado por los estudiantes de 5to año en cada período lectivo (figura 5).

CONCLUSIONES

El desarrollo de la red informática del Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias de la UAN, representa un ejemplo elocuente de la colaboración entre este y el Departamento de Geofísica de la CUJAE, donde se ha combinado la experiencia de este último con las potencialidades del primero, en aras de dar respuesta eficiente a las necesidades docentes e investigativas de la Licenciatura en Geofísica en Angola.

La experiencia de estos 4 años de colaboración directa, desde la llegada a Luanda de los primeros profesores cubanos, ha demostrado, que una adecuada inserción de los estudiantes en las actividades de apoyo al proceso docente, permiten garantizar el funcionamiento de un servicio tan importante como lo es una red informática, siempre y cuando exista, una adecuada organización y control de las diferentes actividades relacionadas con este proceso. Precisamente la experiencia de la Red Informática del Departamento de Geofísica es un ejemplo de esta afirmación.

BIBLIOGRAFÍA

- Escartin Sauleda, E. R., 2003. Instalação do LAGOP. Informe al Departamento de Geofísica, Luanda.
- Escartin Sauleda, E. R., 2004. Cooperación internacional entre los departamentos de Geofísica de la UAN y de Geociencias del ISPJAE. Modelo de cooperación. Primera Conferencia de la Sociedad Geofísica Angolana, Luanda.
- Rodríguez Miranda, W. R., 2005. La Red Informática del Departamento de Geofísica / UAN. Informe al Departamento de Geofísica, Luanda.



Figura 1. Antena de recepción de la Red Informática.



Figura 2. Centro de Control de la Red Informática.



Figura 3. Laboratorio Docente (Sala Pedagógica) de la Red Informática.



Figura 4. Estación Cartográfica de la Red Informática.



Figura 5. Apoyo a las investigaciones aplicadas por el servicio informático de la Red.



EL APRENDIZAJE DE LAS ROCAS METAMÓRFICAS CON UN ENFOQUE CONSTRUCTIVISTA

Arturo Hernández Escobar, Carlos Cofiño Arada

Calle Martí #270 esquina 27 de Noviembre, Departamento de Geología, Facultad de Geología –Mecánica. Universidad de Pinar del Río. CP 20100 Pinar del Río. Pinar del Río. Cuba. Email:arturohdez@vrect.upr.edu

RESUMEN:

En el trabajo se expone una metodología para la organización del proceso de enseñanza aprendizaje con el fin de conducir, de manera consciente, el desarrollo de la habilidad prevista en función del nivel de asimilación de los contenidos. La metodología se basa en el modelo estructuro funcional, la que constituye una estrategia para la formación de habilidades por medio de resolución de problemas. Se ejemplifica en el caso de la enseñanza de la unidad didáctica Rocas Metamórficas de la asignatura Petrología en el curriculum del ingeniero geólogo.

La Petrología por sus características propias, además de proporcionarle al estudiante un sistema de conocimientos y habilidades necesarias para cursar las restantes asignaturas del plan de estudio y para el posterior ejercicio de la profesión, por la posición que ocupa en el tercer año de la carrera, es una de las asignaturas básicas específicas con la posibilidad de contribuir a la interpretación de los resultados obtenidos al nivel de cada método de investigación e integralmente y por ende, a la formación del modo de actuación profesional del Geólogo.

ABSTRACT:

The learning of metamorphics rocks wiht an constructivist approach.In this paper it is presented a method to arrange the learning-teaching process in order to manage, consciously, the development of some practical ability in relation to the assimilation level of the contents. The method is based in the ability functional structure's model, wich becomes in a strategy for the development of abilities throughout the problem solving. It is given an example in the case of the unit "Metamorphics Rocks" for the geological engineering career.

Petrology itself has its own peculiarities and give the students the neccesary skills. Metamorphic rocks es one of the basis lectures in Geology and contribuyes to achiene knowledge for complex interpretation of scientific problems in Geology.

INTRODUCCIÓN:

Un análisis somero del proceso de aprendizaje de nuestros estudiantes en el tema Rocas Metamórficas permite detectar limitaciones que se manifiestan en la falta de dominio de las habilidades en la resolución de problemas profesionales.

La insuficiente sistematización en la formación de habilidades en la resolución de habilidades profesionales, es un negativo y complejo fenómeno en el que los elementos de carácter didáctico y metodológicos resultan primordiales, ya que de ellos depende, en gran medida, la posibilidad de reducir esas dificultades.

Las causas que generan este problema son varias y de diversa índole, no obstante, centraremos nuestra atención solamente en dos de ellas, por considerarlas fenómenos determinantes:

- Los inapropiados métodos de enseñanza-aprendizaje que se emplean para el desarrollo de las habilidades.



- La ausencia de una adecuada sistematización en los problemas a que se enfrentan los estudiantes durante las clases prácticas, y a través de cuya solución, se formarán las habilidades.

En este trabajo se expone una metodología que, como resultado de varias investigaciones, se elaboró para la estructuración de familias de problemas y la organización del proceso docente con el fin de conducir conscientemente el desarrollo de la habilidad prevista en los objetivos en función de los niveles de asimilación de los contenidos.

EL PROBLEMA, EL OBJETO Y EL OBJETIVO DEL TEMA DE LAS ROCAS METAMÓRFICAS

Derivado del problema de la asignatura, el **problema** del tema es la necesidad de la interpretación de los procesos que le dan origen a las rocas y su ambiente geodinámico de formación a partir de la identificación de los principales grupos de Rocas Metamórficas a las cuales pueden asociarse yacimientos minerales, o tener alguna utilidad para la sociedad.

El **objeto de estudio** son los principales grupos de Rocas Metamórficas.

Derivado de la asignatura, el **objetivo del tema** es:

Interpretar los procesos que le dan origen a las Rocas Metamórficas y su ambiente geodinámico de formación a partir de la identificación de los principales grupos, teniendo en cuenta para ello la composición química - mineralógica y los rasgos estructuro - texturales.

LOS CONTENIDOS EN EL TEMA DE LAS ROCAS METAMÓRFICAS. SU FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

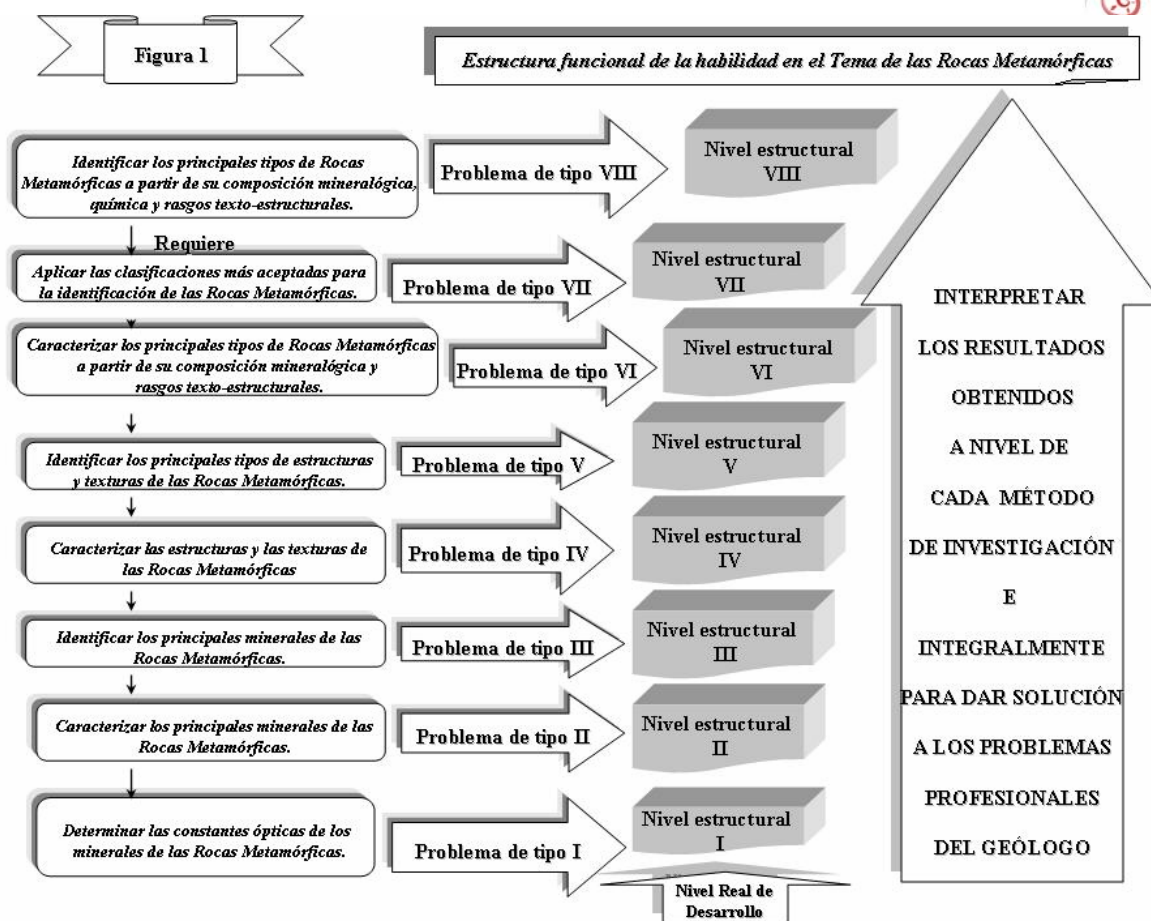
De los tres grupos de rocas, las metamórficas son las más complejas y variadas mineralógica y texturalmente, su complejidad es consecuencia de las siguientes características genéticas:

- 1- Las Rocas Metamórficas pueden tener cualquier otro tipo de roca madre: Ígnea, Sedimentaria e incluso otra Metamórfica.
- 2- Como son varios los factores o agentes que toman parte, aislada o conjuntamente, en el metamorfismo, hay diversas clases de metamorfismo bien diferenciados.
- 3- Producto a que pueden variar la intensidad con que actúan los agentes, hay diversos grados en las distintas clases de metamorfismo bien diferenciados.
- 4- Las Rocas Metamórficas pueden formarse en condiciones bajo las cuales algunos materiales se eliminan del sistema o se añaden, con lo que cambia la composición del material inicial, proceso llamado metasomatismo.
- 5- No todos los conjuntos minerales metamórficos alcanzan el equilibrio, ni siquiera cuando la roca es de origen polimetamórfica, es decir, cuando ha estado sometida dos clases o grados diferentes de metamorfismo.

Las Rocas Metamórficas son las formadas por transformaciones estructuro texturales, mineralógicas y en algunos casos químicas, a partir de rocas preexistentes en un ambiente geológico en el interior de la corteza terrestre, bajo la influencia de la presión, la temperatura y los fluidos en estado sólido.

La estructura funcional de la habilidad en las Rocas Metamórficas es la misma que en el tema de las Rocas Ígneas y Sedimentarias (figura 1), se sigue la regularidad de la asignatura, con la particularidad del metamorfismo, donde además de la identificación de las rocas, es de vital importancia la identificación de las facies a partir de los minerales indicadores de determinadas condiciones de metamorfismo, porque es posible la existencia de dos rocas identificadas como esquistos y que las condiciones del metamorfismo que las ha originado sean bastante diferentes, como es el caso de un esquistos clorítico y un esquistos silimanítico, el primero perteneciente a la facies de los esquistos verdes y el segundo, a la facies de las anfíbolitas.

Como en el caso de los temas anteriores, lo único que cambia es el objeto de estudio.



A partir de ese análisis, se seleccionó el siguiente sistema de conocimientos:

- 1- Metamorfismo. Factores del metamorfismo,
- 2- Tipos de metamorfismo,
- 3- Facies metamórficas,
- 4- Composición químico mineralógica de las Rocas Metamórficas,
- 5- Estructuras y texturas metamórficas,
- 6- Principales tipos de rocas,
- 7- Metamorfismo de contacto térmico,
- 8- Metamorfismo de carga por sepultamiento,
- 9- Metamorfismo Regional,
- 10- Metasomatismo,
- 11- Relación entre los principales tipos de metamorfismo con los ambientes geodinámicos.

La fundamentación de la secuencia propuesta para el sistema de conocimientos seleccionado está dada por la importancia que tiene para los estudiantes la memorización comprensiva del concepto de metamorfismo para la asimilación de los demás conceptos implícitas en esta definición.

Los factores determinan las condiciones en donde tienen lugar las transformaciones que originan las rocas y determinan las características de cada uno de los tipos de metamorfismo, por ejemplo, el de contacto térmico se caracteriza por originarse en condiciones de bajas presiones y temperaturas desde bajas a extremas.

El concepto de "facies metamórfica" es de vital importancia tratarlo a continuación ya que él enmarca determinados intervalos de presión y temperatura que caracterizan las condiciones donde se producen las transformaciones mineralógico - estructural - texturales de las rocas.



La composición mineralógica y los cambios estructuro - texturales íntimamente relacionados, son los que determinan el aspecto externo e interno de la roca que el estudiante deberá identificar en su futura vida profesional, por ello a continuación se caracterizaran los principales tipos de estas rocas.

Si se tiene en cuenta solamente la estructura funcional de la habilidad, el sistema de conocimientos seleccionado fuera suficiente, pero el tema tendería a lo pragmático y perdería en científicidad; es por ello que se debe fundamentar el tipo de metamorfismo que ha originado la roca objeto de estudio.

A criterio del autor, se deben estudiar primeramente los tipos de metamorfismo con carácter isoquímico por ser más sencillos de comprender y asimilar por el aprendiz para luego pasar al estudio del metasomatismo, proceso extremadamente complejo, pero muy importante, debido a los yacimientos minerales que se originan relacionados con él.

Por último, en un taller, deben tratarse las relaciones que guardan los distintos tipos de metamorfismo con los ambientes geodinámicos para poder fundamentar cada una de las asociaciones de rocas y facies metamórficas.

EL APRENDIZAJE DE LAS ROCAS METAMÓRFICAS

La estrategia de la estructura funcional de la habilidad es bien conocida por los estudiantes de los temas precedentes y les ha aportado sus modos de actuación. Por ello en este tema las mayores dificultades están dadas por los problemas de tipo I, debido a que existen minerales estudiados que son comunes también para este tipo de rocas, pero la mayoría son nuevos, por lo cual a pesar de poseer los modos de actuación más sistematizados, en este tipo de problemas necesitarán un nivel de ayuda superior al recibido anteriormente.

Cuando los estudiantes llegan a este tema el objeto de estudio se ha ido enriqueciendo, ellos han ganado en independencia al pensar y actuar y al elevar sus capacidades a través de la relación entre la ciencia y la docencia en función de resolver problemas propios de la profesión, indudablemente deben ser más creativo.

Al resolver los problemas de tipo V, ya los estudiantes están en condiciones de trabajar independientemente, resolviendo cualquier tipo de problema propio de las Rocas Ígneas, Sedimentarias o Metamórficas, porque ha sistematizado, integrado y enriquecido el objeto de estudio de cada uno de los temas docentes, de un primer a un segundo nivel estructural en la asignatura Petrología, la cual contribuye con una habilidad a la disciplina integradora de la carrera, que se convierte en una operación en su modo lógico de actuar y pensar como profesional de la Geología.

A través de los temas docentes de la asignatura Petrología, el estudiante del tercer año podrá demostrar actitudes, sustentado en un sistema de valores, fundamental para el egresado como parte de la autorrealización individual, adquiere un compromiso con su profesor y ante la sociedad que orienta su actividad. Al dar solución a la familia de problemas del tema se identifica con la realidad social, responsabilidad individual y colectiva, solidaridad cuando resuelve y ayuda a sus compañeros menos diestros, honestidad, modestia, seguridad en sí mismo e iniciativa propia, preocupación por la conservación del medio ambiente, sentimiento por la calidad y la excelencia.

Alvarez(en la Escuela hacia la Excelencia, p. 58), define al proceso docente educativo de excelencia como aquel proceso cuyo resultado: el egresado, está preparado para la vida, es capaz de enfrentarse a los problemas más generales y comunes presentes en su entorno social, aplicando para ello, el método de la ciencia en la solución de los problemas. ¿Cuáles deben ser las cualidades que debe poseer el proceso docente educativo para obtener ese nivel de calidad en el egresado? Debe ser motivador, problémico, productivo o creativo, científico - investigativo, sistémico, integrador; vinculado a la vida, a la comunidad; con objetivos precisos y contenidos extraídos de la ciencia; con métodos de enseñanza - aprendizaje productivo. En relación con los estudiantes debe ser participativo, comprometido y democrático, con relaciones afectivas que estimulen los vínculos entre los estudiantes y con el profesor, que creen un clima creador en el alumno y que le posibiliten en consecuencia, la formación de valores, convicciones y sentimientos.



El modelo de diseño presentado en este trabajo pretende acercarse a un Proceso Docente Educativo de excelencia, ya que en mismo están presentes todas las cualidades que caracterizan a tal proceso de enseñanza – aprendizaje. Es motivado porque parte de los problemas de la profesión y de la relación que estos guardan con los de la ciencia, de la relación ciencia - profesión; cómo la lógica de la ciencia contribuye a la lógica del pensar y actuar del profesional a través del método adquirido en la resolución de los problemas presentes en la lógica de la asignatura y de sus temas, dado por la lógica de la estructura funcional de la habilidad; lo científico - investigativo se manifiesta por el empleo del método de investigación científica como el fundamental utilizado por los estudiantes para darle solución a los problemas. El proceso es sistémico, integrador, vinculado con la vida y la comunidad cuando el estudiante a través de la estructura funcional de la habilidad sistematiza los nuevos contenidos a los que ya poseía, los integra en el tema, en la asignatura Petrología y luego en la asignatura integradora del modelo del profesional. El estudiante construye sus propios conocimientos, se comunica, desarrolla relaciones afectivas hacia sus compañeros, hacia el profesor, hacia el contenido, da significado a los conocimientos al resolver problemas en los que el método fundamental es el de la investigación científica, relaciona los nuevos conocimientos con los que ya posee, aprende significativamente, personaliza su método de aprendizaje haciéndolo suyo.

Si el fin último de toda institución docente es la formación de los egresados que manifiesten atributos y niveles de regulación de su personalidad, los objetivos educativos, en correspondencia con los intereses y necesidades de la sociedad, se tratan de alcanzar en las disciplinas, asignaturas y el tema docente el cual, es un estadio que puede contribuir mucho a ello, concretándose en el modelo del profesional. Por consiguiente como resultado del desarrollo del método de enseñanza - aprendizaje, el estudiante debe asimilar el conocimiento y formar sus habilidades en una adecuada interrelación posibilitadora del dominio del contenido, es decir el logro del objetivo instructivo.

El análisis, selección y estructura de los conocimientos y habilidades, la planificación, organización y el desarrollo del proceso constituye una condición necesaria para el logro de los objetivos mencionados. En el contexto del método se debe incorporar al estudiante de forma activa, motivada y consciente para que, venciendo las dificultades, se apropie de los aspectos esenciales que encierran los objetos (habilidades y conocimientos).

En el desarrollo del proceso, el profesor debe atender a que el estudiante parta del conocimiento; esto le es significativo para su actuación profesional, de ahí que desde el tema se deba atender significativamente a la relación ciencia - profesión; vinculándolo a los objetivos del modelo del profesional, que sería su integración al más alto nivel. Esos objetivos del modelo del profesional transformándose en el motivo esencial del esfuerzo volitivo del estudiante en su actividad docente, en el desarrollo del método de aprendizaje, en su lógica de actuar y pensar desde la habilidad de aplicación que se apropiará en el tema docente, que la integrará a la habilidad generalizadora de la asignatura y posteriormente como una operación en la invariante de la habilidad en sus modos de actuar y pensar como futuro profesional, para ello los problemas que resuelve en el tema deben dejar explícito, en lo posible, su relación con los problemas de la disciplina integradora. Para lograr los objetivos educativos del modelo del profesional y como parte del desarrollo del método, se requiere que el estudiante en el contexto de su grupo, vaya conformando motivos y necesidades de carácter social que definan una tendencia orientadora, de modo tal que las operaciones cognoscitivas, base de la apropiación del contenido se conviertan cada vez, en instrumentos esenciales en su función reguladora y autorreguladora, en sus relaciones con el modelo, es decir de su función educativa; los valores, las convicciones y los sentimientos.

La forma en que se concibe el proceso docente educativo en el tema y la asignatura Petrología, donde el estudiante se va apropiando del contenido a través de la estructura funcional de la habilidad, que proporciona la lógica del tema, donde resolviendo los problemas a través de la aplicación del método de investigación científica, desarrolla a través del método su lógica de pensar y actuar, que es la que aplicará al integrarse a la asignatura Petrología y a la asignatura del modelo del profesional, o sea, la asignatura contribuye al desarrollo de modos de actuación del profesional integrándose como una operación de la profesión.



El tema docente como primer nivel de integración y sistematicidad del proceso docente educativo contribuye con su habilidad a los modos de actuación del profesional en el tercer año de la carrera como una operación en la invariante de la habilidad, dándose desde el mismo la relación ciencia - profesión, y su contribución a la formación de valores, ya que desde el tema los estudiantes aprenderán a resolver los problemas con los modos de actuar de un profesional, haciendo ciencia y relacionándola con los problemas profesionales que se dan en el año académico.

CONCLUSIONES:

La relación ciencia - profesión en el tema se da a través de su propia lógica que es la de la habilidad y es la que se sigue al resolver un problema de la ciencia Petrología, o sea, que en la asignatura Petrología se da la coincidencia entre la lógica disciplinaria y la científica de resolver los problemas; el modo de actuar coincide y se logra aplicando la lógica de la ciencia, lo que hace más motivado el proceso para el estudiante, porque aplica el método de la ciencia en la solución de los problemas de la profesión. Hace más científico el proceso docente educativo y más profesional el tema. Hágase ciencia, como lógica del proceso docente educativo y obtendrá alumnos con conocimientos, pero sobre todo con formación científica, con formación para la vida, verdaderos profesionales demandados por nuestra sociedad.

Si en los finales del siglo XIX, Martí avizoraba la necesidad de transformar la enseñanza universitaria cuando expresaba:

“Al mundo nuevo corresponde la Universidad nueva. A nuevas ciencias que todo lo invaden, reforman y minan, nuevas cátedras.”

Hoy, en el siglo XXI, se encauza este trabajo demostrando la urgencia de su pensamiento pedagógico. La propuesta queda hecha.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez de Zayas, C. (1989). Fundamentos teóricos de la dirección del proceso docente-educativo en la Educación Superior cubana. Tesis presentada para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias. La Habana.
- Cepeda, D. (1986). Apuntes de Petrología Ignea. UNAM, México.
- Fuentes, H. (1989). Perfeccionamiento del sistema de habilidades en la disciplina Física para estudiantes de Ciencias Técnicas. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias pedagógicas. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.
- Fuentes, H. y Mestre, U. (1997). Curso de diseño curricular. CEES. Manuel F. Gran. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.
- Fuentes, H; Mestre, U; Repilado, F. (1997). Fundamentos didácticos para un proceso de enseñanza - aprendizaje participativo. CEES. Manuel F. Gran. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.
- Hernández, A. (1995). Consideraciones metodológicas para el diseño curricular en la carrera de Geología en la Universidad de Pinar del Río. Resúmenes del Primer Taller Internacional sobre Enseñanza de la Geología. Pinar del Río.
- Hernández, A; Díaz, T; Malagón, M (1995). Algunas reflexiones sobre los enfoques multidisciplinarios a través de una disciplina del ejercicio de la profesión en la carrera de Geología. Resúmenes del Primer Taller Internacional sobre Enseñanza de la Geología. Pinar del Río.
- Hernández, A; Cruz, E; Echevarría, D; Lastra, J; Corres, O; Martínez, M. (1995). La estructura de un sistema de habilidades en la disciplina de Geoquímica en la carrera de Geología. Resúmenes del Primer Taller Internacional sobre Enseñanza de la Geología.
- Hernández, A; Correa, O; Cruz, E; Echeverría, D; Castillo, M (1995). Perfeccionamiento curricular de la asignatura Petrología. Resúmenes del Primer Taller Internacional sobre Enseñanza de la Geología.
- Hernández, A (1996). La lógica del tema y su relación con la formación del sistema de conocimientos y habilidades en la asignatura Petrología. Tesis para optar al grado de Master en Ciencias de la Educación Superior. Pinar del Río.
- Hernández, A (1998). La lógica del tema y su relación con el contenido en la asignatura Petrología. Convención Internacional Universidad 98'. Pinar del Río, Resúmenes.



- Hernández, A. y Castillo, M. E (1998a). La zona de desarrollo próximo en el aprendizaje del metamorfismo. Revista Minería y Geología, en prensa. Moa, Holguín.
- Hernández, A., Mestre, U., Castillo, M. E (1998). El aprendizaje de las Rocas Igneas con un enfoque constructivista. Revista Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, Vol.6, Diciembre 1998, Córdoba, España.
- Mestre, U. (1996). Modelo de organización de la disciplina Física General para el desarrollo de habilidades profesionales en los estudiantes de ciencias técnicas. CEES Manuel F. Gran. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.
- Pozo, J. I. (1996). Aprendices y Maestros. Editora Alianza.

EL MUSEO DE GEOLOGÍA, UN ESCENARIO PARA EL DESARROLLO DE ACTIVIDADES NO PRESENCIALES EN LA CARRERA BAJO UNA NUEVA CONCEPCIÓN PEDAGÓGICA

Sandra Pilar Díaz Díaz, Ana Ibis Despaigne Díaz Irma Rodríguez González

Calle Martí #270 esquina 27 de Noviembre, Departamento de Geología, Facultad de Geología –Mecánica. Universidad de Pinar del Río. CP 20100 Pinar del Río. Pinar del Río. Cuba. E mail sandrap@geo.upr.edu.cu

RESUMEN

La enseñanza en las universidades, se lleva a cabo bajo un proceso permanente de sistematización y perfeccionamiento que se sustenta en una nueva concepción pedagógica. La tendencia es a establecer un proceso formativo donde se desarrolle independencia y habilidades de los estudiantes en la adquisición de los conocimientos, que permitan aumentar el nivel de calidad en formación del estudiante universitario. El nuevo modelo pedagógico está vinculado con el proceso de enseñanza – aprendizaje y de orientación – aprendizaje, en relación con la disponibilidad presencial del profesor en el aula y la adquisición de los conocimientos de los estudiantes de manera que se pueda optimizar los recursos humanos y el tiempo.

Para la aplicación de este modelo, en la universidad de Pinar del Río se ha ido trabajando sobre la base del plan de estudio C para educar al profesorado y a los estudiantes con este nuevo modelo.

La carrera de Geología de la Universidad de Pinar del Río dispone en su infraestructura del Museo de Geología, y asociado a él los laboratorios de Petrología, Mineralogía y Paleontología; que contienen una amplia colección de rocas, minerales y fósiles, así como equipamiento especializado.

La organización de la información que se dispone está distribuida en cinco niveles, que abarcan, la exposición permanente del museo, base de datos del museo, exposición temporal, proyectos, y la parte informativa y de divulgación. Esto permite que pueda ser utilizado por los estudiantes de la carrera para desarrollar la docencia no presencial relacionada con las disciplinas de Geodinámica y Geoquímica bajo las nuevas concepciones pedagógicas de los planes de estudio D.

ABSTRACT

The teaching process at the Cuban universities is undertaken with continuous steps of practical and developing system the outclass activity the tendency is to promote a system such as the students acquire self confidence and working habilites. Knowledge is achieve through these steps and arise creativity, self independence and trust. The new system may be expressed as a formula: teaching – knowledge achievement – guidance

The process does not require the teacher at the class but indeed the fully development of the students' skills.

The university of Pinar del Río is heading to this new method through a so called C plan. The plan intent to cultivate a culture in lecturers and students leading to this universal way of teaching.

The Geology career posses an infrastructure able to maintain this new method. A geology museum, Petrology, Palaeontology and Mineralogy laboratories. They are the backbone of the whole process in our career.

These laboratories have a collection of rocks, minerals and fossils as well as specialized equipments, all they give support to this outclass activities and be come an important scenario to the whole process.

The museum has an infrastructure that allows the students to use all facilities and obtain results. The geology students perform the outclass activities related to Geodynamic and Geochemistry under the new inside of D plan using the available infrastructure at the university.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales retos en la univervidad cubana son los cambio en el proceso de formación donde se tienen en cuenta los conocimintnos necesarios que se brindan para el desempeño

profesional. El nuevo modelo pedagógico esta relacionado con el proceso de enseñanza – aprendizaje y de orientación – aprendizaje, la disponibilidad del profesor y la adquisición de los conocimientos de los estudiantes de manera que se pueda optimizar los recursos humanos y el tiempo. Como señalan Díaz y Arroyo (2004) se requiere de mayor concientización del aprendiz, de su papel en los procesos de autoformación, se precisa de una fundamentación didáctica del proceso curricular.

A partir del nuevo modelo de enseñanza en las universidades, se lleva a cabo un proceso de sistematización y perfeccionamiento de dicho modelo que se sustenta bajo una nueva concepción pedagógica. Este modelo ha sido introducido desde la tercera generación de planes de estudio -Plan C-, (Horruitinier, 2006). La tendencia es establecer un proceso formativo donde se desarrolle independencia y habilidades de los estudiantes en la adquisición de los conocimientos que permitan aumentar el nivel de calidad en formación del estudiante universitario.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la aplicación de este modelo de enseñanza, en la Universidad de Pinar del Río se ha ido trabajando sobre la base del plan de estudio C para educar al profesorado y a los estudiantes a través de la enseñanza semipresencial, los que tributarán a implementar el plan de estudio D. La existencia de infraestructuras especializadas en la carrera de Geología permite obtener resultados satisfactorios en la aplicación de la enseñanza semipresencial. Los materiales que se utilizan para este tipo de actividad en la carrera de Geología se clasifican en dos grandes grupos:

- 1- Materiales referentes a la infraestructura básica de la carrera
- 2- Materiales de las asignaturas

La carrera de Geología cuenta en su infraestructura con el Museo de Geología estructurado en los siguientes niveles: Nivel A: Infraestructura básica permanente, Nivel B: Base de datos. Nivel C: Infraestructura básica temporal, Nivel D: Parte informativa y divulgación, Nivel E: Extensión universitaria y proyectos. Además con los laboratorios de Petrología, Mineralogía y Paleontología. Estos laboratorios cuentan con equipos especializados como microscopios ópticos de polarización, biológicos, de luz transmitida, balanzas, morteros, entre otros.

Los materiales que se usan para llevar a cabo una actividad no presencial se pueden ejemplificar en las disciplinas de GEOQUÍMICA y GEODINÁMICA donde se incluyen las asignaturas de Petrología, Mineralogía, Química y Geoquímica, Paleontología, Geotectónica, Geología estructural, Estratigrafía, Geología de Cuba, Geología Histórica, Geología General. Los materiales usados incluyen:

- ♦ Mapas topográficos y geológicos
- ♦ Muestras de minerales, rocas, y fósiles
- ♦ Secciones delgadas y pulidas
- ♦ Modelos geológicos
- ♦ Muestras de lavados paleontológicos
- ♦ Bibliografía especializada

Los métodos utilizados en la forma de enseñanza no presencial son ***Investigación, solución de problemas y estudios independiente***, referidos en el trabajo de Díaz y Arroyo, 2006 ya que consideramos los mismos los más adecuados para el aprendizaje de los estudiantes.

RESULTADOS

La utilización del Museo de Geología y de los Laboratorios de Mineralogía, Paleontología y Petrología permiten que se lleve a cabo la aplicación del Modelo Pedagógico, implementando la enseñanza No presencial, centrados en el autoaprendizaje y en la auto educación. Con este trabajo propone una

forma de establecer la clase no presencial en la carrera de Geología teniendo en cuenta diferentes asignaturas y contextos. El procedimiento que se lleva en sentido general es de la siguiente manera:

1. Orientación de estudio independiente antes del comienzo de la clase.

Esta fase contempla la orientación al estudiante sobre el tema a tratar en la clase no presencial, esta incluye la orientación a través de

- ◆ Guías
- ◆ Ejercicios
- ◆ Solución de un problema

2. Materiales y métodos:

Dentro de los materiales disponibles se encuentran:

- ◆ Secciones delgadas y pulidas
- ◆ Minerales
- ◆ Rocas
- ◆ Fósiles
- ◆ Mapas topográficos y geológicos

Los métodos utilizados en la forma de enseñanza: **Investigación, solución de problemas y estudios independiente**. Para garantizar el efecto o el objetivo planteado para la clase, los estudiantes deberán resolver una serie de tareas que conllevan a la solución del problema a resolver. Dentro de algunas estas tareas que se orientan en las disciplinas de la carrera se encuentran:

- ◆ Elaborar mapas
- ◆ Identificar minerales, fósiles y rocas
- ◆ Análisis e interpretación de secciones delgadas
- ◆ Confección de mapas geológicos y perfiles
- ◆ Confección de columnas estratigráficas.

3. Consulta de bibliografía especializada.

En este acápite los estudiantes consultan bibliografía en internet, intranet (sitios FTP y microcampus). Materiales, revistas, artículos y libros en la biblioteca. Durante todo el proceso de investigación ellos se mantienen interactuando con la bibliografía especializada.

4. Resultados.

Aquí se contemplan los resultados del trabajo individual o en equipos, resultados que se han logrado después del proceso de investigación y solución de problemas. Este proceso muestra el desarrollo de las habilidades de los estudiantes, la creatividad e individualidad y va formando esta característica tan importante que debe tener un profesional de la geología que trabajará en un futuro por proyectos y debe mostrar estas aptitudes profesionales.

En nuestra experiencia del sistema se ha observado que este tipo de enseñanza debe tener un **control** de los resultados donde se chequean los logros de los objetivos propuestos. Esto se puede lograr a través de preguntas escritas en próximas clases, trabajos individuales a entregar, seminarios que contemplen contenidos tratados en este tipo de clases, discusión de talleres, entre otros.

CONCLUSIONES

Con el nuevo modelo pedagógico el **docente** experimenta un nuevo método de enseñanza el cual permite que el estudiante logre su aprendizaje y demuestre además independencia, habilidades actitudes y capacidades de transformación en su formación como futuro profesional.

Aplicando las técnicas de enseñanza - aprendizaje orientación – aprendizaje y utilizando las posibilidades que brindan las infraestructuras de la carrera de Geología: Museo, laboratorios de Mineralogía, Paleontología y Petrología se puede trabajar en unidades didácticas en un clima favorable de manera que se garantice el buen desarrollo y funcionamiento del modelo con las nueva enseñanza no presencial y que las mismas puedan ser orientadas y planificadas según los objetivos trazados.

BIBLIOGRAFÍA

- Díaz, T. y Arroyo, C. : Experiencias de la aplicación del modelo semipresencial en la Universidad de Pinar del Río: La Unidad didáctica desde objetivos de aprendizaje y su impacto en las formas semipresenciales en las asignaturas. Editorial Felix Varela, La Habana, 2006.
- Horruitiner Silva, P. : La Universidad cubana : el modelo de formación. Editorial Felix Varela, La Habana, 2006.

PROPUESTA PARA LA ESPECIALIZACIÓN DE GEÓLOGOS DE YTOS MINERALES EN EL PLAN DE ESTUDIO DE LA CARRERA DE GEOLOGÍA EN CUBA

René Fernández de Lara Arias (1), Carlos Cofiño Arada(2)

1 Empresa Geomínera de Pinar del Río Martí No 141 Pinar del Río

2 Universidad de Pinar del Río

RESUMEN

A inicio de los 90 con la llegada del periodo especial las investigaciones geológicas para la prospección de minerales sólidos sufrió una gran depresión quedando con excepción de la rama níquelífera, prácticamente detenida la actividad, lo que motivó que quedaran sin trabajo una gran fuerza laboral especializada la cual encontrándose en su mayoría en la etapa de madures profesional se vio obligada a reperfilarse en otras labores.

En el presente el alza general del precio de los metales ha revitalizado la actividad minera a nivel mundial, existiendo una alta demanda de trabajos de prospección, en nuestro país, a esto se le une la recuperación económica existente, proponiéndose la continuidad de los estudios de prospección así como poder satisfacer la demanda mundial antes explicada, principalmente en proyectos en el marco del MERCOSUR, África y otros países del Tercer Mundo.

Para enfrentar esta tarea se necesita una fuerza con madures profesional con la que hoy no contamos.

La presente propuesta esta dirigida **completar** esta fuerza técnica necesaria con jóvenes egresados de nuestras universidades especializados en este tema que puedan llegar a una madures profesional en el menor tiempo posible, para lo cual se necesita una serie de cambios básicos en el programa de la Carrera de Geología actual (Plan C Perfeccionado), dirigida a estrechar el perfil profesional del graduado, dirigiendo el tiempo de estudio solo a los objetivos planteados.

Aunque en el trabajo se plantean las ideas básicas, para una correcta implementación de este proyecto, se necesita la participación de especialistas tanto del MINBAS como **empleadores**, como del MES como **formadores**.

Además se plantea la responsabilidad del MINBAS en el aseguramiento logístico necesario para la correcta formación de los estudiantes, así como la temporalidad del proyecto que puede suspenderse cuando la demanda esté satisfecha.

ANTECEDENTES

A inicio de los 90 con la llegada del periodo especial las investigaciones geológicas para la prospección de minerales Sólidos (MS) sufrió una gran depresión quedando (con excepción de la rama níquelífera). prácticamente detenida la actividad, lo que motivo que quedaran sin trabajo una gran fuerza laboral especializada la cual se encontraba en su mayoría en la etapa de madures profesional.

A mediados de los 90 con la entrada de mas de diez compañías extranjeras hubo una revitalización de la actividad pero solo creando empleos para un numero limitado de especialista y por muy corto tiempo.

En el presente por una parte la recuperación económica del país unida al alza general del precio de los metales nos propone una revitalización de la actividad de prospección en el país.

Por otra parte el potencial minero cubano sigue existiendo, aunque exige técnicas de prospección mas complejas, por estar los recursos sin investigar en condiciones mas profundas y complejas.

Si vemos un ejemplo en las formaciones San Cayetano y Esperanza del norte de Pinar del Río que ha producido famosos yacimientos como Matahabre, Castellanos y Cobre-Mantua, tiene condiciones formacionales para ser productoras con una probabilidad similar para toda su extensión. Si tomamos una profundidad máxima de explotación de 100 metros y tomamos el área (3000 km²), contamos con un volumen de 300 km³ con iguales probabilidades para la aparición de un depósito económico, sin embargo solamente no mas de 20 km³ han sido investigados.

Por otra parte los servicios geológicos que Cuba puede ejecutar en el exterior, ya sea como contratos pagados por gobiernos o empresas o como colaboración con países amigos, presentan actualmente una alta demanda, pero los requisitos de calidad y competitividad de a nivel internacional. Estos se basan fundamentalmente en los convenios de colaboración con la República Bolivariana de Venezuela, además, de nuestra potencial participación en otros proyectos en el marco del MERCOSUR, con otros países sudamericanos.

Para enfrentar esta tarea se necesita una fuerza con madures profesional con la que hoy no contamos

A pesar de determinadas medidas de las empresas prospectoras por mantener esta fuerza de trabajo especializada, la gran mayoría se vio obligada a abandonar la actividad, reperfilandose en una u otra dirección, en ocasiones a otras actividades de la ciencias geológicas y en otros casos bien alejadas de la prospección.

En estos momentos es poco probable recuperar esta fuerza, debido fundamentalmente a la edad promedio (49 años) y al tiempo que tendrían que ocupar en una actualización para poder asimilar las técnicas actuales de prospección luego de mas de una década fuera de una actividad que ha nivel mundial se enriquece constantemente del desarrollo tecnológico.

La prospección petrolera por diversas razones no ha sufrido esta perdida, inclusive tiene su propio sistema de formación de nueva fuerza profesional, por lo que la necesidad.

En estos momentos la Unión GeoMinSal prepara cursos de capacitación para personal ya graduado en temas de levantamiento geológico como paliativo a esta situación, pero esta no debe resultar la una solución definitiva.

La presente propuesta esta dirigida **completar** esta fuerza técnica necesaria para la revitalización de la prospección de minerales sólidos con jóvenes egresados de nuestras universidades especializados en este tema que puedan llegar a una madures profesional en el menor tiempo posible.

El Objetivo Integrador del programa actual de estudios de las carreras de Geología se propone un profesional de perfil amplio y que esté capacitado científica y técnicamente para ejecutar los trabajos geológicos de prospección, exploración y explotación de los recursos minerales, hídricos, gasopetrolíferos y la evaluación de las condiciones ingeniero geológicas e hidrogeológicas del medio de forma racional y eficiente a la economía nacional.

Consideramos que este programa de estudio no toma en cuenta la necesidad social de satisfacer la demanda actual de especialista dedicados a la geología de yacimientos minerales.

Con vistas a formar un profesional especializado en yacimientos minerales y aguas subterráneas que sea capaz de disminuir su tiempo de entrenamiento en la producción hasta obtener su independencia

profesional se proponen una serie de ideas preeliminares de posibles cambios en el programa de la Carrera de Geología actual (Plan C Perfeccionado) para lograr este objetivo.

La idea básica de esta propuesta es estrechar el perfil profesional del graduado dirigiendo el tiempo de estudio solo a los objetivos planteados, graduando un profesional que en menos de dos años pueda llegar a una maduración profesional que satisfaga las necesidades actuales.

CAMBIOS BÁSICOS:

- Eliminar las asignaturas relacionadas con petróleo e ingeniería geológica y otra posible muy especializada paleontología, (que se puede también quitar o reducir e incluirla con otra). Estas serán cinco asignaturas que consumen aproximadamente 650 horas (docencia y practica).
- Este tiempo sobrante debe repartirse en temas de prospección de yacimientos, geofísica y computación especializada (SIG, procesadores de imágenes, modeladores, etc), la hidrogeología(si es solo para el abasto de agua y en la parte de prospección de yacimientos NO llega a la explotación) se puede quedar como esta. En las tablas 1 y 2 se presentan las asignaturas por año antes y después de los cambios propuestos..
- Las asignaturas de geofísica aparte de agregarles tiempo (en temas dirigidos), se eliminarían métodos y algunas variantes específicas de petróleo, (sísmica de reflexión, carotage especializado etc),,
- Las asignaturas Aplicadas (geoquímica aplicada, hidrogeología aplicada, aplicación compleja de geofísica etc) se les elimina la parte de petróleo e ingeniería geológica y se refuerza la deseada. En general para todas las asignaturas se necesita una revisión del contenido
- Existen un gran numero de aspectos y conocimientos (en su mayoría de carácter práctico) que aceleran la maduración profesional de los egresados, los cuales deben incluirse en determinadas asignaturas y/o fundamentalmente en una asignatura practica-integradora de la especialidad. Estos aspectos deben de ser determinados por especialistas de la producción con amplia experiencia, y modificados por los especialistas en docencia para una correcta enseñanza.
- La variante propuesta lleva implícita la garantía de una base práctica sólida de lo que no dispone la universidad, por lo que el MINBAS como beneficiario directo del nuevo especialista, debe garantizar la logística necesaria para esta formación, mediante Unidades Docentes en las Empresas prospectoras bien equipadas y organizadas.
- En las tablas 2 y 3 se ve que todos los cambios serian en 4to y 5to año (excepto paleontología), lo que propone una variante, de empezar con los alumnos que acaban 3er año con el nuevo programa y en dos años tener el producto deseado.

CONCLUSIONES

1. Los planes de estudio de las carreras universitarias deben de estar dirigidos a las necesidades sociales de cada momento.
2. Las escuelas de Geología en Cuba deben y pueden ayudar a resolver el problema actual.
3. Las instituciones prospectoras deben ocuparse de la formación universitaria de sus futuros profesionales.

RECOMENDACIONES

1. Los cambios propuestos solo se deben mantener hasta que se resuelva el problema actual de la falta de especialistas en la rama de la prospección de yacimientos minerales.

2. Los planes definitivos de una variante de este tipo deben de ser confeccionados conjuntamente por especialistas de la educación superior (productores) y especialistas de las empresas prospectoras (consumidores).
3. Las empresas prospectoras deben de garantizar la logística necesaria para la correcta formación de los futuros profesionales.

TABLA 1

Programa actual (en verde las asignaturas eliminadas)

	I Semestre (horas)	II Semestre (horas)
año 1	Geometría Analítica (50)	Cálculo Integral (104) (*)
	Cálculo Diferencial (80)	Idioma Inglés II (96)
	Geología General I (60)	Computación II (32)
	Dibujo Básico (64)	Educación Física II (48)
	Química General I (64)	Geología General II (60)
	Topografía (128)(**)	Mineralogía I (80)
	Computación I (48)	Química General II (64)
	Educación Física I (48)	Física I (80)
	Idioma Inglés I (96)	
	Total de horas: 638	Total de horas: 564
año 2	Ecuaciones Diferenciales (70)	Estadística (64)
	Idioma Inglés III (64)	Geotectónica(56)
	Educación Física III (48)	Educación Física IV (48)
	Mineralogía II (80)	Física III (80)
	Geoquímica General (70)	Geomorfología y Teledetección (58)
	Paleontología (56)	Filosofía y Sociedad (64)
	Geología Estructural (70)	Historia y Pensamiento Cubano (40)
	Física II (80)	
	Total de horas: 538	Total de horas: 410
año 3	Estratigrafía (70)	Petrología II (84)
	Petrología I (84)	Hidrogeología General (56)
	Geofísica I (84)	Geofísica II (82)
	Diferendo Cuba - Estados Unidos (32)	Geología Histórica (56)
	Economía y Teoría Política I (68)	Economía y Teoría Política II (68)
	Defensa Nacional (64)	Perforación y Laboreo Minero (70)
	Total de horas: 402	Total de horas: 416
año 4	Ingeniería Geológica (204)	Geoquímica Aplicada (60)
	Hidrogeología Aplicada (200)	Prosp. y Explora. de Ytos. Mineral (404)
	Mecánica de Suelos y Rocas(56)	Geología del Petróleo (56)
	Geología de Cuba(56)	Economía y Gestión(72)
	Geología de Yacimientos Minerales (84)	Geofísica III (42)
	Total de horas: 600	Total de horas: 634
año 5	Prospección, Explora. y Explota. de Ytos de Petróleo y Gas (284)	Trabajo de Diploma (20 semanas:)
	Geofísica IV (164)	
	Problemas Sociales de la Ciencia y Tecnología (40)	
	Defensa Civil (60)	
	Total de horas: 548	Total de horas: 800

TABLA 2

Programa Propuesto (en verde nuevas asignaturas, azul cambio programa)		
	I Semestre (horas)	II Semestre (horas)
año 1	Geometría Analítica (50)	Cálculo Integral (104) (*)
	Cálculo Diferencial (80)	Idioma Inglés II (96)
	Geología General I (60)	Computación II (32)
	Dibujo Básico (64)	Educación Física II (48)
	Química General I (64)	Geología General II (60)
	Topografía (128)(**)	Mineralogía I (80)
	Computación I (48)	Química General II (64)
	Educación Física I (48)	Física I (80)
	Idioma Inglés I (96)	
	Total de horas: 638	Total de horas: 564
año 2	Ecuaciones Diferenciales (70)	Estadística (64)
	Idioma Inglés III (64)	Geotectónica(56)
	Educación Física III (48)	Educación Física IV (48)
	Mineralogía II (80)	Física III (80)
	Geoquímica General (70)	Geomorfología y Teledetección (58)
	Computación III, SIG y Procesamiento Imagen (56)	Filosofía y Sociedad (64)
	Geología Estructural (70)	Historia y Pensamiento Cubano (40)
	Física II (80)	
	Total de horas: 538	Total de horas: 410
año 3	Estratigrafía (70)	Petrología II (84)
	Petrología I (84)	Hidrogeología General (56)
	Geofísica I (84)	Geofísica II (82)
	Diferendo Cuba - Estados Unidos (32)	Geología Histórica (56)
	Economía y Teoría Política I (68)	Economía y Teoría Política II (68)
	Defensa Nacional (64)	Perforación y Laboreo Minero (70)
	Total de horas: 402	Total de horas: 416
año 4	Geofísica IV (204)	Geoquímica Aplicada (60)
	Hidrogeología Aplicada (200)	Prosp. y Explora. de Ytos. Mineral (404)
	Computación IV, Modelaje y Diagnósis (56)	Geología de Ytos minerales II (56)
	Geología de Cuba(56)	Economía y Gestión(72)
	Geología de Yacimientos Minerales (84)	Geofísica III (42)
	Total de horas: 600	Total de horas: 634
año 5	Prospe, Explora, Explota, calculo de recursos. (284)	Trabajo de Diploma (20 semanas:)
	Geofísica Aplicada (164)	
	Problemas Sociales de la Ciencia y Tecnología (40)	
	Defensa Civil (60)	
	Total de horas: 548	Total de horas: 800

PROYECTO DE LIBRO DE TEXTO PARA LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA EN LA CARRERA DE GEOLOGÍA

Orlando Correa Cruz.

Universidad de Pinar del Río, Departamento de Geología, Martí 270, CP 20100, Pinar del Río, Cuba Email: correa@af.upr.edu.cu

RESUMEN

En la carrera de Geología la asignatura de Química no pertenece al Ciclo Básico ni constituye una disciplina independiente; sino que forma parte de la disciplina Geoquímica correspondiente al Ciclo Básico Específico. Lo anterior la obliga a brindar un aporte palpable al objeto de la profesión. Para lograrlo se ha elaborado un diseño de la asignatura basado en una estrecha relación entre la lógica de la ciencia Química y la lógica esencial del profesional de la Geología.

El sistema didáctico de la asignatura requiere del apoyo de un libro de texto que refleje cabalmente dicho propósito, que no se limite a exponer el sistema conceptual seleccionado; sino que permita, de forma interactiva, el desarrollo de las habilidades y contribuya también a la formación de un sistema de valores vinculados a la carrera. La puesta en marcha del Plan "D" en los próximos cursos, obliga a pensar seriamente en la elaboración de nuevos textos con tales características.

En el Módulo de Textos de la asignatura de Química para Geología ninguno de los textos allí señalados, ni todos en conjunto, cubren los requerimientos para el desarrollo de los contenidos de dicha asignatura. No existe un texto idóneo, oficialmente aprobado, que cubra todos los contenidos del programa y mucho menos que se ajuste a los nuevos enfoques del Plan "D".

El texto propuesto en el trabajo, es de gran utilidad didáctica, ha sido elaborado en forma de multimedia y resuelve todas las insuficiencias y limitaciones que presentan los actuales libros de texto de la asignatura. Está estructurado a partir de una adecuada argumentación didáctica que parte de una secuenciación de los contenidos (conocimientos, habilidades y valores), presentados en forma novedosa para este material. Con un enfoque sistémico sin precedentes en los libros de texto de Química. Como recurso didáctico o medio de enseñanza elaborado posee, a su vez, varias bondades, como son: videos, laboratorios virtuales, materiales para profundizar, ejercitaciones interactivas, auto-evaluaciones interactivas, etcétera; que le permiten al estudiante no solo lograr el objetivo de la asignatura, sino también, incidir en su formación general integral.

El libro en cuestión ha venido empleándose paralelamente durante varios cursos, en un proceso de constatación y perfeccionamiento que ha evidenciado su éxito.

ABSTRACT

In the career of Geology the subject Chemistry does not belong to the Basic Cycle, neither appears as an independent subject, it is a part of the discipline Geochemistry that is included in the Basic Specific Cycle.

The didactic system of the subject requires the support of a text book that reflects its purpose, and that allow in an interactive way the development of a set of abilities related to the career as such. The so called D Plan makes us seriously think about the need of editing new text with the required features.

Actually there is not an ideal book, officially approved that career the requirements of the program or adjusted to the new approach of the "D" Plan.

The text that is proposed in this work is of a great didactic value and has been developed in multimedia way, to solve the insufficiency of the text books in used. The book has been structured from a didactic base, taking into account a sequence of contents (knowledge, ability and values) presented in a new way. As a didactic resource it also includes videos, virtual laboratories, evaluating drilling etc, that allow the student not only to attain the aim of the subject, but also influences in students general and integral formation.

The book has been used along several courses in a process of confirmation that has showed its value and success.

INTRODUCCIÓN:

El resultado que se presenta en el trabajo es parte de una investigación más amplia dirigida a elaborar un sistema didáctico para impartir las asignaturas de Química en la carrera de Geología, y cuyos objetivos generales constituyen la base de la tesis de doctorado titulada: "Un Sistema Didáctico para la Enseñanza de la Química en la Carrera de Geología".

En el módulo de textos para las asignaturas de Química en la carrera de Geología, ninguno de los textos allí señalados ni todos en conjunto, cubren los requerimientos para el desarrollo de los contenidos de dichas asignaturas. No existe un texto idóneo oficialmente aprobado que cubra todos los contenidos de los programas actuales y mucho menos, que se ajusten a los nuevos enfoque del plan "D", el cual pone un énfasis significativo en las actividades semipresenciales y el estudio independiente de los estudiantes, planteando nuevos retos en la elaboración de los medios encargados de brindar la información cognoscitiva que las nuevas condiciones requieren.

Para resolver esta limitación, una de las tareas trazadas por la investigación fue la de elaborar un texto para las asignaturas de Química del primer año de la carrera de Geología que responda de forma efectiva a:

- ❖ los requerimientos del programa,
- ❖ los nuevos enfoques previstos en el Plan "D",
- ❖ los niveles alcanzados en las TIC y los recursos informáticos disponibles.

En el presente trabajo se exponen los resultados alcanzados en el cumplimiento de este propósito.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. La selección y secuenciación de los contenidos se realizó a partir de la relación ciencia-profesión-docencia, de manera que resultara un arreglo didáctico que respondiera tanto a la lógica de la ciencia Química como a las habilidades del futuro profesional de la Geología.
2. La aplicación de los sistemas algorítmicos de acciones cognoscitivas en la elaboración del texto resulta un aspecto novedoso dentro del marco de la investigación que le ha dado origen. (Correa O. 1996a)
3. El texto contempla todos los aspectos del contenido de la asignatura, es decir, no sólo el sistema de conocimientos, sino también el sistema de habilidades y el sistema de valores, con un enfoque político e ideológico acorde con los principios que defiende nuestra sociedad.
4. La selección y ordenamiento de los contenidos obedecen a un enfoque sistémico que permite disminuir el número de temas, logrando un alto nivel de integración y evitando el excesivo fraccionamiento que ha prevalecido durante mucho tiempo en los textos de Química al nivel internacional, tendencia nociva que ha sido denunciada por reconocidos estudiosos de las temáticas relacionadas con la enseñanza de la Química. (Vidal G. 1999) (Reshetova, Z. A. 1989) (Salmina, N. G. y Reshetova. Z. A. 1983) (Vidal, G.; Fernández, D. 1997,1994)
5. Todo el banco de problemas se ajusta estrictamente al sistema internacional de unidades, tanto en la base de datos del enunciado de los ejercicios, como en las tablas de datos que complementan la información.
6. La estructura del texto se ha basado en una dinámica dirigida a evitar el tedio provocado por la lectura prolongada de textos en un monitor. Para ello se han introducido acciones sistemáticas para variar el ritmo de la atención sin que se pierda el hilo conductor de los contenidos, intercalando fotos y micro-biografías de científicos destacados, figuras, tablas y vídeos que ilustran y enriquecen el contenido tratado. Convirtiendo la lectura en un juego didáctico ameno e interesante.

7. Gracias a la aplicación de los niveles al cansados por la TIC, el texto posee un elevado nivel de visualización y estimula las acciones interactivas de los estudiantes a partir de la introducción de los medios anteriormente apuntados, así como, la existencia de más de 500 problemas resueltos y explicados que permiten la comprobación inmediata (auto-evaluación); aspecto este de suma importancia para mantener la motivación de los estudiantes.
8. Las denominadas figuras, son en realidad presentaciones de power point que ilustran los procesos, y los muestran en su dinámica, evitando las meras observaciones estáticas de los mismos.
9. La elaboración del texto ha contado con la colaboración desinteresada de profesionales de otras instituciones docentes del País y del extranjero. En este sentido es bueno destacar: los laboratorios virtuales aportados por la Dra. Yolanda Rodríguez, jefa del Dpto. de Química y Farmacia de la UCLV y las conferencias sobre Geología Isotópica aportadas por el Dr. Fernando Velasco Tapia de la Universidad de Nuevo León en México, especialista de primer grado de la UNESCO.
10. Aunque para la elaboración del texto se ha consultado una amplia bibliografía, tanto del ámbito nacional como internacional, que incluye una amplia gama de autores de reconocido prestigio, el libro no se reduce a una mera recopilación bibliográfica; varios de sus capítulos presentan enfoques novedosos que destacan el sello personal del autor con una larga experiencia como docente. (Correa O. 1996b, 1996c, 1997a, 1997b)
11. En términos físicos, el texto presenta las características siguientes:
 - Más de 650 páginas de texto escrito en Time New Roman (14)
 - Más de 500 figuras y 200 tablas
 - Más de 50 fotos y micro-biografías de científicos ilustras.
 - Más de 500 problemas y ejercicios resueltos y explicados
 - 80 vídeos de entre 30 segundos y un minuto de duración.

RESULTADOS

Se elaboró un texto en formato digital (Multimedia) en función de los contenidos del programa de la asignatura, incluyendo apéndices opcionales que enriquecen los diferentes perfiles del futuro profesional de la Geología.

El texto se ha estado utilizando desde hace varios años en el primer año de la carrera de Geología de la Facultad de Geología y Mecánica en la Universidad de Pinar del Río, sometido a un proceso continuo de perfeccionamiento, mediante pruebas de ensayo y error, y el acopio de las opiniones de los estudiantes que lo han utilizado. Originalmente fue ubicado en el sitio FTP del servidor de la carrera de Geología en la Universidad de Pinar del Río, pero recientemente, a solicitud de los profesores de Química de otras carreras ha sido colocado en otros sitios FTP.

Este resultado fue incluido en los trabajos premiados por el CITMA en el año 2006 y ha sido nominado en dos ocasiones como resultado aplicado más útil a la Educación Superior.

CONCLUSIONES

El libro de texto que se presenta no es un simple aporte práctico que refleja la concepción del sistema didáctico al que pertenece, puesto que su propia estructura y el tratamiento metodológico de sus temas constituyen enfoques teóricos que no deben pasarse por alto.

Basta resaltar algunos aspectos:

- La integración de las reglas y principios (empíricos y teóricos) relacionados con la estabilidad del núcleo atómico, estudiadas por separado en Física y Geoquímica.
- Es el primer libro de Química elaborado en Cuba donde se aplica rigurosamente el enfoque sistémico para seleccionar, ordenar y secuenciar los contenidos.
- El tratamiento del Tema sobre “Enlace Químico” en el primer tomo, y el de “Equilibrio Químico” en el segundo son ejemplos originales y muy bien logrados de lo apuntado anteriormente.

Los estudiantes acuden muy interesados a los laboratorios de computación de las diferentes carreras donde se encuentra ubicado, solicitando que se les graben CD-ROM. Poniendo de manifiesto la gran aceptación que ha despertado en los estudiantes.

Todo lo anterior ha permitido alcanzar un grado de perfeccionamiento, que aunque no ha terminado, ha hecho posible la evaluación del resultado, considerándolo muy positivo y capaz de dar una respuesta efectiva al objetivo científico que motivó la investigación.

RECOMENDACIONES

Aunque el texto ha sido elaborado específicamente para Geología, puede resultar de suma utilidad para los estudiantes de otras carreras de ingeniería, especialmente de Ciencias Técnicas. De hecho se encuentra ubicado en los sitios FTP de las carreras de ingeniería, tanto de Ciencias Técnicas como de Ciencias Agropecuarias y Forestales que se imparten en la Universidad de Pinar del Río, Cuba.

BIBLIOGRAFÍA

- Correa, O. (1996a) Los Sistemas Algorítmicos de Acciones Cognoscitivas. V Conferencia Científico Metodológica de la Universidad de Pinar del Río.
- (1996b). Un Modelo Curricular para la enseñanza de la Química en la carrera de Geología. Encuentro Internacional sobre la Enseñanza de la Química. EQ –96. ISPJAE. La Habana.
- (1996c). “Fundamentación de un modelo de diseño curricular para la enseñanza de la Química en la carrera de Geología”. Tesis en opción al título de Máster en Educación Superior.
- (1997a). Fundamentación de un modelo de diseño curricular para la enseñanza de la Química en la carrera de Geología. Evento provincial Pedagogía 97. Pinar del Río.
- (1997b). El sistema didáctico para la impartición de la Química en la carrera de Geología. Evento provincial de la Sociedad Cubana de Geología. Pinar del Río.
- Reshetova, Z. A. (1989). “Realización de los principios del enfoque sistémico en las asignaturas”. Traducción CEPES. La Habana. Cuba.
- Salmina, N. G. y Reshetova, Z. A. (1983). Enfoque sistémico estructural en la asignatura de Química. Editado por la Universidad de Moscú.
- Vidal G. (1999). Una concepción didáctica integradora de la Química General para las carreras de Ciencias Naturales. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Pedagógicas. La Habana.
- Vidal, G.; Fernández, D. (1994) Estudio experimental sobre la integración de conocimientos en Química General. XIV Conferencia de Química. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.
- (1997) El pensamiento científico y la estructuración sistémica de los contenidos de la Química General. II Taller Internacional Pedagogía de la Química. Universidad de Matanzas. Cuba.

Para la elaboración del libro digital se consultó una amplísima bibliografía, todos de reconocidos autores en el ámbito nacional e internacional; dentro de las fuentes consultadas se incluyen: libros, monografías, artículos de revista, etcétera; vinculados con los contenidos de la Química o su didáctica particular, Aproximadamente 120 de las fuentes más importantes se encuentran detalladamente relacionadas en la Bibliografía General que aparece en el contenido del texto digital que se entregará como muestra.

PROYECTO TUNING EN AMÉRICA LATINA SOBRE LA CREACIÓN DE UN ESPACIO COMÚN EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR. RESULTADOS EN LA CARRERA DE GEOLOGÍA

Carlos A. Leyva Rodríguez.

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Moa, Holguín, Cuba, Email: cleyva@ismm.edu.cu

RESUMEN

El proyecto ALFA- Tuning – América Latina sobre la creación de un espacio común en la Educación Superior se ha iniciado en octubre de 2004 con el trabajo de 4 áreas temáticas (Administración de Empresas, Educación, Historia y Matemáticas). En sus inicios, y a través de la participación de los Centros Nacionales Tuning se identificaron 62 universidades de gran trayectoria en cada uno de los países para formar parte de esta iniciativa. En Julio de 2005, y ante una solicitud presentada a la Comisión Europea, se aprobó una ampliación del proyecto a 8 nuevas áreas del conocimiento (Medicina, Derecho, Arquitectura, Ingeniería Civil, Química, Física, Geología y Enfermería), lo que posibilita la incorporación de 120 nuevas universidades latinoamericanas.

Como resultado de la Primera Reunión General del Proyecto llevada a cabo en Buenos Aires, ha quedado conformada una lista de 27 competencias genéricas de América Latina.

El ISMMM ha estado representado en este proyecto en el área de Geología, lo cual ha permitido formar parte del estudio sobre las competencias específicas para el profesional de la carrera de Geología. En el trabajo se exponen y analizan los resultados de estas competencias propuestas.

Se expone además la metodología aplicada en el proyecto Tuning, así como los avances logrados, y las tareas trazadas para el futuro.

ABSTRACT

The project ALFA - Tuning - Latin America on the creation of a common space in the Superior Education has begun in October of 2004 with the work of 4 thematic areas (Administration of Companies, Education, History and Mathematics). In its beginnings, and through the participation of the National Centers Tuning 62 universities of great trajectory were identified in each one of the countries to be part of this initiative. In Julio 2005, and before an application presented to the European Commission, an amplification was approved from the project to 8 new areas of the knowledge (Medicine, Right, Architecture, Civil Engineering, Chemistry, Physics, Geology and Infirmary), what facilitates the incorporation of 120 new Latin American universities.

As a result of the Primera General Meeting of the Project carried out in Buenos Aires, a list of 27 generic competitions of Latin America has been conformed.

The ISMMM has been represented in this project in the area of Geology, that which has allowed to be part of the study on the specific competitions for the professional of the career of Geology. In the work they are exposed and they analyze the results of these proposed competitions.

The methodology applied in the project Tuning is also exposed, as well as the achieved advances, and the tasks traced for the future.

INTRODUCCIÓN

La consulta sobre las competencias específicas del área de geología adquiere gran relevancia por cuanto coyunturalmente coincide en muchos países y globalmente con un momento de reflexión, sobre los procesos de formación. Vale la pena destacar que es la primera vez que se hace este tipo de ejercicio a nivel de las carreras latinoamericanas de Geología.

Dentro del proceso mismo de evaluación de las competencias, se tomó la opinión de todos los actores de la geología (incluyendo a los empleadores), para determinar realmente la formación básica de un geólogo frente a las necesidades reales del medio y de los países latinoamericanos.

Por otra parte se resalta la importancia de obtener un espectro amplio, tanto de países e instituciones y tener avances parciales con el fin de consolidar estos resultados. Se han realizado esfuerzos en la mejora de la formación de la geología en algunos países (foro de formadores de geología, rediseños de currículo) en los cuales las metodologías y resultados de este proyecto podrán ser de gran utilidad.

Se estima que la difusión de la metodología aplicada, es necesaria para replicar la consulta en otras escuelas y poder tener resultados a nivel de cada uno de los países y correlacionarlos con los resultados ya obtenidos a nivel latinoamericano.

Se resalta particular y específicamente en el caso de la enseñanza de la geología, que tradicionalmente los académicos forman tanto para el campo laboral como para investigar, dentro de los sistemas nacionales, lo que la diferencia de otros estudios de grado.

En cuanto a la metodología de elaboración de la consulta se destaca que en muchos casos no fue entendido el concepto de competencia, por parte de los participantes. Las encuestas se realizaron mediante correo electrónico y presencialmente, fundamentalmente de esta última manera.

Las universidades que participaron en la realización de las encuestas detectaron comúnmente la mayor dificultad en la consulta a empleadores (difícil acceso) y en algunos casos a los académicos.

Igualmente algunos de los consultados expresaron la inquietud de difícil diferenciación entre unas y otras competencias. Específicamente se resalto como dificultad en el proceso, por parte de los participantes del Brasil la mala traducción al portugués.

DESARROLLO

El presente documento es el resultado del proceso de consultas luego de la Segunda Reunión del Proyecto Tuning América Latina y pretende realizar un análisis cualitativo, mas que cuantitativo, de los resultados obtenidos de la consulta realizada en un total de 9 países de América Latina a 4 grupos de personas (académicos, estudiantes, graduados y empleadores) relacionados con el área de Geología. La encuesta se centró principalmente en analizar el nivel de importancia y de realización que dichos grupos de personas daban a 18 competencias específicas, que se consideraron válidas para cualquier profesional de la región por el grupo organizador de la investigación y con el consenso de todos los países participantes.

En total el número de encuestas recibidas fue de 1 246 lo que muestra el interés por la investigación y el compromiso en su participación. Una muestra suficiente para garantizar la generalización de los resultados obtenidos.

Todo lo anterior puede observarse en la tabla I.

Tabla I: Resultados de la consulta de competencias específicas, tamaños de las muestras utilizadas.

Área	Académicos	Empleadores	Estudiantes	Graduados	Total
Geología	277	202	347	420	1246

Un aspecto a señalar es que la aportación de resultados de cada país fue representativa en función del tamaño y la población de cada uno. Sin embargo, se trató de obtener resultados muestrales de una Universidad por cada país con excepción de Argentina y Brasil, países que ingresaron al proyecto con dos Universidades cada uno. Finalmente al realizar las encuestas Chile y Ecuador

elaboraron sus encuestas en varias escuelas. De esta forma, hay una participación muy alta en los resultados de estudiantes y graduados por parte de Chile y de estudiantes y académicos por parte de Ecuador. En el resto de las titulaciones consultadas la distribución fue más homogénea. No obstante, vale la pena anotar que Honduras, no tiene actualmente escuelas de geología y la consulta la realizó en dos grupos, académicos y empleadores interesados en la futura apertura de una carrera de geología y no necesariamente profesionales del área.

La contribución de cada país puede observarse en la tabla II.

Tabla II. Numero de encuestas de Geología por País y Grupo.

País	Académicos	Empleadores	Estudiantes	Graduados	Total
Argentina	30	26	28	36	120
Brasil	46	36	58	48	188
Chile	20	16	75	166	277
Colombia	20	28	31	33	112
Cuba	17	14	21	24	76
Ecuador	43	23	62	44	172
Honduras	53	21	0	0	74
Perú	24	17	31	19	91
Venezuela	24	21	41	50	136
Total	277	202	347	420	1246

A continuación se presenta un análisis de los resultados obtenidos con relación a la importancia de las competencias consultadas tomando en cuenta los valores medios por grupo para cada competencia.

En la tabla aparecen las medias en orden decreciente según la media obtenida por los académicos de las 18 competencias consultadas y en la tabla IV la matriz de correlación que se obtiene entre los cuatro grupos.

Lo primero a señalar es que todas las competencias han sido valoradas por todos los grupos con valores superiores a 3.3 en una escala en que 3 equivale a Bastante y 4 a Mucho. Eso quiere decir que las 18 competencias seleccionadas han sido consideradas pertinentes e igualmente importantes por los cuatro grupos de personas relacionadas con la titulación.

Tabla III. Importancia de las competencias: medias en orden decreciente según media de académicos.

Nº variable	Competencia	Graduados	Estudiantes	Empleadores	Académicos
V10	Elaborar e interpretar mapas y secciones geológicas.	3,845	3,725	3,840	3,801
V09	Efectuar estudios geológicos para la búsqueda, explotación, conservación y gestión de recursos hídricos y energéticos.	3,776	3,694	3,719	3,765
V08	Describir y analizar las relaciones de los elementos que están presentes en las rocas y en sus estructuras internas y externas, con el fin de interpretar la evolución y secuencia de los eventos geológicos.	3,750	3,737	3,632	3,735
V16	Rigurosidad en la selección de muestras, toma de datos, su tratamiento e interpretación.	3,796	3,669	3,745	3,724
V17	Tener la capacidad de recolectar, procesar e interpretar datos de diversas fuentes, a través de técnicas cualitativas y cuantitativas, con el fin de construir modelos geológicos.	3,768	3,636	3,661	3,709
V01	Aplicar sistemas de clasificación y tipificación de materiales geológicos.	3,675	3,503	3,559	3,699
V04	Capacidad de observación y comprensión del entorno.	3,721	3,616	3,612	3,662
V06	Desarrollar los trabajos en equilibrio con el cuidado y conservación del medio ambiente y social.	3,717	3,586	3,686	3,659

V11	Evaluar y valorar los recursos geológicos y las alteraciones causadas a los mismos.	3,698	3,556	3,634	3,610
V07	Desarrollo de la actividad profesional en un marco de responsabilidad, legalidad, seguridad y sustentabilidad.	3,776	3,614	3,699	3,595
V12	Percibir y comprender las dimensiones espaciales y temporales de los procesos geológicos y sus efectos sobre el planeta.	3,583	3,468	3,466	3,558
V05	Desarrollar métodos de enseñanza e investigación de la geología dirigidos tanto a la mejora del desempeño profesional como a la difusión del conocimiento.	3,547	3,529	3,417	3,547
V03	Capacidad para interactuar en áreas interdisciplinarias y transdisciplinarias.	3,672	3,347	3,612	3,538
V14	Proporcionar bases para la planificación territorial y la previsión, prevención y mitigación de riesgos geológicos, desastres naturales y antrópicos.	3,629	3,500	3,512	3,528
V13	Planificar, ejecutar, gerenciar y fiscalizar proyectos y servicios enfocados al conocimiento, explotación y utilización de recursos naturales no renovables.	3,717	3,492	3,708	3,508
V02	Asesorar acerca del uso de los recursos naturales en la formulación de políticas, normas, planes y programas de desarrollo.	3,481	3,311	3,442	3,469
V18	Ubicar perforaciones para investigación y explotación, y realizar su control geológico.	3,637	3,496	3,575	3,463
V15	Realizar y evaluar estudios tecnológicos y/o geotécnicos de materiales geológicos.	3,382	3,347	3,387	3,415

Tabla IV. Matriz de correlaciones entre las medias

	<i>Graduados</i>	<i>Estudiantes</i>	<i>Empleadores</i>	<i>Académicos</i>
Graduados	1			
Estudiantes	0,82659102	1		
Empleadores	0,9361074	0,72460023	1	
Académicos	0,81508667	0,86290502	0,71946043	1

Análisis de la importancia de las competencias: por grupo encuestado y comparativamente:

Aunque todas las competencias han sido altamente valoradas por encima de 3,3 es interesante analizarlas en dos grupos, las que han obtenido valores por encima de 3,7 y el resto. Así tenemos que en la primera categoría, es decir acercándose al criterio de Mucho han sido valoradas por los Académicos las 5 competencias siguientes: V08, V09, V10, V16 Y V17. Los Empleadores seleccionaron por encima de 3,7 un total de 4 competencias: V09, V10, V13 y V16. Los graduados seleccionaron 9 competencias: V04, V06, V07, V08, V09, V10, V13, V16 y V17. En el caso de los Estudiantes quedaron por encima de 3,7 solo 2 competencias: V08 y V10.

Si hacemos una comparación entre los cuatro grupos se destaca la importancia de las competencias V09, V10 y V16, competencias que fueron valoradas casi por todos por encima de 3,7. Estas fueron:

V09. Efectuar estudios geológicos para la búsqueda, explotación, conservación y gestión de recursos hídricos y energéticos.

V10. Elaborar e interpretar mapas y secciones geológicas.

V16. Rigurosidad en la selección de muestras, toma de datos, su tratamiento e interpretación.

La mayor importancia asignada a las competencias V9, V10 y V16, puede estar íntimamente relacionadas con habilidades básicas del geólogo (cartografía, exploración, explotación, gestión de recursos, toma de datos su tratamiento e interpretación).

La competencia V8 es de alta importancia para estudiantes, egresados y académicos, en cambio los empleadores le dan un menor valor, posiblemente por que la dan por superada o por que está más

íntimamente ligada con procesos de investigación y menos directamente relacionada con aplicación inmediata de resultados

La competencia V13 considerada por los empleadores como una de las más importantes, para académicos y estudiantes no tiene mucha relevancia. Probablemente refleja en cierto grado el tradicional divorcio en nuestros países entre la academia y la industria o igualmente cierto grado de autosuficiencia en el medio académico

La competencia V18 es la menos importante para todos los grupos consultados con excepción de los empleadores. Para los empleadores es una de las importantes quizás debido a que consiste en una habilidad práctica del geólogo en los campos de la exploración y explotación minera y probablemente se desarrolla eficazmente durante la vida laboral del geólogo.

Finalmente en esta reflexión queremos señalar que ninguno de los grupos incluyó en el rango de valores superiores a 3,5 las competencias V15 (Realizar y evaluar estudios tecnológicos y/o geotécnicos de materiales geológicos) y V02 (Asesorar acerca del uso de los recursos naturales en la formulación de políticas, normas, planes y programas de desarrollo.) Estas competencias consideradas menos importantes, posiblemente debido al traslape con la Ingeniería Civil, en el caso de la primera, pero que debería considerarse como un campo de acción en el que el geólogo podría adquirir cada vez mayor presencialidad y en el caso de la segunda preocupante, puesto que el geólogo no se esta desempeñando en cargos de planeamiento y administración de recursos, los cuales son de hecho de su competencia específica. Igualmente la competencia V15 es muy específica y obliga a trabajar en equipo y se relaciona con la autosuficiencia del egresado.

La matriz de correlación (Tabla IV) muestra valores de r superiores a 0,7, lo que significa una alta compatibilidad entre los criterios de los cuatro grupos siendo mayor la encontrada entre los Empleadores y Graduados (superior a 0,9), ligeramente menor entre Estudiantes y Académicos o entre Estudiantes y Graduados o entre Académicos y Graduados (valores entre 0,8 y 0,9) baja entre Estudiantes y Empleadores (menor a 0,8). La correlación entre Estudiantes y Empleadores es una de las más bajas por lo cual es muy importante considerar estrategias para el desarrollo de las profesiones en la futura práctica social.

Tabla V. Competencias menos y más importantes según la media. Dentro de cada grupo están en un orden decreciente de importancia.

GRUPO	MENOS IMPORTANTES	MÁS IMPORTANTES
Académicos	<p>V03 Capacidad para interactuar en áreas interdisciplinarias y transdisciplinarias</p> <p>V14 Proporcionar bases para la planificación territorial y la previsión, prevención y mitigación de riesgos geológicos, desastres naturales y antrópicos.</p> <p>V13 Planificar, ejecutar, gerenciar y fiscalizar proyectos y servicios enfocados al conocimiento, explotación y utilización de recursos naturales no renovables</p> <p>V02 Asesorar acerca del uso de los recursos naturales en la formulación de políticas, normas, planes y programas de desarrollo</p> <p>V18 Ubicar perforaciones para investigación y explotación, y realizar su control geológico.</p> <p>V15 Realizar y evaluar estudios tecnológicos y/o geotécnicos de materiales geológicos</p>	<p>V10 Elaborar e interpretar mapas y secciones geológicas.</p> <p>V09 Efectuar estudios geológicos para la búsqueda, explotación, conservación y gestión de recursos hídricos y energéticos.</p> <p>V08 Describir y analizar las relaciones de los elementos que están presentes en las rocas y en sus estructuras internas y externas, con el fin de interpretar la evolución y secuencia de los eventos Geológicos.</p> <p>V16 Rigurosidad en la selección de muestras, toma de datos, su tratamiento e interpretación.</p> <p>V17 Tener la capacidad de recolectar, procesar e interpretar datos de diversas fuentes, a través de técnicas cualitativas y cuantitativas, con el fin de construir modelos geológicos</p> <p>V01 Aplicar sistemas de clasificación y tipificación de materiales geológicos</p>

Graduados	<p>V18 Ubicar perforaciones para investigación y explotación, y realizar su control geológico.</p> <p>V14 Proporcionar bases para la planificación territorial y la previsión, prevención y mitigación de riesgos geológicos, desastres naturales y antrópicos</p> <p>V12 Percibir y comprender las dimensiones espaciales y temporales de los procesos geológicos y sus efectos sobre el planeta.</p> <p>V05 Desarrollar métodos de enseñanza e investigación de la geología dirigidos tanto a la mejora del desempeño profesional como a la difusión del conocimiento.</p> <p>V02 Asesorar acerca del uso de los recursos naturales en la formulación de políticas, normas, planes y programas de desarrollo</p> <p>V15 Realizar y evaluar estudios tecnológicos y/o geotécnicos de materiales geológicos</p>	<p>V10 Elaborar e interpretar mapas y secciones geológicas.</p> <p>V16 Rigurosidad en la selección de muestras, toma de datos, su tratamiento e interpretación.</p> <p>V07 Desarrollo de la actividad profesional en un marco de responsabilidad, legalidad, seguridad y sustentabilidad.</p> <p>V09 Efectuar estudios geológicos para la búsqueda, explotación, conservación y gestión de recursos hídricos y energéticos.</p> <p>V17 Tener la capacidad de recolectar, procesar e interpretar datos de diversas fuentes, a través de técnicas cualitativas y cuantitativas, con el fin de construir modelos geológicos</p> <p>V08 Describir y analizar las relaciones de los elementos que están presentes en las rocas y en sus estructuras internas y externas, con el fin de interpretar la evolución y secuencia de los eventos Geológicos.</p>
Estudiantes	<p>V18 Ubicar perforaciones para investigación y explotación, y realizar su control geológico</p> <p>V13 Planificar, ejecutar, gerenciar y fiscalizar proyectos y servicios enfocados al conocimiento, explotación y utilización de recursos naturales no renovables</p> <p>V12 Percibir y comprender las dimensiones espaciales y temporales de los procesos geológicos y sus efectos sobre el planeta.</p> <p>V15 Realizar y evaluar estudios tecnológicos y/o geotécnicos de materiales geológicos</p> <p>V03 Capacidad para interactuar en áreas interdisciplinarias y transdisciplinarias.</p> <p>V02 Asesorar acerca del uso de los recursos naturales en la formulación de políticas, normas, planes y programas de desarrollo.</p>	<p>V08 Describir y analizar las relaciones de los elementos que están presentes en las rocas y en sus estructuras internas y externas, con el fin de interpretar la evolución y secuencia de los eventos Geológicos.</p> <p>V10 Elaborar e interpretar mapas y secciones geológicas.</p> <p>V09 Efectuar estudios geológicos para la búsqueda, explotación, conservación y gestión de recursos hídricos y energéticos.</p> <p>V16 Rigurosidad en la selección de muestras, toma de datos, su tratamiento e interpretación.</p> <p>V17 Tener la capacidad de recolectar, procesar e interpretar datos de diversas fuentes, a través de técnicas cualitativas y cuantitativas, con el fin de construir modelos geológicos</p> <p>V04 Capacidad de observación y comprensión del entorno.</p>
Empleadores	<p>V01 Aplicar sistemas de clasificación y tipificación de materiales geológicos</p> <p>V14 Proporcionar bases para la planificación territorial y la previsión, prevención y mitigación de riesgos geológicos, desastres naturales y antrópicos</p> <p>V12 Percibir y comprender las dimensiones espaciales y temporales de los procesos geológicos y sus efectos sobre el planeta</p> <p>V02 Asesorar acerca del uso de los recursos naturales en la formulación de políticas, normas, planes y programas de desarrollo</p> <p>V05 Desarrollar métodos de enseñanza e investigación de la geología dirigidos tanto a la mejora del desempeño profesional como a la difusión del conocimiento.</p> <p>V15 Realizar y evaluar estudios tecnológicos y/o geotécnicos de materiales geológicos</p>	<p>V10 Elaborar e interpretar mapas y secciones geológicas.</p> <p>V16 Rigurosidad en la selección de muestras, toma de datos, su tratamiento e interpretación.</p> <p>V09 Efectuar estudios geológicos para la búsqueda, explotación, conservación y gestión de recursos hídricos y energéticos.</p> <p>V13 Planificar, ejecutar, gerenciar y fiscalizar proyectos y servicios enfocados al conocimiento, explotación y utilización de recursos naturales no renovables</p> <p>V07 Desarrollo de la actividad profesional en un marco de responsabilidad, legalidad, seguridad y sustentabilidad.</p> <p>V06 Desarrollar los trabajos en equilibrio con el cuidado y conservación del medio ambiente y social.</p>

En general se nota una alta coincidencia entre empleadores y graduados y entre estudiantes y académicos; en menor relación coinciden empleadores con académicos y estudiantes debido a la influencia de los medios laboral y académico en cada uno de ellos. Existe una correlación temporal y espacial, debido a la evolución de las perspectivas del estudiante con respecto a los requerimientos del campo laboral al graduarse y enfrentarse a este.

Con frecuencia las competencias genéricas (liderazgo, trabajo en equipo) no aparecen, ya que los empleadores dan por superadas estas habilidades en los estudios de grado. Por otra parte el énfasis del campo laboral en la productividad hace que el geólogo, trabaje en forma más individual.

Se considera muy importante construir un mapa del campo laboral, para ver la influencia en el trabajo interdisciplinario, ya que este no es fomentado suficientemente durante la formación universitaria.

Las capacidades investigativas no son consideradas importantes, probablemente porque conllevan soluciones a problemas de largo plazo y solo se enfoca en problemas más puntuales, menos prácticos para la actividad empresarial y laboral de los egresados.

Análisis de los resultados obtenidos con relación al nivel de realización de las competencias consultadas tomando en cuenta los valores medios por grupo para cada competencia

En la tabla VI aparecen las medias en orden decreciente según la media obtenida por los académicos de las 18 competencias consultadas y en la tabla VII la matriz de correlación que se obtiene entre los cuatro grupos.

Tabla VI. Realización de las competencias: medias en orden decreciente según la media de los empleadores.

Nº variable	Competencia	Graduados	Estudiantes	Empleadores	Académicos
V10	Elaborar e interpretar mapas y secciones geológicas. Describir y analizar las relaciones de los elementos que están presentes en las rocas y en sus estructuras internas y externas, con el fin de interpretar la evolución y secuencia de los eventos geológicos.	3,177	3,172	2,969	3,194
V08	Aplicar sistemas de clasificación y tipificación de materiales geológicos	3,174	3,273	2,955	3,140
V01	Rigurosidad en la selección de muestras, toma de datos, su tratamiento e interpretación.	2,861	2,810	2,722	2,968
V16	Capacidad de observación y comprensión del entorno. Efectuar estudios geológicos para la búsqueda, explotación, conservación y gestión de recursos hídricos y energéticos	2,845	2,869	2,730	2,912
V04	Evaluar y valorar los recursos geológicos y las alteraciones causadas a los mismos	2,920	3,034	2,699	2,874
V09	Tener la capacidad de recolectar, procesar e interpretar datos de diversas fuentes, a través de técnicas cualitativas y cuantitativas, con el fin de construir modelos geológicos.	2,638	2,662	2,585	2,866
V11	Percibir y comprender las dimensiones espaciales y temporales de los procesos geológicos y sus efectos sobre el planeta	2,696	2,720	2,611	2,759
V17	Desarrollo de la actividad profesional en un marco de responsabilidad, legalidad, seguridad y sustentabilidad.	2,569	2,715	2,492	2,755
V12	Desarrollar métodos de enseñanza e investigación de la geología dirigidos tanto a la mejora del desempeño profesional como a la difusión del conocimiento	2,810	2,872	2,598	2,755
V07	Desarrollar los trabajos en equilibrio con el cuidado y conservación del medio ambiente y social.	2,593	2,755	2,479	2,711
V05	Realizar y evaluar estudios tecnológicos y/o geotécnicos de materiales geológicos	2,506	2,500	2,485	2,650
V06	Ubicar perforaciones para investigación y explotación, y realizar su control geológico.	2,478	2,550	2,432	2,601
V15	Capacidad para interactuar en áreas interdisciplinarias y transdisciplinarias.	2,250	2,319	2,291	2,517
V18	Planificar, ejecutar, gerenciar y fiscalizar proyectos y servicios enfocados al conocimiento, explotación y utilización de recursos naturales no renovables.	2,343	2,338	2,377	2,498
V03	Proporcionar bases para la planificación territorial y la previsión, prevención y mitigación de riesgos geológicos, desastres naturales y antrópicos.	2,367	2,412	2,266	2,437
V13	Asesorar acerca del uso de los recursos naturales en la formulación de políticas, normas, planes y programas de desarrollo.	2,223	2,340	2,202	2,391
V14		2,156	2,180	2,179	2,316
V02		2,047	2,161	2,052	2,182

Tabla VII. Matriz de correlaciones entre las medias

	<i>Graduados</i>	<i>Estudiantes</i>	<i>Empleadores</i>	<i>Académicos</i>
Graduados	1			
Estudiantes	0,98397877	1		
Empleadores	0,98712665	0,95696809	1	
Académicos	0,9715231	0,9474602	0,9874421	1

En general los resultados sobre el nivel de realización de cada una de las competencias presentan medias comparativamente más bajas que las de la importancia con desviaciones Standard de 0,1. Debido a que el nivel de realización de las competencias esta claramente ligado al desarrollo de los procesos en cada escuela o Facultad.

Vale la pena señalar que pocas competencias en su realización han recibido valores superiores a 3 que corresponde a la categoría de Bastante. Entre estas podemos destacar la V10 (Elaborar e interpretar mapas y secciones geológicas) y la V08 (Describir y analizar las relaciones de los elementos que están presentes en las rocas y en sus estructuras internas y externas, con el fin de interpretar la evolución y secuencia de los eventos geológicos) señaladas por graduados, estudiantes y académicos. Esto hace que solo 2 competencias hayan sido valoradas por algunos grupos con un nivel de realización equivalente a la categoría de Bastante. Los Empleadores no valoraron en esta categoría ninguna competencia seleccionada.

La competencia V10 presenta una alta importancia y un alto nivel de realización. Siguen la V08 y la V16; esta última valorada por encima de 3 por los estudiantes.

Las competencias valoradas en su realización por debajo 2,3 es decir poco realizadas, fueron: V02. Asesorar acerca del uso de los recursos naturales en la formulación de políticas, normas, planes y programas de desarrollo. Señalada por todos los grupos. V14. Proporcionar bases para la planificación territorial y la previsión, prevención y mitigación de riesgos geológicos, desastres naturales y antrópicos. Señalada por Graduados, Estudiantes y Empleadores V13. Planificar, ejecutar, gerenciar y fiscalizar proyectos y servicios enfocados al conocimiento, explotación y utilización de recursos naturales no renovables. Señalada por Graduados y Empleadores.

En algunos grupos, otras competencias fueron calificadas como de poca realización, así V03 (Capacidad para interactuar en áreas interdisciplinarias y transdisciplinarias) por los empleadores y V15 (Realizar y evaluar estudios tecnológicos y/o geotécnicos de materiales geológicos) por empleadores y graduados

Existe discrepancia entre académicos y empleadores sobre la realización de la competencia V13, puede ser que los académicos piensen que esta competencia sea realmente desarrollada en el trabajo y no plenamente dentro del proceso de formación.

Existe un alto grado de correlación entre académicos y empleadores. Los estudiantes perciben mejor logro en las competencias V8, V4 y V10.

Al ir avanzando en la practica (estudiante – egresado - empleador) se percibe que la concepción de realización de la competencia V4 baja y sube la de la competencia V10.

Existe en general buena coherencia entre las competencias de mayor importancia y las que tienen mayor nivel de realización.

La correlación es mayor entre los grupos en cuanto a nivel de realización de las competencias (mejor diagnóstico) y es menor con relación a su importancia debido a la posición que tienen en el proceso de formación y en el trabajo.

Las competencias que obtienen mayor nivel de realización y mayor importancia son consideradas como un currículo troncal en geología y las competencias más específicas que obtienen menor realización, son aquellas que comienzan a desarrollarse en los estudios de grado pero continúan formándose y afianzándose en el desarrollo profesional.

En general en cuanto a la realización existió mucha coincidencia en los criterios de los grupos y la matriz de correlación mostró valores de r superiores a 0,9 en todos los casos.

Análisis de la relación “importancia” versus “realización” de las competencias específicas:

De las competencias más importantes:

En opinión de los Académicos Coincidentemente, las cinco competencias más importantes son las mejor logradas; estas son: Elaborar e interpretar mapas y secciones geológicas (V10), Describir y analizar las relaciones de los elementos que están presentes en las rocas y en sus estructuras internas y externas, con el fin de interpretar la evolución y secuencia de los eventos geológicos. (V08), Rigurosidad en la selección de muestras, toma de datos, su tratamiento e interpretación. (V16), Efectuar estudios geológicos para la búsqueda, explotación, conservación y gestión de recursos hídricos y energéticos (V09) y Aplicar sistemas de clasificación y tipificación de materiales geológicos (V01).

Ello pareciera indicar que no debiéramos preocuparnos; sin embargo, aunque en importancia el valor de escala de todas estas competencias está arriba de 3.69 (lo que indica que se ubican entre los calificativos de “bastante” y “mucho”) en cuanto a la realización que se ha logrado en la Universidad, son las mejor calificadas, pero estas competencias oscilan alrededor de 3 (entre 2,8 y 3,3 lo cual significaría “bastante” de acuerdo a lo acordado), lo que sugiere que no es “poco” pero tampoco suficiente en su realización. Por lo tanto, según los académicos, estas 6 competencias debieran ser mejoradas un poco más en su realización en las Universidades.

En opinión de los Graduados las cinco competencias más importantes coinciden en cuatro con los Académicos, exceptuando únicamente Aplicar sistemas de clasificación y tipificación de materiales geológicos (V01) e incluyendo la “Capacidad de observación y comprensión del entorno” (V04). Todas con niveles de importancia superiores a 3,7, e igualmente niveles de realización alrededor de 3 incluso algunas por encima de lo evaluado por los académicos; con excepción de la V04, que tiene para este grupo un nivel de realización de 2,92 (calificativo de “bastante”) Entonces, según los graduados se deberá mejorar un poco mas en la realización de las competencias mencionadas especialmente “la capacidad de observación y comprensión del entorno”.

Los Estudiantes : Coinciden con los Graduados en 4 de las competencias más importantes (y en 3 con los Académicos), generalizando los tres grupos coinciden en importancia y realización en las competencias V10, V08 y V16 y con los graduados en la competencia V04. Las tres competencias coincidentes con niveles de importancia y realización similares. Para el caso de la competencia V04 en la que coinciden con los graduados le asignan un nivel de realización de 3,03 superior al de todos los grupos, es decir bastante bien “desarrollada en la Universidad” (entre 2.9 y 3.2), por el contrario la V09 “Efectuar estudios geológicos para la búsqueda, explotación, conservación y gestión de recursos hídricos y energéticos” la califican en 2,662,. Diríamos que para los estudiantes, a todas las competencias importantes se les está dando un trato bastante bueno en la Universidad, exceptuando la V09; lo que amerita una evaluación para futuros correctivos.

Los Empleadores Estos coinciden pero solo en dos de las competencias más importantes con los 3 sectores citados anteriormente la V10 y la V16, pero entre las cinco más importantes agregan en coincidencia con los académicos y graduados la V09 la “Efectuar estudios geológicos para la búsqueda, explotación, conservación y gestión de recursos hídricos y energéticos” pero con un nivel de realización por debajo de 2,6 y en coincidencia con los estudiantes la V07 “Desarrollo de la actividad profesional en un marco de responsabilidad, legalidad, seguridad y sustentabilidad” con un nivel de realización de 2,479. Por otra parte incluyen entre las más importantes la (V13) “Planificar, ejecutar, gerenciar y fiscalizar proyectos y servicios enfocados al conocimiento, explotación y utilización de recursos naturales no renovables. (3,708) con un nivel de realización de solo 2,202.

De lo analizado podemos señalar que de las competencias más importantes (las siguientes) necesitan un poco más de atención en las Universidades latinoamericanas:

V09 Efectuar estudios geológicos para la búsqueda, explotación, conservación y gestión de recursos hídricos y energéticos

V04 Capacidad de observación y comprensión del entorno”.

V07 Desarrollo de la actividad profesional en un marco de responsabilidad, legalidad, seguridad y sustentabilidad

V13 Planificar, ejecutar, gerenciar y fiscalizar proyectos y servicios enfocados al conocimiento, explotación y utilización de recursos naturales no renovables).

No obstante, es interesante y debe satisfacer a todos que los 4 sectores coinciden en que los “Conocimientos en el área de estudio y la profesión” se están logrando en nuestras universidades más que “bastante”.

De las competencias menos importantes:

Se resalta que estas competencias no dejan de ser importantes, inclusive todas han sido calificadas por los 4 sectores (académico, graduados, estudiantes y empleadores) con designación arriba de 3.3 puntos, lo que las sitúa en la escala de “bastante” importantes. Sin embargo cabe tener en cuenta lo siguiente:

Los Académicos: piensan que las cinco competencias menos importantes y con menor nivel de realización, aunque no precisamente no importantes, puesto que todas se encuentran entre una escala de 3.41 y 3.52 son: “Realizar y evaluar estudios tecnológicos y/o geotécnicos de materiales geológicos” (V15), “Ubicar perforaciones para investigación y explotación, y realizar su control geológico” (V18), “Asesorar acerca del uso de los recursos naturales en la formulación de políticas, normas, planes y programas de desarrollo.” (V02), “Planificar, ejecutar, gerenciar y fiscalizar proyectos y servicios enfocados al conocimiento, explotación y utilización de recursos naturales no renovables.” (V13) y “Proporcionar bases para la planificación territorial y la previsión, prevención y mitigación de riesgos geológicos, desastres naturales y antrópicos” (V14). De todas ellas la V02 se desarrolla muy poco en la Universidad con 2.18, las restantes por encima de 2,3 pero por debajo de 3,0, lo que indica según los Académicos deberán mejorar todas estas competencias en su desarrollo en la Universidad.

Los Graduados: Al igual que los Académicos, los Graduados indican similar situación para las competencias V15, V2, V14, y V18 que se encuentran por debajo de 2.34 en cuanto a realización y agregan a esta situación: Capacidad para interactuar en áreas interdisciplinarias y transdisciplinarias (V03) con 2.36 puntos.

Los Estudiantes: Igualmente, este sector juvenil indica que se debe mejorar bastante el desarrollo en la Universidad de las variables V02, V15, V14, V03, V18 y V13 las cuales se califican por debajo de 2,5.

Los Empleadores: coinciden en la valoración de menos realizadas y menos importantes con los grupos anteriores para las competencias V15, V14, V02 y V18, V13 y V03.

Teniendo en cuenta lo anterior podemos generalizar que todas las variables mencionadas en este párrafo deberán mejorarse en mayor o menor grado como se indica en cada caso.

Análisis del ranking de competencias:

Considerando las competencias más importantes identificadas por todos los grupos encuestados, más el criterio académico del grupo de trabajo, podemos definir un grupo de competencias mínimas comunes (Currículo troncal).

Competencias mínimas comunes:

V10 Elaborar e interpretar mapas y secciones geológicas.

V09 Efectuar estudios geológicos para la búsqueda, explotación, conservación y gestión de recursos hídricos y energéticos.

V16 Rigurosidad en la selección de muestras, toma de datos, su tratamiento e interpretación

V08 Describir y analizar las relaciones de los elementos que están presentes en las rocas y en sus estructuras internas y externas, con el fin de interpretar la evolución y secuencia de los eventos geológicos.

V17 Tener la capacidad de recolectar, procesar e interpretar datos de diversas fuentes, a través de técnicas cualitativas y cuantitativas, con el fin de construir modelos geológicos.

V04 Capacidad de observación y comprensión del entorno

V01 Aplicar sistemas de clasificación y tipificación de materiales geológicos

V12 Percibir y comprender las dimensiones espaciales y temporales de los procesos geológicos y sus efectos sobre el planeta

Análisis de capacidades sugeridas por los encuestados:

Frente a la numerosa lista de sugerencias de competencias realizadas por los encuestados es necesario aclarar lo siguiente:

- Algunas sugerencias están cortadas o incompletas, son de difícil lectura y/o comprensión. Se recomienda dar más espacio a las sugerencias en el futuro.
- Los encuestados enumeran herramientas, asignaturas, técnicas, deseos, necesidades, etc., lo que no corresponde a competencias específicas. (posiblemente era necesario aclarar el concepto en la metodología de la encuesta, en las encuestas presenciales hubo mayor posibilidad de explicar la filosofía de las consultas).
- Se sugieren varias competencias que están comprendidas en las ya definidas (economía, etc.)
- Se mencionan competencias genéricas (liderazgo, etc.)

- Se mencionan competencias y/o aspectos que no son competencias del geólogo o no son exclusivos de las funciones del geólogo (cambio climático, geofísica).

CONCLUSIONES:

- Es indiscutible e invaluable la importancia de la reflexión conjunta de todos los actores que participan en las respectivas encuestas en Latinoamérica.
- La alta importancia otorgadas a las competencias por los encuestados demuestra la pertinencia de las mismas
- Los resultados de las encuestas permiten distinguir las competencias a desarrollar en el pregrado, al postgrado y algunas en el desarrollo profesional.
- El grado de nivel de realización es más bajo que el de la importancia para todas las competencias.
- A partir de los resultados se proponen las competencias mínimas a desarrollar en los estudiantes a nivel de pregrado,
- La metodología y los resultados pueden fortalecer los procesos de reforma curricular en la que están la mayoría de las escuelas de geología en Latinoamérica.

BIBLIOGRAFIA

TUNING- AMERICA LATINA. 2006. Informe de la segunda reunión general. Bruselas. Área de Geología.

PAPEL DE LAS OFIOLITAS EN LA EVOLUCIÓN GEODINÁMICA DE CUBA

Francisco Formell Cortina

Empresa Clave Cubana. Playa, Ciudad Habana, Cuba. e-mail: franciscoformell@hotmail.com

RESUMEN

Las secuencias de las rocas de la corteza oceánica en Cuba están íntimamente relacionadas con la evolución geodinámica del archipiélago cubano. Tanto el volumen de participación en el perfil como el carácter e intensidad de las dislocaciones tectónicas son evidentes testigos que refuerzan la idea de las condiciones cinemáticas que representaron movimientos antihorarios en el Caribe y una colisión del este al oeste de proto Cuba contra la placa de Norteamérica a partir del Campaniano Superior Maestrichtiano.

Todos los diferentes tipos litológicos de corteza oceánica en Cuba representan partes de la cuenca oceánica del proto Caribe que se desarrolló entre Norte y sur América después de la ruptura de Pangea (Pindell, 1994; Giunta et al., 2002)

De acuerdo a las condiciones de su emplazamiento se pueden distinguir las siguientes unidades estructurales ofiolíticas:

- 1.-Ofiolitas del cinturón principal septentrional.
- 2.-Ofiolitas del bloque cortical nororiental
- 3.-Metaofiolitas del macizo del Escambray
- 4.-Metaofiolitas de Guira de Jauco

El cinturón ofiolítico septentrional se divide a su vez en:

- 1.-Segmento occidental
- 2.-Segmento central

Las ofiolitas del bloque cortical nororiental consisten de:

Las zonas estructuro faciales de Nipe-Cristal y Moa-Baracoa

Las ofiolitas del bloque nororiental se diferencian de aquellas del cinturón ofiolítico septentrional por:

- 1.-Un menor grado de serpentinización
- 2.-Mayores espesores de los macizos rocosos
- 3.-Corte mas profundo de la corteza oceánica
- 4.-Las ofiolitas aquí cabalgan al arco volcánico J-K mientras que en el CPS las rocas del AVJ-K cabalgan a las ofiolitas.
- 5.- Máxima participación en el corte de erosión con relación a las restantes zonas del CPS

Las metaofiolitas del Escambray consisten de:

Las escamas de anfíbolitas imbricadas entre las rocas metasedimentarias (Fm Yayabo) y las anfíbolitas de Mabujina que sufrieron metamorfismo durante el desarrollo de la nueva zona de subducción de corta vida y la ulterior colisión paleoceno-eoceno medio.

Las metaofiolitas del Escambray parecen representar fragmentos del basamento melanocrático, metamorfizado y plegado del Arco de Islas volcánico y el microcontinente y pudieran ser de edad premesozoica. Ellas pudieron participar en los procesos destructivos del margen continental de América del Sur y sufrieron metamorfismo de subducción durante la corta vida de la zona de subducción de buzamiento norte

Las metaofiolitas de Guira de Jauco sufrieron metamorfismo durante la colisión del arco de islas volcánico del Cenozoico sobre los fragmentos del microcontinente representados aquí por la serie metamorfizada de Asunción.

ABSTRACT.

Sequences of oceanic crust rocks in Cuba are deeply related to the geodynamic evolution of cuban archipelag.

Both the volume of obducted rocks and the intensity and types of tectonic faulting are evident witnesses enforcing the idea of kinematic conditions representing counterclockwise movements in the Caribbean and a from east to west collision of proto Cuba against Northamerican Plate starting in upper campanian-maestrichtian times. All lithological types of oceanic crust in Cuba represent parts of former protocaribbean oceanic basin developed between north and south America after rupture of Pangea (Pindell, 1994; Giunta et al., 2002).

According to emplacement conditions following structural ophiolitic units are distinguished:

- 1.- Main northern belt ophiolites.
- 2.- Northeastern crustal block ophiolites
- 3.- Escambray Massif Metaophiolites
- 4.- Guira de Jauco Metaophiolites

Main northern ophiolitic belt consist of:

- 1.- Western Segment
- 2.- Central Segment

Northeastern ophiolitic crustal block consist of:

Nipe-Cristal and Moa-Baracoa facial structural zones

Ophiolites of northeastern crustal block are different of those of the main northern belt because of:

- 1.-Less degree of serpentinization
- 2.-Bigger thicknesses of rock massifs
- 3.-Outcropping deeper profile of oceanic crust.
- 4.-Here, ophiolites override J-K volcanic arc while in MNB rocks of J-K VA override ophiolites.
- 5.- Maximum volume of obducted rocks in comparison with those of MNBO

Escambray metaophiolites consist of:

Anphibolites slices imbricated between metasedimentary rocks of Yayabo formation and Mabujina anphibolites suffering metamorphism during the development of short live subduction zone and the later paleocene-middle eocene south-northern trend collision.

Escambray metaophiolites seems to represent fragments of folded and metamorphosed melanocratic basement of volcanic island arc and the microcontinent and could be of premesozoic in age. They could take part in destructive processes of South American continental margin and suffered subduction metamorphism during short living and north trending subduction zone developed in central Cuba after south dipping subduction zone closure.

Guira de Jauco metaophiolites suffered metamorphism during collision of Cenozoic volcanic arc against the microcontinent fragments represented here by metamorphic rocks of Asunción serie.

INTRODUCCION

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).

En el campaniano cuando comienza el cizallamiento contra el cratón norteamericano la zona de subducción buzaaba al sur y se situaba en un mar marginal entre el arco de islas volcánico y el margen continental de norteamérica.

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 al Este a partir del campaniano o algo antes y se prolongó hasta el eoceno medio.

En Cuba occidental, por donde comenzó el movimiento de cizallamiento la carencia de depósitos cretácicos del campaniano y precampaniano en algunas partes de la Sierra del Rosario es una evidencia de movimientos tectónicos premaestrichtianos (Pszczolkowski, 1971 b; 1977 a).

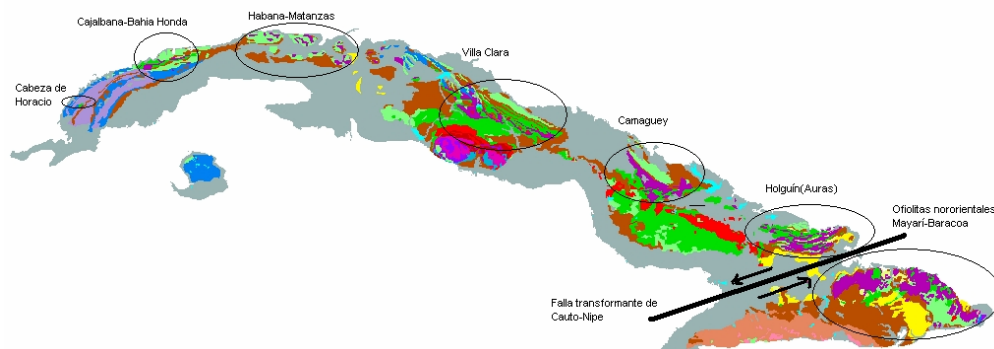
De igual modo las brechas del cretácico superior y la Fm Cacarajicara pueden considerarse resultados de la tectónica del cretácico tardío al paleógeno. (Pszczolkowski, 1977 a). La formación de estas brechas es consistente con la idea de un cizallamiento prolongado en la región septentrional de Pinar del Río y atestigua que en esta época la secuencia septentrional de la Sierra del Rosario se encontraba cerca de la plataforma de Bahamas.

La sutura de la zona de subducción de buzamiento al Sur provocó 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 permitió la intrusión de grandes cuerpos de granitoides y el metamorfismo de subducción de las secuencias oceánicas de Mabujina y el Escambray.

Posteriormente a partir del maestrichtiano-paleoceno comienza la colisión en dirección norte del bloque continental de la superzona meridional con el arco de isla protocubano, lo cual evidentemente se relaciona con el cierre de la nueva zona de subducción de buzamiento Norte.

La formación de brechas y olistostromas monomícticos y polimícticos en la zona Miogeosinclinal de Cuba Central vinculadas con movimientos de cizallamiento y sobrecorrimentos de dirección norte ocurrió posteriormente a partir del paleoceno (Fm Grande, Vega y Vega Alta).

Áreas de distribución de las ofiolitas del cinturón septentrional y del bloque nororiental



Tipos estructurales de ofiolitas en Cuba

De tal modo, entonces pueden agruparse las ofiolitas de Cuba en las siguientes grandes unidades:
1.-Cinturón ofiolítico principal septentrional, que a su vez se divide en:

- Segmento occidental y segmento central
- 2.-Ofiolitas del bloque cortical nororiental
- 3.-Metaofiolitas de Cuba Central.
- 4.-Metaofiolitas de Guira de Jauco

Segmento Occidental

La Zona estructuro-formacional de Bahía Honda, que ocupa la parte nordeste de la provincia de Pinar del Río, es análoga a las zonas de la sutura ofiolítica principal y de Zaza de la parte central de Cuba. Los datos geológicos directos y los resultados de la perforación paramétrica profunda (pozos Mariel y Martín Mesa), no dejan ninguna duda de la posición alóctona de esta zona, cuyas rocas recubren tectónicamente las formaciones de la zona estructuro-formacional septentrional de Sierra del Rosario.

De forma general, en la composición de la zona de Bahía Honda se destacan dos grandes unidades estructurales de mantos de sobrecoimientos: La inferior, Cajálbana, y la superior, San Diego de Núñez.

La unidad estructural de Cajálbana, es un sobrecoimiento inclinado hacia el Norte bajo un ángulo de 35° -50°, que yace sobre las unidades estructurales superiores de la zona Norte de la Sierra del Rosario (Guajaibón y Quiñones).

Esta unidad se caracteriza por la secuencia volcada de rocas estratificadas (de las jóvenes a las antiguas), posteriormente desmembrada en una serie de escamas tectónicas de segundo orden, inclinadas hacia el norte y separadas entre sí por lentes y bandas de un melange serpentinitico. (Mossakovski y Albear, 1978).

La posición estructural inferior en ella la ocupa la escama tectónica que contiene capas alternantes de silicitas, areniscas, limolitas, argilitas silíceas, calizas, y rocas vulcanógeno-sedimentarias de edad Cenomaniano-Turoniano (Fm. Orozco, 300-600 m).

Ella se recubre con la escama tectónica de las rocas volcánicas, representadas por los basaltos afíricos con estructura esferoidal y las brechas de aglomerados de la misma composición, que contienen intercalaciones subordinadas de calizas, rocas silíceas y tobas de edad Cretácico inferior, de unos 500 m de espesor. Según el quimismo de estas rocas, ésta es una asociación tholeítica de tipo oceánico (Fonseca, 1985).

Más arriba se extiende la escama tectónica de gabros, formada, según los datos de E. Fonseca y V.P. Zelepuguin (Fonseca, 1985), por los gabros y gabro-diabasas de grano medio y fino anfibolizados y bandeados, con una potencia inestable entre 100 hasta 800 m.

La posición estructural más alta la ocupa la escama de rocas ultrabásicas representadas por harzburgitas, lherzolitas, dunitas y piroxenitas serpentinizadas, en algunos lugares convertidas en melange serpentinitico, interrumpidas por el complejo de diques de diabasa. La potencia máxima de esta escama alcanza hasta 1.5 Km en el macizo de Cajálbana (Fonseca, 1985), aunque frecuentemente no supera los varios cientos de metros.

La unidad estructural de San Diego de Núñez que está tectónicamente sobrecorrida desde el Norte

hacia la unidad estructural de Cajalbana, al contrario de ésta, posee una secuencia normal de las rocas estratificadas (de las más antiguas a las más jóvenes). En su base se encuentra un paquete vulcanógeno-sedimentario (lavas y lavo-brechas de composición basáltica y andesítica), con horizontes de silicitas, calizas, aleurolitas y argilitas) de edad Aptiano-Albiano (Fm. Encrucijada) de hasta 900 m de potencia), la cual por el corte hacia arriba se sustituye concordantemente por el paquete de tobas andesito-dacíticas con horizontes de lavas basálticas, de areniscas tobáceas y conglomerados de edad Cenomaniano-Turoniano (Fm. Orozco, 500 m).

Más arriba, con hiatus estratigráfico y discordancia angular, yace un complejo de depósitos de molasa formados en su parte inferior por conglomerados vulcanomícticos, gravelitas, areniscas rítmicamente estratificadas, limolitas y tufitas silíceas del Campaniano-Maestrichtiano, y en la parte superior por los paquetes flyschoides de limolitas, areniscas y conglomerados de la Fm. Capdevila (300-400 m) del Eoceno inferior.

La unidad estructural de San Diego de Núñez constituye una sinforma grande, separada por fallas transversales cuyos flancos están formados por paquetes de rocas vulcanógeno-sedimentarias cretácicas y el núcleo por las molasas campaniano-maestrichtianos y del Eoceno medio.

Las particularidades de la composición y de la secuencia estratigráfica de los depósitos de las unidades estructurales de la zona de Bahía Honda, permiten con certeza compararlas con las zonas estructuro-formacionales correspondientes de la parte central de Cuba: la unidad estructural de Cajalbana se compara con los alóctonos ofiolíticos de la sutura ofiolítica principal y la unidad estructural de San Diego de Núñez con la zona Zaza.

Depósitos cretácicos análogos según su composición, a los complejos del tipo eugeosinclinal, son conocidos en la parte sudeste del occidente de Cuba, en la región de los Palacios, donde se cortaron por una perforación profunda por debajo de la potente cubierta de los depósitos paleógenos, neógenos y cuaternarios. Los materiales geofísicos existentes (magnetométricos, gravimétricos y sísmicos), confirman también el amplio desarrollo de las formaciones vulcanógenas cretácicas y las ofiolitas en el fundamento de la depresión de los Palacios.

Segmento Central

La sutura principal ofiolítica separa la región del margen continental del norte, de las estructuras del arco insular mesozoico tardío, situadas inmediatamente al sur de la misma. En la composición de este elemento estructural entra la zona de sutura propiamente dicha y una zona de alóctonos ofiolíticos, exprimidos de ella y sobrecorridos hacia el margen continental (fragmentos de la corteza oceánica tardía), comprimidos como resultado de la colisión del arco insular mesozoico con el cratón norteamericano

La zona de sutura propiamente dicha (Knipper y Cabrera, 1974) representa una zona de falla, con un ancho de 5 a 10 Km, de material ultrabásico que se hunde hacia el sur bajo un ángulo de 65° hasta una profundidad de 55 Km. A esta zona corresponde un cambio regionalmente expresado en el carácter de los campos gravitacional y magnético y la variación escalonada del espesor de la corteza terrestre, según los datos sísmicos.

Los alóctonos ofiolíticos representan, según sus relaciones morfológicas, un sistema de cuerpos

sinformes, planos, estratificados en una serie de escamas y bloques, cuya potencia total de acuerdo con los resultados de la perforación y los datos geofísicos no supera los 4 Km.

El corte de las escamas y bloques ofiolíticos se caracteriza por una secuencia típica para estas formaciones, según la yacencia de las rocas.

Según los datos de Knipper (1975), Kantchev et. al., (1978), y Fonseca, Zelepuguin y Heredia (1985), la base de corte está formada por dunitas y harzburgitas serpentinizadas frecuentemente en forma de melange con diferentes grados de desarrollo, y una potencia de 1000-2000 m.

En Camagüey, donde el grado de tectonización es menor, se puede observar su carácter estratificado. En los límites de la zona radical de las ofiolitas (zona de sutura), en las ultrabasitas, se destacan una gran cantidad de bloques e inclusiones tectónicas más pequeñas de rocas metamórficas de carácter melanocrático predominante, en particular, anfibolitas y eclogitas granatíferas.

Las partes superiores del corte de las escamas ofiolíticas están constituidas por los gabros olivínicos tectonizados. Las anortositas, las troctolitas y los gabros anfibólicos (con una potencia de 100-1000 m). Después viene el complejo de diques paralelos (con una potencia de 700-1500 m), el cual pasa gradualmente a variolitas con forma de almohada, espilitas y diabasas con escamas de capas de rocas silíceas y argilitas (de una potencia hasta 600 m). El complejo basáltico se agrupa en la formación Sagua la Chica. Su edad, según su posición en el corte, se determina como Jurásico tardío-Cretácico temprano y por otros investigadores como Cretácico temprano.

Las partes superiores del corte varían esencialmente en dependencia de la posición estructural de las escamas ofiolíticas. Por ejemplo, en el núcleo de la sinforma de Santa Clara, las ultrabasitas, los gabros, basaltos y las diabasas de la formación Zurrupandilla se recubren por las tobas andesíticas y las toba-brechas del Albiano-Cenomaniano (formación Mataguá).

Sobre ellas yacen de forma transgresiva los conglomerados santonianos, las areniscas, margas y tobas de composición media y ácida de la formación Cotorro (con una potencia de entre 900-1500 m).

Más arriba, en forma discordante, yacen las areniscas, margas, limolitas, tobas y calizas de la Fm. Santa Clara del Maestrichtiano-Paleoceno (con una potencia de 350 m). Después, también discordantemente yacen los flyschoides del Eoceno inferior-medio (Fm. Ochoa).

Al sudeste, en la región de la sinforma Falcón, el corte de la parte superior de la cobertura vulcanógeno-sedimentaria tiene otra constitución.

Por encima de las tobas y calizas del Albiano-Cenomaniano yacen las vulcanitas, las tobas, calizas y las rocas terrígenas del Santoniano-Maestrichtiano (Formaciones Cotorro y Carlota). Luego yacen en forma transgresiva las areniscas, margas y calizas del Maestrichtiano Superior.

En los cortes de las escamas ofiolíticas que se hunden hacia el sur por debajo de la serie vulcanógeno-sedimentaria cretácica de la zona Zaza, los basaltos y diabasas de la Fm. Zurrupandilla se cubren tectónicamente por las tobas andesítico-basálticas del Albiano-Cenomaniano de una gran potencia (Fm. Mataguá). Su potencia es dos o tres veces superior a la potencia de las tobas análogas, que yacen sobre la Fm. en Zurrupandilla en las sinformas de Santa Clara y Falcón.

La zona Zaza que se desarrolla más al sur, abarca toda la parte axial de la Isla de Cuba. La zona está constituida por rocas vulcanógeno-sedimentarias de edad cretácico inferior-superior. En sentido estructural ella constituye una enorme sinforma asimétricamente estructurada, complicada en algunos lugares por estructuras de sinforma y antiforma menores y por deformaciones de sobrecorrimento a lo largo de un sistema de fallas transformantes de dirección nordeste. Su límite norte está constituido por un plano de falla de compleja configuración por el cual las rocas vulcanógeno-sedimentarias de la zona Zaza sobrecorren en distintos lugares los elementos estructurales de la sutura ofiolítica principal. Entre Camagüey y Santa Clara, el plano de esta falla está deformado en un sistema de sinformas y antiformas relacionadas entre sí en forma de coulisses, que se hunden bruscamente por debajo de los paquetes vulcanógeno-sedimentarios de la zona Zaza. En la provincia de Santa Clara y más al occidente, en la región Habana-Matanzas, esta falla poco a poco se hace vertical y después comienza a tener un buzamiento inverso, como resultado de lo cual las rocas de la sutura ofiolítica principal se vuelcan hacia atrás y en forma de pliegues acostados se colocan sobre los complejos vulcanógeno-sedimentarios de la zona Zaza (Mossakovski, Albear, 1978)

Los resultados del sondeo sísmico (Bovenko y otros, 1978) señalan que la zona Zaza se caracteriza por tener una potencia inestable de la corteza Terrestre (20-30 Km) con predominio en su composición de las rocas de la capa "basáltica" (hasta 20 Km) y por la capa "granítica" bruscamente reducida e inestable, con potencia de 3.5-8 Km).

Según las características de las velocidades y propiedades de la densidad de la capa "basáltica" de la corteza terrestre, esta zona puede ser comparada con las anfibolitas, eclogitas y otras rocas metamórficas melanocráticas, que se encuentran en forma de inclusiones en las ultrabasitas de la Sutura Ofiolítica Principal y también con las rocas metamórficas melanocráticas de los complejos de Mabujina y Yayabo (Bovenko y otros, 1978). Las velocidades límites de la capa "granítica" aquí (6.2-6.3 Km/seg), en general son más altas que las velocidades habituales para la corteza terrestre de tipo continental (5.5-6.3 Km)). En una serie de lugares donde la superficie de esta capa está a menor profundidad (3.5 Km) se cortaron mediante pozos de rocas intrusivas de composición básica. Estos materiales permitieron a los investigadores (Echevarría et. al, 1974; Bovenko et. al., 1978) suponer, que algunas partes de la corteza, en el flanco occidental, la zona (costa sur de Cuba occidental-golfo de Batabanó) posee un corte de tipo suboceánico.

Todo esto diferencia las estructuras de la zona Zaza de las estructuras que la limitan al norte (región del margen continental) y los complejos que yacen sobre ella en el alóctono de la sutura ofiolítica principal y permite concluir (Mossakovski et. al., 1986) que esta zona se formó sobre el basamento máfico metamorfozado de edad pre-mesozoico tardío, cuyos fragmentos fueron sacados a la superficie en los bloques tectónicos que se sitúan en la zona de articulación con las estructuras del macizo Escambray (complejos metamórficos de Mabujina y Yayabo) y en forma de inclusiones en las ultrabasitas de la sutura ofiolítica principal.

Un poco mas al este se desarrolla la zona de Auras la cual posee una estructura escamosa de mantos, donde se imbrican las rocas de la asociación ofiolítica y del arco volcánico cretácico; estos mantos están sobrecorridos de sur a norte sobre las rocas de la zona Remedios (Gibara). Aquí se destacan tres complejos alóctonos independientes (o unidades estructurales).

El complejo inferior incluye un sistema de escamas descritas de forma detallada por M.T. Kozary (1968) constituidas por las rocas vulcanógeno-sedimentarias de la Fm Iberia, por el paquete de

olistostromas de Yaguajay y por las ultrabasitas serpentinitizadas y tectonizadas, que en ocasiones se convierten en melange.

El complejo alóctono medio está formado por una escama potente de ultrabasitas serpentinitizadas y tectonizadas en diferente grado. Las ultrabasitas se recubren por los macizos de calizas de Tinajita, expresados claramente en el relieve en forma de colinas.

El complejo alóctono superior, que ocupa la parte sur de la zona de Auras, está formado en la base por serpentinitas con cuerpos de gabro-diabasas y rocas del complejo cumulativo, de composición básica y ultrabásica, las cuales se recubren por el paquete terrígeno de la Jíquima, el que a su vez, se sustituye poco a poco por el paquete de olistostromas de Haticos.

La Fm. Iberia está constituida principalmente por secuencias piroclásticas (tobas y aglomerados de composición básica y media con horizontes de andesitas, andesito-basaltos, basaltos y diques de diabasa). En cantidad subordinada se encuentran areniscas tobáceas y vulcanomícticas, conglomerados y calizas. Las calizas contienen fauna del Albino-Cenomaniano y Turoniano.

En la composición de la formación entran la asociación carbonatada La Morena (Albiano-Turoniano), las calizas pelágicas de Lindero (Campaniano-Maestrichtiano), las calizas de aguas someras organógeno-detríticas y ofiolíticas de Tinajita (Campaniano-Maestrichtiano) y también la asociación terrígena La Jíquima, aunque la pertenencia de las dos últimas unidades a la Fm. Iberia es objeto de discusión, debido a la asociación de las calizas de Tinajita a las ultrabasitas del complejo alóctono medio, lo cual la aísla estructuralmente de la Fm. Iberia, cuyo campo principal de desarrollo está asociado al complejo alóctono inferior. Así mismo se encuentra separada de la Fm. Iberia la asociación terrígena de La Jíquima, la cual participa en la estructura de las escamas tectónicas de la unidad estructural superior.

Las rocas terrígenas de la Fm. La Jíquima se encuentran estructuralmente por encima de las escamas de ultrabasitas. Ellas están representadas principalmente por areniscas vulcanomícticas, con paquetes flyschoides de rocas arenisco-limolíticas interestratificadas. La potencia de la Fm. es de 300 m y más y su edad es Campaniano-Maestrichtiano, es decir, la misma que tiene la parte superior de la Fm. Iberia y las calizas de Tinajita. Todo esto señala que durante el Cretácico Tardío, en la zona de Auras, existían situaciones estructuro-faciales variadas, las cuales determinaron en algunos lugares la acumulación de calizas de aguas someras de Tinajita directamente sobre los salientes elevados del fundamento melanocrático, mientras en otros lugares ocurría la formación sobre el mismo fundamento ultrabásico, de las series vulcanógeno-sedimentarias oceánicas o de arco insular (Fm. Iberia) o de las series terrígenas flyschoides de tipo de mar marginal (Fm. La Jíquima).

En la composición de los complejos alóctonos de la zona de Auras y en particular de algunas escamas tectónicas que la componen, han tenido un amplio desarrollo los complejos caóticos (melange y olistostromas).

El melange de Yaguajay es una formación caótica constituida por bloques de entre 1 a 10 m de serpentinitas, gabros, gabro-diabasas, diabasas, vulcanitas de la Fm. Iberia y calizas de Lindero y Tinajita. Los afloramientos de Yaguajay se encuentran a lo largo del contacto de las rocas de la Fm. Iberia y de las serpentinitas. Al mismo tiempo, su potencia varía de algunos metros hasta 1 kilómetro. El paquete se encuentra muy tectonizado, lo que sirvió como base para relacionarlo con el melange.

Sin embargo, en algunos lugares se observa la matriz terrígena. Esto permite relacionar a Yaguajay como un olistostroma tectonizado. Teniendo en cuenta su posición en la estructura escamada entre las rocas de la Fm. Iberia y las serpentinitas, se puede suponer que las formaciones olistostrómicas culminan el corte de la Fm. Iberia y se recubren tectónicamente por las serpentinitas. La edad de las formaciones caóticas es, con toda probabilidad, Maestrichtiano-Paleoceno.

La Fm. Háticos también está representada por formaciones caóticas, en las cuales el papel esencial lo juegan las brechas sedimentarias, los conglomerado-brechas mal seleccionados y débilmente estratificados. Entre los fragmentos predominan las diabasas, las gabro-diabasas, los microgabros, las doleritas y las serpentinitas. Las brechas son monolíticas, pero los fragmentos de rocas magmáticas son diferentes, según sus particularidades estructurales y texturales. Las brechas que contienen fragmentos de rocas vulcanógenas se encuentran raramente. Las dimensiones predominantes de los fragmentos es de 1 a 10 m, pero hay fragmentos más gruesos, bloques y olistolitos grandes de diabasas, gabro-diabasas, serpentinitas y de brechas serpentínicas. En algunos cortes que presentan intercalaciones de lentes de areniscas, tobas y rocas carbonatadas, se observa claramente la estratificación.

La Fm. Háticos de acuerdo con su posición estratigráfica, se relaciona al Paleoceno inferior.

Bloque Cortical Nororiental

Zonas estructuro faciales de Nipe Cristal y Moa Baracoa

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 sobrecorrimentos 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.

La zona de Nipe-Cristal-Baracoa posee una estructura compleja. Aquí se destacan una serie de complejos alóctonos y para-autóctonos, formados por la serie vulcanógeno-sedimentaria cretácica y la asociación ofiolítica, que incluye los macizos de rocas ultrabásicas y gabroides más grandes de Cuba (Adamovich y Chejovich, 1964).

De acuerdo con sus características estructurales, esta zona representa una antiforma enorme débilmente combada en dirección sublatitudinal.

El núcleo de la antiforma está constituido por una serie vulcanógeno-sedimentaria del Cretácico

inferior-superior, la cual puede considerarse como para-autóctono y los flancos, por los macizos de rocas ultrabásicas, de gabros y formaciones metamórficas.

La serie vulcanógeno-sedimentaria cretácica de la zona de Nipe-Cristal-Moa-Baracoa está formada por andesitas, basaltos, dacitas, tobas estratificadas, tufitas, toba silicitas, con horizontes de diabasas, aglomerados, conglomerados y capas de calizas de poco espesor.

En dependencia de la presencia de las vulcanitas de composición ácida y del grado de metamorfismo de las rocas, en la serie vulcanógeno-sedimentaria examinada se destacan una serie de formaciones. Sus cortes, desarrollados hacia la parte nordeste del macizo ultrabásico de Sierra del Cristal y que contienen vulcanitas de composición ácida, se agrupan en la Fm. Santo Domingo de edad Albiano-Turoniano. Las vulcanitas básicas y medias y las rocas sedimentarias que se les subordinan del Albiano-Cenomaniano, que se distribuyen en la parte sudeste de este mismo macizo ultrabásico, fueron denominados también como Fm. Santo Domingo (Iturralde-Vinent, 1976).

Los análogos metamórficos, de estas rocas vulcanógeno-sedimentarias, que se encuentran al sur del macizo ultrabásico de Moa-Baracoa, fueron agrupados en la Fm. La Farola o Sierra del Purial (Cretácico Inferior-Cretácico Superior), incluyendo el Campaniano. Su potencia se calcula en 1000 m.

El complejo para-autóctono Cretácico descrito, se recubre tectónicamente por los macizos alóctonos de las rocas ultrabásicas de Moa-Baracoa en la parte oriental y de la Sierra Cristal en la parte occidental, también se recubre estratigráficamente (conjuntamente con las rocas ultrabásicas del macizo de Moa-Baracoa) en la región de Sagua de Tánamo, por una serie terrígena (formaciones La Picota y Mícara) de edad Maestrichtiano-Paleógeno.

En la base de la serie terrígena Maestrichtiano-Paleógeno están desarrollados los conglomerados mal seleccionados, abigarrados, muy potentes y las brechas y conglomerados de tipo basal. Ellos están compuestos de fragmentos de las rocas del complejo vulcanógeno-sedimentario subyacente y también de gabros, serpentinitas, dioritas y calizas. La composición de los guijarros de los conglomerados varía bruscamente en dependencia de la composición de los depósitos subyacentes. Por ejemplo, a lo largo del extremo occidental del macizo ultrabásico-gábrico de Moa, en las capas basales, predominan los fragmentos de las rocas del macizo, aunque el espectro general de los cantos se mantiene polimíctico.

Este tipo de capas basales habitualmente se distingue bajo el nombre de Fm. La Picota, aunque algunos investigadores (Cobiella, 1974) utilizan este nombre para las formaciones olistostrómicas caóticas, desarrolladas en el mismo complejo terrígeno.

La parte superior de la serie terrígena posee una composición flyschoide, arenosa, limolítica, pero además contiene numerosos horizontes de formaciones de deslizamiento submarino (turbiditas y olistostromas) y paquetes característicos de turbiditas tobáceas. Ella se distingue frecuentemente bajo el nombre de Fm. Mícara.

Entre las formaciones de olistostromas a su vez, se distinguen los endoolistostromas, que están compuestos de productos del deslizamiento submarino de las rocas terrígenas de la Fm. Mícara, y los exoolistostromas, que poseen una composición serpentinitica y gabro-diabásica de los olistolitos.

Los paquetes gris azulosos, característicos de las turbiditas tobáceas, están formados casi completamente de fragmentos de rocas serpentinizadas y se caracterizan por la frecuente estratificación gradacional. Con ellos se encuentran relacionadas las intercalaciones de tobas y de lentes de material vulcanógeno, de composición ultrabásica. En dirección occidental, hacia el macizo alóctono de rocas ultrabásicas de la Sierra del Cristal, la cantidad y la potencia de los paquetes de turbiditas y de exolistostromas aumentan bruscamente y aparecen los horizontes y lentes de lava-brechas de composición ultrabásica.

En el extremo oriental del macizo de Sierra del Cristal, ellos sustituyen paulatinamente los depósitos de fondo de la Fm. Mícara y se “intercalan” con los potentes cuerpos de las rocas ultrabásicas.

Algunos investigadores (Pavlov y otros, 1973) consideran los macizos alóctonos de rocas ultrabásicas de Sierra del Cristal y Moa-Baracoa, como un cuerpo intrusivo único con forma de lacolito, explicando las diferencias en sus estructuras por tener diferentes cortes de erosión.

En el macizo de Moa-Baracoa, cuya naturaleza alóctona no se pone en duda, predominan las harzburgitas, dunitas, wherlitas, lherzolitas, lherzolitas de plagioclasa, piroxenitas y la asociación de gabro-troctolita (o sea, las rocas de una serie relativamente algo “ácida”); están también desarrolladas las menas cromíticas del tipo aluminico alto.

Las rocas ultrabásicas y básicas forman la escama tectónica superior, mientras que la escama tectónica inferior, cuyo corte se abre los ríos Quiviján y Jojo, está formada según los datos de A. L. Knipper (1975) por basaltos esferoidales toleíticos y por rocas silíceas de edad Cretácica, de una potencia de algunas centenas de metros. La composición y secuencia de las rocas que forman estas dos escamas tectónicas, que conforman el macizo de Moa-Baracoa, recuerdan un corte invertido de la asociación ofiolítica del mesozoico tardío, incluyendo el fundamento melanocrático y la Corteza Oceánica.

El macizo recubre tectónicamente las formaciones vulcanógeno-sedimentarias metamorizadas de la Fm. La Farola y, al mismo tiempo, se encuentra recubierto de forma transgresiva por la Fm. maestrichtiano-paleocena de Mícara, lo que permite fijar la edad del sobre corrimiento como pre-maestrichtiano (Knipper, 1975).

Según Mossakovski y otros, (1989) en el macizo de Sierra Cristal no hay rocas características para la parte superior de la asociación ofiolítica.

Ellos señalan que el macizo está constituido por las harzburgitas, el complejo bandeado de dunita-harzburgitas y también las menas de espinelas cromíferas con alto contenido de cromo, mientras que otros autores reportan el desarrollo de la serie de diques paralelos de gabrodiabasa (Fonseca, 1985).

Por otra parte, es un hecho que la naturaleza alóctona del macizo está expresada claramente sólo en la parte oriental del mismo, mientras que en su parte occidental, según los datos geofísicos, se puede suponer una raíz profunda (o un canal conductor), como consideran N.V. Pavlov y otros (1973), los que mantienen el punto de vista de la naturaleza intrusiva de los macizos ultrabásicos.

Efectivamente, las anomalías gravitacionales intensas, positivas, que alcanzan 150-180 mgal, testimonian sobre la potencia considerable de las hiperbasitas en la parte occidental del macizo y

sobre su continuación debajo de las depresiones de Cauto-Nipe. La potencia de las ultrabasitas, según diferentes cálculos, se valora en 4-12 Km sobre el fondo de la potencia bruscamente reducida de la Corteza en esta parte oriental de Cuba de hasta 4-16 Km.

Todo esto permitió suponer a Mossakovski y otros (1989), la existencia de un diapiro del Manto en la base de la parte occidental del macizo de Nipe-Cristal (fig. No.). Según estos autores, el proceso de formación de las rocas del macizo de la Sierra de Nipe-Cristal no fue simultáneo. La parte sudoeste del macizo (Pinares de Mayarí) posee una edad precampaniano, es decir, aquí las ultrabasitas se recubren erosionalmente por los conglomerados campaniano-maestrichtianos de La Picota. Sin embargo, en la parte oriental del macizo, al lado de las rocas precampanianas, está evidentemente desarrollada la asociación vulcanógeno-plutónica del Maestrichtiano-Paleoceno, más joven, sobre lo que atestiguan los horizontes singenéticos de lava-brechas ultrabásicas y tobas en partes de la Fm. Mícara adyacentes al macizo; consecutivamente, la posición alóctona de esta parte fue provocada por los bajos corrimientos tectónicos más jóvenes, del Eoceno-medio-tardío. De este modo, se puede suponer fundamentalmente, que el proceso de formación de los sobrecorrimientos en la zona Nipe-Cristal-Moa-Baracoa fue muy activo y bastante dilatado, abarcando el intervalo de tiempo entre el Campaniano y el Eoceno medio.

Metaofiolitas de Cuba Central

Las metaofiolitas del macizo del Escambray están representadas por lentes de antigoritas, entre las rocas metamórficas de la parte periférica del domo del Escambray y entre las anfibolitas de Mabujina. Su posición estructural sugiere que ellas son, como las rocas metamórficas encajantes, los fragmentos del basamento de las zonas del Escambray y Zaza y son muy probablemente de edad pre-mesozoica. Al mismo tiempo no puede ser excluido que partes de ellas pueden considerarse miembros de la serie ofiolítica mesozoica, cuya formación se relaciona con procesos destructivos en el margen continental de Sur América.

En opinión de Mossakovski y otros (1980) las rocas de la serie de metamorfismo regresivo en los fragmentos del basamento cristalino siálico del macizo del Escambray (esquistos Algarrobo y posiblemente La Gloria) y las del basamento metamórfico plegado melanocrático de la zona Zaza (anfibolitas Yayabo), han sido expulsadas como escamas tectónicas en la porción periférica de la antiforma del Escambray tectónicamente están sobrecorridas sobre las rocas de altas presiones y metamorizadas repetidamente en las facies glaucofánicas de esquistos verdes. Esta interpretación permite referir los esquistos Algarrobo a una Fm. muy antigua, posiblemente del pre-cámbrico. Las anfibolitas Yayabo por su parte son probablemente de edad Paleozoico al Mesozoico temprano. De acuerdo con algunos autores (Somin y Millán, 1981; Dobretsov et. al., 1987; Dobretsov y Dobretsova, 1989). Las rocas intensamente metamorizadas de la parte exterior de la antiforma del Escambray son similares al complejo Francisco y deben ser interpretadas como melange y olistostromas, cuya matriz arenosa se correlaciona con la Fm. San Cayetano del Jurásico inferior-medio.

La edad de las eclogitas y otras rocas de alta temperatura según su opinión, es similar o más antigua que la edad de la matriz del olistostroma y el límite superior de su metamorfismo es el Maestrichtiano.

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.

El complejo metamórfico Mabujina se desarrolla adyacente al norte de las capas metaterrígeno-carbonatadas de la antiforma del Escambray. Este complejo ha sido caracterizado muy completamente por Somin y Millán (1972, 1981) y por I. Boyanov et. al., (1975). De acuerdo con estos autores, el complejo está representado principalmente por anfibolitas y en forma subordinada por neises biotito-anfibólicos y biotito-granatíferos. De acuerdo con Boyanov et. al., (1975) los neises constituyen una capa independiente. Los neises plagiograníticos y los plagiogranitos con ellos, ocurren exclusivamente dentro de las capas de neises de forma concordante y están cortados por diques de anfibolitas. L.V. Somin mediante el método termo- isocrónico plomo-plomo ha determinado la edad de cristalización de los grabroides como 480 ± 3 m.a. y de los procesos secundarios como 100 ± 50 m.a.. La edad de las anfibolitas ha sido determinada por el mismo método y arroja un valor de 530 m.a. (Somin et. al., 1985). Se realizaron determinaciones por el método de potasio-argón que dieron una serie de valores oscilando entre 60 y 89 m.a. De esta forma se ve que la edad de las anfibolitas de Mabujina es muy problemática. Un grupo de autores considera que estas anfibolitas representan una contraparte del grupo cretácico del Arco de Islas Zaza (Somin y Millán, 1981). En opinión de Boyanov et. al., (1975) el complejo Mabujina es de edad paleozoica.

Los datos geoquímicos disponibles del complejo Mabujina muestran como una característica de los componentes de sus metabasitas, un elevado radio Zr/Y y altos contenidos de Cr y Ti y, por lo menos en algunas de ellas, altos contenidos de Y. Esto permitió surgir a Mossakovski y otros (1989), que la metabasitas de Mabujina se pueden correlacionar con basaltos intraplacas, que difieren tanto de los basaltos calco-alcalinos cretácicos del Arco de Islas de la parte axial de Cuba, como de los basaltoides del cinturón ofiolítico principal de Cuba. Estos datos por tanto permiten considerar que las anfibolitas de Mabujina, más que partes metamorizadas de las rocas volcánicas cretácicas de Zaza son, probablemente, un bloque del basamento metamórfico plegado pre-mesozoico de la Zona Zaza. Muy probablemente estas rocas son de edad paleozoica, tal y como fue asumido por Boyanov et. al., (1975). Esto se confirma también por la datación termoisocrónica plomo-plomo de las anfibolitas y los plagiogranitos sinmetamórficos.

También las rocas metamórficas que aparecen como inclusiones en las serpentinitas del cinturón ofiolítico principal de Cuba, tienen una composición excepcionalmente constante y pueden correlacionarse completamente con las rocas altamente metamorizadas de la antiforma del Escambray y el complejo Mabujina. Todo esto surge el origen común de estas rocas y con firma una vez su pertenencia al basamento melanocrático pre-mesozoico.

Metaofiolitas de Guira de Jauco

En la parte oriental de Cuba no se distingue una zona independiente de rocas metamórficas mesozoicas, semejantes a la zona que se desarrolla en la parte sur del segmento central de Cuba. Sin embargo, aquí se desarrollan también complejos metamórficos, pero en forma de afloramientos aislados, descubriéndose en las ventanas tectónicas o formando escamas tectónicas entre las ultrabasitas y la serie vulcanógeno-sedimentaria cretácica. Por ejemplo, las series de Asunción y Güira de Jauco y también la formación de La Corea.

La mayoría de los complejos metamorizados, conocidos en la parte más oriental de Cuba, están en las montañas de la Sierra del Purial. Aquí, en una ventana tectónica, por debajo de la Fm.

vulcanogéno-sedimentaria alterada a rocas verdes, del cretácico tardío (Fm. Purial), se abren en el siguiente orden, de la parte occidental a la oriental: las ofiolitas metamorfizadas, de la serie Güira de Jauco y la serie de Asunción (Somin y Millán, 1981). Las ofiolitas están representadas por serpentinitas, diabasas, microgabros y blastomilonitas, que contienen asociaciones minerales de altas presiones (Boiteau y otros, 1972). La serie de Güira de Jauco está constituida por anfibolitas y plagiogneises con cuerpos de hornblenditas, gabro-anfibolitas, harzburgitas serpentinitizadas e interrelaciones de metasilicitas. Somin y Millán comparan las anfibolitas de Güira de Jauco con las anfibolitas de Mabujina, pero su edad radiológica aquí es sin lugar a dudas mesozoica ($73,2 \pm 6$; $75,4 \pm 3,4$; 65 mil/años método K-Ar) mientras que la edad de las anfibolitas de Mabujina es más discutible (Somin y otros, 1985).

Las ofiolitas de Güira de Jauco se encuentran subrecorridas sobre la serie metamorfizada de Asunción, la cual se divide en dos formaciones (Somin y Millán, 1981): Sierra Verde en la parte occidental y Chafarina en la parte oriental. La primera Fm. está constituida por esquistos sericiticos, filitas con interrelaciones de metasilicitas, calizas cristalizadas y tobas alteradas a rocas verdes de composición básica y media y cuerpos de diabasas y basaltos. En las calizas se encuentran Calpionélidos, Nannoconus y Radiolarios recrystalizados, los cuales permiten datar esta Fm. como Tithoniano-Cretácico temprano. La Fm. Chafarina contiene los mármoles de dolomita y de calcita con contenidos de grafito, micas y bitúmenes e intercalaciones de metasilicíticas. La microfauna encontrada permite asignarle una edad de Jurásico tardío.

Las ofiolitas de Güira de Jauco sufrieron metamorfismo durante la colisión del arco de islas volcánico del Cenozoico sobre los fragmentos del microcontinente representados aquí por la serie metamorfizada de Asunción.

CONCLUSIONES

Todos los diferentes tipos litológicos de corteza oceánica en Cuba representan partes de la cuenca oceánica del proto Caribe que se desarrolló entre Norte y Sur América después de la ruptura de Pangea (Pindell, 1994; Giunta et al., 2002).

La ascensión a la esfera de erosión de los complejos de subducción ultramaficos es también es una consecuencia del cizallamiento de Cuba contra Norteamérica.

Las evidencias geológicas señalan una edad de emplazamiento de las ultramafitas que varia de las mas viejas y menos desarrolladas al Oeste hasta las mas jóvenes y mejor desarrolladas al Este (a excepción de aquellas de la región Nipe-Cristal-Baracoa, Pindell y Barrett, 1990).

Es evidente también un creciente volumen de participación de las ofiolitas en la esfera de erosión del oeste al este incluyendo tanto las del cinturón ofiolítico principal como las del bloque cortical nororiental.

La sutura de la zona de subducción de buzamiento al Sur provocó la brusca inversión de la polaridad de la zona de subducción en Cuba Central y se creó entonces una nueva zona de subducción de corta vida con buzamiento Norte que permitió la intrusión de grandes cuerpos de granitoides y el metamorfismo de subducción de las secuencias oceánicas de Mabujina y el Escambray.

Por último, Las ofiolitas de Guira de Jauco sufrieron metamorfismo durante la colisión del arco de islas volcánico del Cenozoico sobre los fragmentos del microcontinente representados aquí por la serie metamorfozada de Asunción.

BIBLIOGRAFIA

- ALBEAR J.F., PIOTROWSKI J. El Enclave Yesífero de San Adrián, Cuba. Observaciones sobre su Evolución Geólogo-Tectónica. Ciencias de la Tierra y del Espacio. No. 9. p. 17-30.
- ANDERSON T.H., SCHMIDT, V.A. The evolution of middle America and the gulf of México-Caribbean region during Mesozoic time. Bull. Geol. Soc. Amer. Vol. 94. 941-966.
- BOITEAU A., MICHARD, P. SALIOT. 1972. Metamorphisme de haute pression-dans le complexe ophiolitique du purial (Oriente, Cuba. Cr. Acad. Sci. D. Tomo 274. p. 2137-2140.
- BOVENKO, V.G., B. YE SCHERBAKOVA and G. HERNANDEZ. 1978. Relationship of the geological structure and the Earth's crust structure within western Cuba. Sov. geologiya No. 6, 117-128 (In Russian).
- BOVENKO, V.G., B. YE SCHERBAKOVA and G. HERNANDEZ. 1980. Nuevos Datos Geofísicos sobre la Estructura Profunda del Este de Cuba. Sov. Geologiya No. 9, 101-109.
- BOYANOV, I.G., GORANOV and R. CABRERA. 1975. Algunos nuevos Datos sobre Geología de los Complejos de Anfibolitas y Granitoides en la parte Sur de Las Villas. La Habana. Serie Geol. 15 p.
- BUSH, V. A., and I.N. SCHERBAKOVA. 1986. New data on the deep-seated tectonic structure of Cuba. Geotektonika No. 3. 25-41 (in Russian).
- BUSHNEBKAYA, B.C. y CHEJOVICH, B.D. 1985. Revista Cuestiones Micropaleontológicas No. 27. p. 201-203.
- CABRERA, R., D. CHUNEV, C. YANEV, TZ. TZANKOV. 1981. Geología y Vulcanismo de la Zona Zaza en la provincia de Camaguey-Las Tunas. 1er Simposio Soc. Cubana de Geología. p. 11-12.
- CABRERA, R.J. LÓPEZ KRAMER, G. PANTALEÓN, 1984. Vinculación del Magmatismo y los Yacimientos Minerales de Cuba con los Procesos Tectónicos. Ciencias de la Tierra y del Espacio No. 9. p. 47-57.
- CASSARD, D., NICOLAS, A., RABINOWICZ, M., MONTE, J., LEBLANC, M. Y PRINZHOFFER, A. 1981. Structural classification of chromite pds in southern New Caledonia. Econ. Geol. Vol. 76.
- CHRISTIANSEN, F. G. SC.1985. Structural classification of ophiolitic chromite deposits. Public, Metallogeny of Basic and ultrabasic rocks. 9-12 abril.
- COBIELLA, J. L. 1978. Un Melange en Cuba Oriental. Minería en Cuba. Vol. 4. No. 4. p. 46-51.
- Contribución a la Geología de la Región Oriental de Cuba (E. Nagy, A. Brito, F. Formell, et. al.) 1983. La Habana Ed. Científico-Técnico: 273 p.
- INSTITUTO DE GEOLOGIA Y PALEONTOLOGIA. 1985 Contribución a la Geología de las provincias de La Habana y Ciudad de la Habana. La Habana. Ed. Científico-Técnico; 155 p.
- INSTITUTO DE GEOLOGIA Y PALEONTOLOGIA. 1987 Contribución a la Geología de la provincia de P. del Río. La Habana Ed. Científico-Técnico: 260 p.
- DIAZ DE VILLALVILLA, L. 1988. Caracterización Geológica y Petrológica de las Asociaciones Vulcanógenas del Arco Insular Cretácico en Cuba Central. Manuscrito IGPACC. Tesis de Candidatura en Ciencias. p. 1-161.
- DIAZ DE VILLALVILLA, L., M. DILLA (1985). Proposición para una División de la llamada Fm. Tobas (provincias Cienfuegos, Villa Clara y Sancti Spiritus). Serie Geológica No. 1. CIG pp. 133-153.
- DIAZ DE VILLALVILLA, L. 1989. Características Geoquímicas de las series Volcánicas principales del Arco Volcánico Cretácico en Cuba Central. Libro de Resúmenes del 1er Congreso Cubano de Geología. p. 87-88.
- DIAZ DE VILLALVILLA, L, et al., 1990. Algunas consideraciones sobre la correlación del Arco Cretácico Cubano. Proyecto No. 165. PICG. Informe final.
- DIAZ DE VILLALVILLA, L, et al., 1992. Características principales de la actividad Volcánica del Arco Cretácico. Libro de Resúmenes de la XIII Conferencia Geológica del Caribe, p. 99-100.
- DICKEY, J.S.Jr y YODER H. S.Jr. 1972. Partitioning of chromium and aluminium between clinopyroxene and spinel. Carnegie Inst. Wash yearb 71, 384-392.
- DICKEY, J.S. 1975. A hypothesis of origin for podiform chromite deposits. Geochimica et cosmochimica. Acta. vol. 39.
- DOBRETISOV, N.L., L.V. DOBRETISOVA, G. MILLÁN AND M.L. SOMIN. 1987. Eclogites of Cuba. New data. Dokl A.N. SSSR. Vol. 292; 179-184 (in Russian).

- DOBRETISOV, N.L. Y L.V. DOBRETISOVA. 1989. Eclogites and glaucophane schists of the Urals, spitsbergen, and Cuba Island. In: Eclogites and glaucophane schists in fold regions, Novosibirsk: Nauka: 107-132 (in Russian).
- DUCLOZ C., M. VUAGNAT 1962. A propos de l'age des serpentinites de Cuba/Arch. sci. Vol. 15. fasc. 2 p. 309-332.
- EQUIPKO, O.Y., M. PÉREZ. 1976. Breves características Petrográficas y Petroquímicas de los principales tipos de rocas Magmáticas en la parte central de la Sierra Maestra. Centro Invest. Geol. Ministerio Min. Geol. Sev. Geol. No. 1 p. 17-23.
- EQUIPKO, O.Y., K. SUKAR, V. PAVLOV, M. PÉREZ, A. GURBANOV, T. SOTO 1984. Principales Particularidades de los Granitoides del engesosinclinal Cubano y sus Formaciones. Ciencias de la Tierra y del Espacio No. 9. p. 59-73.
- ESCOBAR, E. 1989. Informe Geológico y Cálculo de reservas de la Exploración detallada del Yacimiento Cromífero Camaguey II. CNFG. Inv. 3732.
- FLINT, D.E., J.F. DE ALBEAR, P.W. GUILD 1948. Geology and chromite deposits of the Camaguey district. Camaguey province Cuba. Geol. Surv. Bull. 954B.
- FONSECA, E., V.M. ZEPEUGUIN, M. HEREDIA 1984. Particularidades de la estructura de la Asociación Ofiolítica de Cuba. Ciencia de la Tierra y del Espacio No. 4.
- FONSECA, E., V.M. ZEPEUGUIN, M. HEREDIA 1985. Structural features of the ophiolitic suit of Cuba. Geotektonika. No. 4. 88-89 (in Russian).
- FONSECA, E., M. TORRES 1990. Características Geólogo-Petrológicas del contacto entre la Asociación Ofiolítica y el Arco Volcánico en Moa-Baracoa. Boletín de Geociencias.
- FONSECA, E., V. SLADKEVICH y otros 1990. Informe Final del Tema 401-12 Geología de los yacimientos Cromíferos con Evaluación Pronóstico. Archivos IGP.
- FORMELL CORTINA, F. Sobre las condiciones geodinámicas y cinemáticas del origen y evolución de Cuba. Trabajos del VI Congreso de Geología. La Habana, 2005.
- FURRAZOLA-BERMÚDEZ, G., R. SÁNCHEZ ARANGO, R. GARCÍA and G.A. BASOV, 1978. Nuevo Esquema de Correlación Estratigráfica de las principales Formaciones Geológicas de Cuba, Miner. Cuba No. 4: 36-52.
- GONZÁLEZ, R., J. RICHTER y otros 1989. Informe Final de la Búsqueda detallada de Cromitas (1985/87). Sector Cromífero Camaguey 20 Km. CNFG. Inv. 3771.
- GONZÁLEZ, R., R., JOHANES, J. PÉREZ 1990. Informe Final de la Exploración en el Yacimiento de Cromita Victoria I. CNFG. Inv. 3838.
- HACZEWSKI, G. 1976. Sedimentological reconnaissance of the San Cayetano Formation; and accumulative continental margin in the Jurassic of Western Cuba. Acta Geol. Pol. Vol. 26: 331-353.
- HATTEN, C.W., 1967. Principal fractures of Cuban geology: Discussion. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Vol. 51: 780-789.
- HAYDUTOV, I., E. KOSUJAROVA, C. CABRERA 1981. Geología del territorio Ciego-Camaguey-Las Tunas. Resultado de las Investigaciones y Levantamiento Geológico a escala 1:250 000 Tomo I. Vol. I. Cap. V. Litósfera Oceánica Antigua.
- IRVINE, T.N. 1967. Chromium spinel as a petrogenetic indicator. Canadian Journ. of Earth Scienc. Vol. 4.
- ITURRALDE-VINENT, M.A., 1975. Problemas de la Aplicación de las hipótesis tectónicas modernas a Cuba y la región del Caribe. Rev. Tecnol. Vol. 12. No. 1. p. 46-63.
- ITURRALDE-VINENT, M.A., 1976. Estratigrafía del área Calabazas. Rev. Minería. Cuba. Vol. 2. No. 4. p. 32-40.
- ITURRALDE-VINENT, M.A., 1977. Los movimientos Tectónicos de la etapa de Desarrollo Platafórmico de Cuba. La Habana. Inf. Científico-Técnico. No. 20. IGP. Acad. de Ciencias, 24 pp.
- ITURRALDE-VINENT, M.A., 1981. Nuevo modelo Interpretativo de la Evolución de Cuba. Ciencias de la tierra y del Espacio. No. 3. p. 51-89.
- ITURRALDE-VINENT, M.A., 1990. Las Ofiolitas en la Constitución Geológica de Cuba. Ciencias de la Tierra y del Espacio. No. 17. p. 8-26.
- ITURRALDE-VINENT, M.A., M. HAYDONTOV, D. TCHUNEV 1982. Zonación Tectónica del Territorio de Ciego de Avila-Camaguey-Las Tunas. Conf. IX. Jorn. Científica del IGP. (en prensa) Academia de Ciencias de Bulgaria.

- ITURRALDE-VINENT, M.A., F.O. MARRERO, 1982. La Falla Cubitas, su edad y Desplazamientos. Ciencias de la Tierra y del Espacio. No. 4 p. 47-70.
- ITURRALDE-VINENT, M.A., T.M. MORALES. 1988. Toleitas del Titoniano Medio en la Sierra de Camaján, Camaguey, posible datación de la Corteza Oceánica. Rev. Tecnol. Vol. 18. No. 1. p. 25-32.
- ITURRALDE-VINENT M.A., D. TCHOUNEV, R. CABRERA ET AL., 1981. Geología de los territorios Ciego-Camaguey_Las Tunas. Resultados de las Investigaciones y Levantamiento Geológico a escala 1:250 000 (M.S.). Archivos IGP. Academia de Ciencias de Cuba: 940 pp.
- KANTCHEV, I., I. BOYANOV, N. POPOV, ET. AL., 1978. Geología de la provincia de Las Villas (M.S.). Archivos del IGP. Academia de Ciencias de Cuba: 1480 p.
- KHUDOLEY, K.M., 1968. Geological structure of Cuba and its position in the structure of the Caribbean region. (Author's abstract of Doctor thesis. Leningrad. VSEGEI. 31 p (in Russian).
- KNIPPER, A.L., M. PUIG RIFA, 1967. Estructura Tectónica de la Sierra de los Organos y la región de Viñales y posición de sus cuerpos Serpentiníticos. Geología y Yacimientos Minerales de Cuba. M. Nauka: 34-41.
- KNIPPER, A.L. AND R. CABRERA, 1974. Tectónica y Geología Histórica de la zona de Articulación entre el Mio y el Engesosinclinal y el Cinturón Hiperbásico de Cuba. Centro Geol. Cuba. Publi. Espec. No. 2: 15-77.
- KOZARY, M.T., 1968. Ultramafic rocks in thrust zones of northwestern Oriente province, Cuba. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Vol. 52: 2298-2317.
- KRAVCHENKO, G.G., O. VÁZQUEZ. 1972. Particularidades Estructurales de Algunos Yacimientos de Cromo en Cuba. Acta No. 2. IGCP. ACC.
- KRAVCHENKO, G.G. 1985. Estructura y Perspectiva Cromífera de Algunas regiones de los Macizos Ultrabásicos de Cuba. Ciencias de la Tierra y del Espacio.
- KRITGORD, K.D., P. POPENCE AND H. SCHONTEN. 1984. Florida; a Jurassic transform plate boundary. J. Geophys. Res. Vol. 89: 7753-7772.
- KUSNETSOV, V.I., I.A. BASSOV, G. FURRAZOLA-BERMÚDEZ ET. AL., 1977. Resumen Estratigráfico de los Sedimentos Mesozoicos y Cenozoicos de Cuba. Minería Cuba. Vol. 3. No. 4 p. 17-19.
- LAGO, B.I., M. RABINOWCZ, A. NICOLAS. 1982. Podiform chromite ore bodies a genetic model. Jour of Petrology. Vol. 23 Part I.
- LANG, M., J. ULEYCH, E. PIVES, 1986. Granitoids of Central Cuba. Rozpr CSAV MPV SV 96. No. 4 S.I. 84.
- LOPEZ, G. 1984. Particularidades Tectónicas y condiciones de Formación de los Yacimientos de Petróleo y Gas en Cuba Occidental en relación con sus Grandes perspectivas Gasopetrolíferas. Anteproyecto tesis de Candidatura, 17 p.
- MAKAROV, B.I. 1986. Neotectónica de Cuba Oriental. Geotectónica No. 6 p. 85-96 y No. 2 de 1987. p. 101-109.
- MAKAROV, B.I., B.G. TRIFONOV, B.I. BOLIKOVA y otros. 1986. Alineamientos en Cuba Oriental, Ejemplo Geológico de la utilización de la Interpretación Aérea y Cósmica. Investigaciones Tierra y Cosmos No. 4. p. 75-85.
- Mapa Tectónico de Cuba, 1984. V.E. Shain, K.A. Klischev, J.L. Iparraguirre, E. García, R. Rodríguez, J.G. López, R. Socorro, J.O. López. La Habana. Centro Invest. Geol. Cubano de Geodesia y Cartografía.
- MATTSON P.H., 1977. Tectonic model of subduction, buoyant braking, flipping and subsequent transform motion in the northern Caribbean. GUA Pap. Geol. Ser. No. 9 p. 1-113.
- MATTSON P.H., 1979. Subduction, buoyant braking, flipping and strikeslip faulting in the northern Caribbean. J. Geol. Vol. 87. No. 3 p. 293-304.
- MEYERHOFF, A.A. AND C.W. HATTEN 1974. Bahamas salient of North America. Bull Amer. Assoc. Petrol. Geol. Vol 8. 1021-1034.
- MEYERHOFF, A.A., C.W. HATTEN 1968. Diapiric structure in Central Cuba. Amer. Petrol. Geol. Mem. Vol. 8. p. 1021-1034.
- MILLÁN, G., 1978. Tectonics and metamorphism of the Mesozoic strata in the Escambray Mountains (Author's abstract of Candidate thesis). Moscon Inst. of the Physics of the Earth USSR Academy of Sciences: 27 p. (in Russian).
- MILLÁN, G., R. MYCZNSKI, 1978. Fauna Jurásica y Consideraciones sobre la edad de las Secuencias Metamórficas del Escambray. Acad. Ciencias de Cuba. Informe Científico Técnico No. 80. p. 1-16.
- MOSSAKOVSKY, A.A., J.F. DE ALBEAR. 1978. Estructuras Cubiertas en el Oeste y Norte de Cuba y Historia

de su Establecimiento y significado de los olistostomas y Moladas. No. 3. p. 100-118.

- MOSSAKOVSKY, A.A., G. YE. NEKRASOV. and S.D. SOKOLOV 1986. Metamorphic complexes and the problem of the basement and alpine structures in the central segment of Cuba. *Geotektonika* No. 3; 5-24 (in Russian).
- MOSSAKOVSKY, A.A., G. YE. NEKRASOV and S.D. SOKOLOV. 1987. Tectonics of Cuba. In: *Tropical problems of the tectonics of oceans and continents*. Moscow: Nauka: 113-153. (in Russian).
- MOSSAKOVSKY, A.A., G. YE. NEKRASOV and S.D. SOKOLOV, eds. 1988. *Mapa Geológico de Cuba*. Escala 1:250 000. Moscú. IGP. Academia de Ciencias de Cuba.
- MOSSAKOVSKY, A.A., G. YE. NEKRASOV, S.D. SOKOLOV, J.R. ORO, M.V., SHAVYRINA and R.M. FLORES. 1989. Dos tipos de Complejos Ultrabásicos en la estructura de Cuba Oriental. *Geología/Geology'89*. Primer Congreso Cubano de Geología. Resúmenes. La Habana, 91-92.
- MURASHKO, V.I., E. ESCOBAR, L. GONZÁLEZ 1985. Informe de los Trabajos Complementarios de la Exploración Detallada del Yacimiento de Cromita Camaguey II. Categoría de Reserva. C. CNFG. Inv. 3349.
- MYCZYNSKI, R. 1976. A new ammonite fauna from Oxfordian of the Pinar del Río province, western Cuba. *Acta. Geol. Pol.* Vol. 26 No. 3 p. 261-298.
- NEKRASOV, G. YE., J. ORO, S.D. SOKOLOV, R. FLORES, M.V. SHAVYRINA. 1989. Ophiolites of Eastern Cuba. *Geotektonika* No. 1 p. 80-95 (in Russian).
- NICOLAS, A., M. RABINOWICZ. 1984. Mantle flow pattern at oceanic spreading centres: relation with ophiolitic and oceanic structures. *Special Public. Geol. Society of London*.
- NUÑEZ JIMENEZ, A. ANDREU, A.S. BOGATITIOV, I.P. NOVOJASKY and C.M. JUDOLEY, eds. 1962. *Mapa Geológico de Cuba*. Escala 1:100 000. La Habana. Inst. Cub. Rec. Minerales.
- ORTEGA-GUTIERREZ F. 1981. Metamorphic belts of southern Mexico and their tectonic significance. *Gol. Intern.* Vol. 20. No. 3. p. 177-202.
- OTHON, J.P. and V.A. YARMOLINK, eds. 1985. *Mapa Geológico de Cuba*. Escala 1:500 000. Leningrado. Centro de Investigaciones Geológicas. MINBAS de Cuba.
- PARDO G. 1966. Stratigraphy and structure of Central Cuba: (Abstr). *N. Orlean. Geol. Soc. Log.* Vol. 6. No. 12. p 1-112.
- PARDO G. *Geology of Cuba. The ocean basins and margins*. N.Y. L. 1995. Vol. 3. p. 553-615.
- PAVLOV, N.V., I.I. GRIGORIEVA and M. MUÑOZ-URBINA. 1973. Chromite-bearing ultrabasic rocks of Cuba. *Geology and mineral deposits of Cuba*. Moscow: Nauka; 157-225. (in Russian).
- PARASKEVOPOULOS, G.M., M.I. ECONOMOU 1986. On the origin of chromite ores of the Vourinos ophiolite complex Greece. *Newves Jahrbuch Miner. ABH.* 154. 2.
- PEARCE, J.A., J.S. LIPPARD, S. ROBERTO 1984. Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. *Sepecial Public. V.* 16 7A-94.
- PERFIT, M.R., B.C. HEEZEN. 1978. The geology and evolution of the Cayman trench. *Bull. Geol. Soc. Amer.* Vol. 89. p. 1155-1174.
- PIOTROWSKA, K. 1975. The nappe development in the Sierra de los Organos (Cuba). *Bull. Acad. pol. sci. Ser. sic. terre.* Vol. 23 No. 1. p. 43-52.
- PIOTROWSKA, K. 1976. Outline of tectonics of the Pinar del Río province (Cuba). *Ibid.* Vol. 24 No. 3/4. p. 183-191.
- PIOTROWSKA, K. 1978. Nappe structures in the Sierra de los Organos Western Cuba. *Acta geol. pol.* Vol. 28. No. 1. p. 97-170.
- PIOTROWSKA, K., A. PSZCZOLKOWSKI, J. PIOTROWSKI et al., 1981. *Texto Explicativo al Levantamiento Geológico de la provincia de Matanzas a escala 1:250 000* (inédito). La Habana. Archivos IGP. Acad. Ciencias de Cuba. 1247 pp.
- PIOTROWSKI, J. 1976. First manifestations of volcanism in the Cuban geosyncline. *Bull Acad. Polonia sci. Ser. sic. terre.* Vol. 24 No. 3/4. p. 227-234.
- PSZCZOLKOWSKI, A. 1976. Nappe structure of Sierra del Rosario (Cuba) Vol. 24. No. 3/4 p. 205-215.
- PSZCZOLKOWSKI, A. 1978. Geosynclinal sequences of the Cordillera de Guaniguanico in Western Cuba, their lithostratigraphy, facies development and paleogeography. *Acta geol. pol.* Vol. 28 No. 1. p. 96.

- PSCZOLKOWSKI, A. 1982. Cretaceous sediments and paleogeography in the western part of the Cuban miogeosyncline Vol. 32 No. 1/2. p. 135-161.
- PSZCZOLKOWSKI, A. 1986. Megacapas del Maestrichtiano en Cuba Occidental y Central. Bull. Acad. pol. sci Ser. sci. terre. Vol. 34. No. 1 p. 81094.
- PSZCZOLKOWSKI, A., R. FLORES. 1986. Fases Tectónicas del Cretácico y del Paleógeno en Cuba Occidental y Central. Ibid. Vol. 34. No. 1. p. 95-111.
- PSZCZOLKOWSKI, A., K. PIOTROWSKA, R. MYCZYNSKI. et al. 1975. Texto Explicativo al Mapa Geológico a escala 1:250 000 de la provincia de Pinar del Río (inédito) La Habana. IGP. ACC. 489 pp.
- PUSHCHAROVSKY, YU. M. ed 1989. Tectonic Map of Cuba 1:500 000. Geological Institute, USSR Academy of Sciences. Institute of Geology and Paleontology. Cuba Academy of Sciences-Vinnitsa: GUGK SSSR (in Russian).
- PUSHACHAROVSKY, YU M., J.F. DE ALBEAR. 1974. Mapa Tectónico de la región del Caribe a escala 1:7500 000. Contr. Geol. Cuba. Publ. Esp. No. 2. p. 17-120.
- PUSHACHAROVSKY, YU. M., A.L. KNIPPER and M. PUIG RIFÁ. 1967. Tectonic map of Cuba. In Geology and mineral deposits of Cuba. Moscú. Nauka, 7-31 (in Russian).
- PUSHACHAROVSKY, YU. M., A.A. MOSSAKOVSKY, G. YA. NEKRASOV et al. 1989. Tectonics of the Republic of Cuba (Explanatory note to the 1:500 000 Tectonic Map of Cuba. Moscow: Nauka. 79 p. (in Russian).
- PUSHACHAROVSKY, YU. M., A.A. MOSSAKOVSKY, G. YE. NEKRASOV, S.D. SOKOLOV, R. FLORES, F. FORMELL AND R. CABRERA. 1989. Problemas de la Geodinámica de Cuba. Geología/Geology/89. Primer Congreso Cubano de Geología. Resúmenes. La Habana. 108-109.
- RABINOWICZ, M., G. CELENEER AND A. NICOLÁS 1987. Metasomatism and flow in mantle diapirs below spreading centers: evidence from the Oman ophiolite. Journ of Geophys. Research. Vol 92. No. 88. p. 3475-3486.
- RABINOWICZ, M., A. NICOLAS, AND J.L. VIGNERESSE 1984. A rolling mill effect in the asthenosphere beneath oceanic spreading centers. Earth Planet Sci. Lett 67, 97-108.
- RENZ, H.H. 1948. Stratigraphy and fauna of the Agua Salada Group, State of Falcon, Venezuela. Bull Geol. Soc. Amer. Vol. 39 No. 1. p. 1-219.
- RIABUKHIN, A.G. V.D. CHEKHOVICH, L.P. ZONESHAYN and V. YE KHAIN. 1983. Evolution of the Mexican Caribbean region. Geotektonika No. 6: 73-92 (in Russian).
- PIGASSI-STUDER D. 1961. Quelques nouvelles sur la géologie Cubana. Chron mines et rech minière. No. 302. p. 107-120.
- ROBERTS, S. 1988. Ophiolitic chromitite formation, a marginal basin phenomenon? Economic Geology. Vol. 83.
- RUTTEN L.M.R., 1936. Geology of the northern part of the province Santa Clara, Cuba. Geogt. Geol. med. physiogr. geol. recks. No. 11. p. 207-224.
- SAUNDERS, A.J., N.G. MARHS, D.A. WOOD. 1980. Ophiolites as oceanic crust or marginal basin crust, a geochemical approach. Proc. Intern. Ophiolite symposium. Geol. Surv. Dept. Nicosia. Cyprus, 193-204 pp.
- SEMIONOV, Y.L. 1968. Los yacimientos cromíticos de Cuba. Rev. Tecn. 3-4 May-Jun-Jul-Agost- CDU. 605.
- SHEIN V.S., S.S. IVANOV, V. YE. KHAIN, K.A. KLESHCHIOV, M. MARRERO and R. SOCORRO. 1978. Tectonics of Cuba and its shelf. Sov. geologiya. No. 2. 104-119 (in Russian).
- SIMÓN MENDEZ, A. 1984. Algunas ideas sobre la Evolución Geológica del Archipiélago Cubano. Ses. Ctfica. Anivers. Soc. Cub. Geología.
- SOLOVIEV, O.N., SKIDAN S.A., PANKRATOV, A.P. SKIDAN I.K. 1964. Comentarios sobre el Mapa Gravimétrico de la Isla de Cuba. Rev. Tecnol. Vol. 2. No. 4. p. 20-27.
- SOLOVIEV, O.N., SKIDAN S.A., SKIDAN I.K., PANKRATOV, A.P., JUDOLEY G.M., 1964. Comentarios sobre el Mapa Magnetométrico de Cuba. Rev. Tecnol. Vol. 2. No. 2. p 8-19.
- SOMIN, M.L., AND G. MILLÁN. 1972. Metamorphic complexes of Pinos, Escambray and Oriente in Cuba and their age. Izv. A.H. SSSR. Ser. Geol. No. 5. 48-57. (in Russian).
- SOMIN, M.L., AND G. MILLÁN. 1981. Geology of the metamorphic complex of Cuba. Moscow. Nauka. 220 p. (in Russian).
- SOMIN, M.L., L.V. SOMIN, YU. YA. POTAPENKO and G. MILLÁN 1985. Verification of the thermoisochronous dating method on the rocks of known geological ages. Results of dating some metamorphic rocks of the Alpine región-Moscow. Inst. of Physics of the Earth, USSR Academy of Sciences. 17 p. (in Russian).

- STEPHAN J.F., C. BEIK, A. BELLOZZIA, R. BLANCNET. 1980. Lachaine carar Ge du Pacifique a l'atlantique. Mim. Bur. resh. Geo. et. minieres Noo. 115. p. 38-59.
- THAYER, T.P. 1942. Chrome resources of Cuba. Geology Survey. Bull. 935-A.
- THAYER, T.P. 1964. Principal features and origin of podiform chromite deposits and some observations on the guceman-soridag district, Turkey. Econ. Geol. Memo No. 4.
- TYJOMIROV, L. E. LINARES, R. LAVANDERO, D. COUTIN, V. TROFIMOV, R. CABRERA, A. DOVGNIA AND B. MARKOVSKY 1989. Juego de Mapas de Contenido Geológico de la República de Cuba a escala 1:500 000. Geología/Geology'89. Primer Congreso Cubano de Geología./Resumenes. La Habana. 106.
- WASSAL, H. 1956. The relationship of oil and serpentinite in Cuba. Rep. XXD Geol. Congr. Sect. 3 México. 1956. La Habana, 1956. p. 65-77.

EVOLUCIÓN DE LA CUENCA DEL MARGEN CONTINENTAL PARA LA REGIÓN QUE OCUPA LA SIERRA DEL ROSARIO

Carlos Sosa Meizoso¹. Juan G. López Rivera¹

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Calle Washington No 169, esq. Churruca, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, E-mail: sosa@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

El estudio petrográfico y paleontológico de las rocas que forman parte de la Sierra del Rosario han posibilitado arribar a algunas consideraciones relacionadas con el desarrollo de la cuenca del margen continental, que pensamos, no debe diferenciarse mucho del que tuvo lugar en otras regiones del occidente y centro de Cuba.

Las descripciones petrográficas y paleontológicas de las muestras de la Fm. Polier, tomadas durante el trabajo de cartografía geológica, y las conocidas en los pozos, describen con mucha claridad la presencia de areniscas cuarcíferas entre los estratos de calcilitas, unidas en muchas oportunidades a materiales terrígenos como lutitas y minerales accesorios como el zircón, la turmalina, la clorita y otros, producto del vulcanismo, componentes estos que permiten suponer que la fuente de aporte, durante todo el Cretácico Inferior, estuvo al sur, por lo que, es lícito admitir que, durante este período geológico, hubo bloques del basamento cíclicamente emergidos.

La información paleontológica disponible permite asegurar que la Fm. Sumidero, se depositó sincrónicamente con la anteriormente descrita y no cuenta con los componentes terrígenos estudiados; mientras que, en otros trabajos precedentes han sido datadas las secuencias de la Fm. Santa Teresa de la misma edad y su composición litológica la ubica sedimentada en la parte más profunda de la cuenca; autorizándonos a elaborar un nuevo modelo palinspástico de la misma, en el que puede suponerse mayor complejidad y más de un depocentro, pudiéndose explicar la presencia de secuencias de agua someras cabalgadas sobre la Fm. Polier en Soroa y la existencia del terreno Pinos más al sur.

Palabras claves: palinspástica, depocentro, estratigráfica

ABSTRACT

The petrography and paleontology study of the rocks of the Sierra del Rosario UTE, facilitates the arrival to some considerations related to the development of the continental margin basin which we think shouldn't be very different from the one that took place in other occidental and central regions of Cuba.

The petrography and paleontology descriptions of the Polier formation samples, taken during the geologic cartography work and the ones known in the wells, described with much clarity the presence of quartziferous sandstone among the calcilitite, joined most of the times to terrigenous sediments like shale and mineral accessories like zircon, tourmaline, chlorite and others due to the volcanism, those components lead us to suppose that the source of contribution during all the Lower Cretaceous was found to the South, that's the reason why it's licit to admit that, during this geological period, there were blocks from the basement that cyclically emerged.

The available paleontology information permits to assure, that the Sumidero formation was synchronically deposited with the one described previously but it doesn't have the terrigenous components studied, while in other preceding researches, the sequences of Santa Teresa formation from its same age have been dated and the lithological composition place it as sediment in the deepest part of the basin, allowing us to create a new palinspastic reconstruction of it in which there is supposed to be a major complexity and more than one depocentr, which may explain the presence of shallow water sequences, like to San Vicente formation, overthrust Polier formation in Soroa area and the existence of Pinos terrain more to the South.

INTRODUCCIÓN

Numerosos trabajos han sido ejecutados en la Sierra del Rosario y la zona occidental de la provincia de La Habana, entre los que se destacan: Levantamiento Geológico 1: 50 000 del área mencionada y otras adyacentes, realizado por el Doval Martínez et, al/1991, importantes trabajos de campo de los profesores Dr. D. Cáceres Gobeá, el Dr. C. E. Cofino y el Dr. Cobiella J. L; así como el trabajo realizado por el Dr. E. Linares Cala et, al, 1976 y su tesis doctoral ejecutada en el 2003, también los de Pszczolkowski, A. y otros, 1987, publicados en Contribución a la Geología de la Provincia de Pinar del Río.

Las investigaciones realizadas, fueron hechas por un equipo de especialistas del CEINPET, los que luego de estudiar un gran número de trabajos desarrollados en épocas precedentes, ejecutaron tareas de reconocimiento geológico en la región oriental de la Sierra del Rosario hasta M. Mesa (Fig.1), complementadas con el estudio petrográfico y paleontológico de las muestras tomadas, las que contribuyeron a la ampliación del conocimiento geológico de esta región, posibilitando además, la reconstrucción palinspástica de la cuenca del margen continental, basada en puntos de vista un tanto diferentes a otras realizadas con anterioridad.

Las características petrográficas y paleontológicas de las rocas de cada una de las formaciones presentes, fueron los elementos más importantes tomados en cuenta para la reconstrucción enunciada, ya que estas posibilitaron explicar la presencia del cuarzo en las secuencias depositadas en la posición meridional de la cuenca, mientras hacia el centro de la misma pueden ubicarse aquellas cuyos complejos pétreos están integrados por silicitas radioláricas depositadas en las partes más profundas de la misma y en una posición septentrional, rocas sin el aporte terrígeno de las primeras, durante el Cretácico Inferior y hasta el Medio. El análisis de estos elementos, posibilitó evaluar el desarrollo de la cuenca.

MAPA DE UBICACIÓN DEL AREA DE TRABAJO

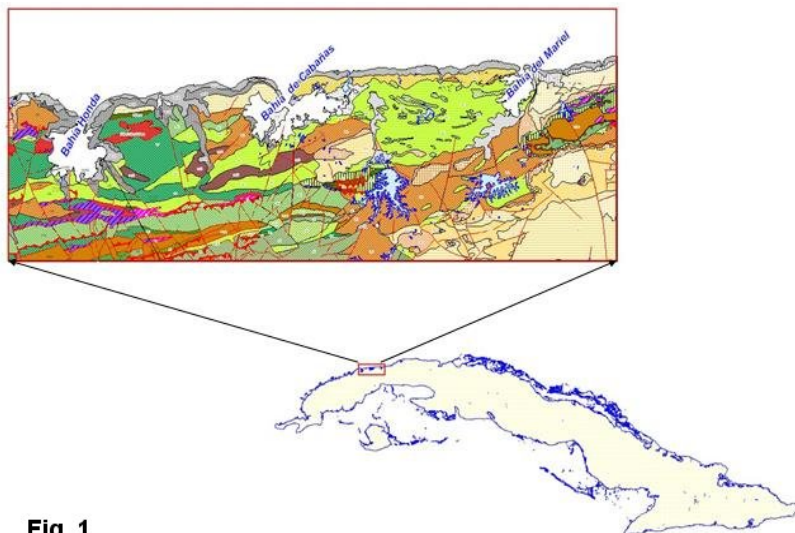


Fig. 1

MATERIALES Y MÉTODOS

La pesquisa realizada en la región oriental de la Sierra del Rosario hasta M. Mesa, se desarrolló a través de itinerarios geológicos utilizando los caminos, arroyos y río en los que se describieron 709 afloramientos desde el punto de vista petrográfico, estratigráfico y en buena medida estructural, para lo cual fueron tomadas 302 muestras a las que se le elaboraron 338 secciones delgadas, 18 secciones delgadas de muestras aglutinadas y 33 muestra lavadas, estudiadas más tarde por los petrógrafos y paleontólogos del CEINPET, más la revisión de la información de una gran parte de los pozos perforados en la misma.

DESARROLLO

Desde el punto de vista estratigráfico, las secuencias de la cuenca del margen continental más antiguas, están asociadas a la Fm. Francisco; integrada por calizas, lutitas argiláceas, limosas y areniscas polimícticas y cuarzosas, que por su fauna están datadas del Jurásico Superior Oxfordiense Medio Tardío (J_3^{ox}), por la determinación de los ammonites. Las secuencias descritas descansan sobre las rocas de la Fm. San Cayetano, esencialmente terrígenas, aluvio - deltaicas, de edad Jurásico Inferior y Medio, hasta el Jurásico Superior Oxfordiano ($J_{1-2} - J_3^{ox}$). Datos recientes de Dueñas, Linares y García, 2001, revelaron palinomorfos terrestres y marinos (Dinoflagelados), que determinan la edad de Jurásico Medio, mientras en trabajos anteriores de Pszczokowski et al, /87, por la determinación de los ammonites del género *Perisphinctes*, la dataron del Oxfordiense Medio.

Le sobreyace la Fm. Artemisa, estudiada en el área de los trabajos como: Wackestone/Packstone bioclástico compactado, con abundantes juntas de disolución que dan aspecto bandeado, las juntas de disolución tienen MO (materia orgánica) y minerales arcillosos. Microscópicamente, Calcsiltita fosilífera color pardo oscuro alterado con calcilita parda, y abundantes venas finas de calcita. Desde el punto de vista faunístico se identifican por: *Committosphaera* sp. *Colomisphaera* sp., *Chitinoidea* sp. Moldes de Radiolarios. *Saccocoma* sp., que la sitúan en el J_3^{12} . Algunos autores consideran a la Fm. Francisco (Linares E./2004) como la transición entre la Fms. San Cayetano y Artemisa, tal opinión la compartimos.

Suceden concordantemente a las anteriores, la Fm. Sumidero, que microscópicamente se pueden describir como: Wackestone bioclástico y en muchos afloramientos intercalaciones calcareníticas, con abundante juntas de disolución y estilolitos, muy impregnado en MO, con nódulos y lentes de pedernales, generalmente negros. Éstas, por sus características litológicas, fauna, etc., se sedimentaron en un ambiente más profundo que las precedentes.

La edad ha sido determinada por la conspicua fauna que presenta - Moldes recristalizados de Radiolarios. Calpionélidos S.S. muy recristalizados, *Calpionella* sp, moldes de radiolarios, fragmentos de Bivalvos. *Paratomesphaera* sp., entre otros -, siendo asociada al Cretácico Inferior Berriasiano - Valanginiano y Hauteriviano Barremiano ($K_1^{b-v} - K_1^{h-br}$); aunque varios autores la limitan al Berriasiano - Valanginiano, pero las determinaciones paleontológicas de nuestra investigación, nos permiten tales afirmaciones

Autores como, Doval Martínez et al /91, datan esta formación del Cretácico Inferior Valanginiano y hasta el Hauteriviano Inferior; mientras Pszczokowski, 1987, la considera del Cretácico Inferior Berriasiano hasta el Hauteriviano Inferior.

Fue estudiada otra secuencia sincrónica con la anterior, la Fm. Polier, la que por los cuantiosos datos faunísticos de nuestra pesquisa nos permiten datarlas del Cretácico Inferior Berriasiano – Valanginiano y Hauteriviano - Barremiano (K_1^{b-v} – K_1^{h-br}); mientras otros autores la limitan al Hauteriviano - Barremiano, situándolas concordantemente sobre la Fm. Sumidero (E. Linares/2003, Tesis Doctoral), restringiendo ésta al Berriasiano – Valanginiano. La fauna más común es: Moldes de Radiolarios. Calpionélidos s.s. Calpionella sp. Aff. Alpina. Cámaras embrionarias de ammonites.

Por otro lado, las determinaciones paleontológicas y estratigráficas realizadas en Sierra del Rosario por los científicos polacos, determinaron edades que abarcan todo el Cretácico Inferior desde el Valanginiano hasta el Aptiano, en "Contribución a la Geología de Cuba", Pág.197. Por otro lado, los trabajos de Doval Martínez/1991, también sitúan las rocas de la Fm. Polier en épocas semejantes, desde el Cretácico Inferior Valanginiano, hasta el Albiano. Análogamente, los especialistas del Instituto de Geología y Paleontología (IGP), en el Mapa Geológico 1: 100 000, consideran a la formación de referencia desde el Cretácico Inferior Valanginiano hasta el Albiano. Tales hechos, confirman que nuestras determinaciones no han estado alejadas de otras, establecidas por especialistas que han estudiado la región con detalle, aunque ninguna determinación nuestra llega hasta edades tan jóvenes como el Aptiano y albiano.

La petrografía microscópica la describe como: Mudstone calcáreo finamente recrystalizado, con escasa fracción fina de cuarzo, bandeado por abundantes juntas de disolución con M.O. y pirita oxidada; Wackestone bioclástico teñido de M.O. diseminada y pirita oxidada en poros y packstone intraclástico y bioclástico recrystalizado, con fracción arenosa media de cuarzo y abundante M.O. en estilolitos.

En algunos trabajos se ha considerado que la parte superior del corte resulta más abundante el componente terrígeno, incrementándose las areniscas cuarcíferas de granos medio a gruesos, intercalados con las calizas y las argilitas; denominado "Miembro El Roble" (Iturralde-Vinent/98), definición ésta, que pudiera reafirmar nuestra hipótesis.

Esta formación ha sido conocida en el subsuelo, por casi la totalidad de los pozos de la región, entre ellos en el más profundo, Pinar 2, en el que han sido revelados "3 pliegues escamas" o "láminas", en el que las mismas están presentes, habiendo sido estudiadas estratigráficamente.

Los trabajos cartográficos que realizamos, nos permitieron conocer la presencia de rocas carbonatadas de banco, de ambientes muy someros, semejantes a la Fm. San Vicente, de la UTE Órganos. La fauna conspicua que presenta posibilita datarla del mismo periodo, por lo que puede pertenecer a una plataforma, de dimensiones imprecisas, depositadas al sur y hoy la observamos emplazadas tectónicamente sobre las descritas con anterioridad.

Fueron estudiadas las rocas de la Fm. Santa Teresa, que otros autores han identificado como Chert Canalete, Hatten 1957; Fm. Quiñones, Volodin, 1967; Fm. Sabanilla, Pszczolkowski, 1987; y en otras zonas más occidentales toman otros nombres como Fm. Panchita, etc., pero que deben corresponder a un mismo estadio de desarrollo de la cuenca del margen continental, quizás, con variaciones faciales y mayor o menor componente lutítico, intercalado entre los estratos Linares, E. /2003).

La formación descrita, está integrada esencialmente por silicitas radioláricas, que en estas áreas, toman coloraciones parduscas de diferentes tonalidades y grises verdosas, intercaladas con finas capillas de lutitas o argilitas, también de las mismas coloraciones.

Desde el punto de vista estratigráfico, éstas han sido datadas del Cretácico Inferior Berriasiano – Valanginiano, hasta el Cretácico Superior Cenomaniano – Turoniano ($K_1^{b-v} - K_2^{cm-t}$) (Ivano Walter Aiello and Marco Chiar/1995), en "Cretaceous Radiolarian Chert of western Cuba". En varias muestras tomadas y estudiadas por ellos, donde están presentes los taxones: *Thanarla brouweri*; y *Thanarla pacifica*, es situada desde el Valanginiano hasta el Aptiano Medio, por unos autores, mientras por otros la restringen del Valanginiano al Hausteriviano. Al mismo tiempo la presencia de la *Thanarla* cónica la sitúa en el Valanginiano.

En otra muestra, la presencia de *Dyctiomitra montisserei* y la *Thanarla. brouweri*, la sitúan desde el Albiano Medio hasta el Cenomaniano. Por otro lado, la presencia de *Holocryptocanium barbui*, es situada por otro especialista en el Berriasiano Medio.

Otros trabajos como los realizados por los Doval Martínez/ 1991, en el Levantamiento Geológico de la parte oriental de la S. Rosario y oeste de la provincia Habana, afirman que, la edad varía desde el Cretácico Inferior, Hauteriviano hasta el Cretácico Superior, Cenomaniano ($K_1^h - K_2^{cm}$). Sin embargo, la mayoría de los autores la limitan al Aptiano – Albiano, situándola concordantemente sobre las rocas de la Fm. Polier.

Mientras la fauna reportada por Furrázola y colaboradores/1985, la describen integrada por: *Hedvergella* sp; *Ticinella* sp; *Ammodiscus* sp; *Lievium* sp y *Pseudoaulophacus* sp, fue situada en el Aptiano Inferior y Medio hasta el Cenomaniano.

Secuencias de esta naturaleza han sido asociadas por algunos autores a complejos integrados por silicitas radioláricas, depositados sobre rocas de la corteza oceánica, sin embargo, el emplazamiento tectónico entre éstas y otras atribuidas por algunos autores a rocas de naturaleza oceánica, fue estudiado por nosotros en la carretera de Soroa, donde se evidenció la brecha tectónica que las unía.

Mucho menos frecuentes en el área, fueron estudiadas las rocas de la Fm. Carmita, representada por micritas de color pardo claro y gris verdoso, en otras, con tonalidades azulosas, calcilitas, calcarenitas y calciruditas intercaladas con argilitas silíceas y lutitas de coloraciones rojizas y verdosas. En ocasiones se observa la presencia de material terrígeno, con componentes cuarzosos. En varios de los afloramientos que pesquisamos en nuestra región, observamos y estudiamos los lentes y nódulos de pedernales fundamentalmente marrones, entre los estratos carbonatados.

La edad de esta formación ha sido asociada al Cretácico Inferior Aptiano, al Cretácico Superior Cenomaniano ($K_1^{ap} - K_2^C$), aunque la información más abundante la datan del Albiano – Cenomaniano.

Sobreyacen discordantemente, a las precedentes, las de la Fm. Cacarájicara, del Campaniano - Maestrichtiano o Maestrichtiano Superior ($K_2^{cp-m} - K_2^{m2}$).

El estudio petrográfico a través de secciones delgadas, la describe como: Mudstone calcáreo bioclástico arcillosos, los bioclastos son finos, bien preservados, en una matriz micrítica fina, con abundante MO y pirita en los poros, estilolitos largos con bitumen. También, Rudstone intraclástico, en su mayoría Grainstone intraclástico y peloidales, intraclastos micríticos y abundantes calcáreos, están cementados por esparita.

Otras muestras pueden describirse como: Wackestone/Packestone bioclástico, estando los bioclastos muy recrystalizados. Se observan abundantes relictos recrystalizados, y estilolitos con pirita oxidada y calcita; mientras en otros se distinguen Litoarenitas compactadas de grano medio, los granos son

efusivos alterados a clorita o arcilla, pedernal calcedónico, argilitas escasas, abundantes cristales de plagioclasas y cuarzo.

Como puede observarse, la formación citada es sumamente compleja, en la que intervienen numerosos tipos de rocas, que hablan de lo complicado del medio donde se depositaron y las fuentes de aportes que tuvieron.

Faunísticamente, es reconocida por la presencia de: *Heterohelix* sp.; *Heterohelicidae*. *Hedbergella* sp., *Globotruncana* sp.; *Pithonella ovalis*; mientras en otros sitios se reportan: *Vaughanina* sp.; *Rudistas*; *FBP*. *Miliolidae*; *Heterohelicidae*; más, fragmentos de foraminíferos Orbitoidales, fragmentos de *Rudistas* y *Globotruncana* area, como los más comunes.

Entre los pliegues de las formaciones mencionadas y otras de diferente naturaleza, describimos sedimentos sin orogénicos de la Fm. Manacas, del Paleoceno –Eoceno Inferior ($P_1^{2-3} - P_2^1$).

Se ha asociado esta secuencia, como el sello regional, constituidos esencialmente por terrígenos arcillosos, que en muchas localidades, presentan intercalaciones de silicitas radioláricas, fundamentalmente de estratificación fina a media, con coloraciones marrones, negruzcas, verdosas y otras y a veces arenosos de matriz arcillosa, de estratificación generalmente masiva y ocasionalmente finamente orientada. En algunas áreas, las rocas son conglomeráticas y en ellas participan fragmentos de las secuencias anteriores y otros que forman parte del arco de islas y la corteza oceánica, en dependencia de la localidad donde sea estudiada. El espesor es variable, desde muy finos en algunos, hasta de decenas de metros en otros ocupando siempre posiciones entre los pliegues escamas y zonas apiladas – según nuestra observación. En ningún caso, pudimos distinguir fragmentos que fueran mayores de 10 – 12 m, generalmente, menores.

Paleontológicamente han sido definidos en algunos sitios, por la presencia de: *Globigerinatheka* sp. *Acarinina pseudotopilensis*. *Morozobela spinulosa*. *M. aff. M. spp.* *Globigerina* spp.; que lo sitúan en Eoceno Medio parte.

ANÁLISIS EVOLUTIVO DE LA CUENCA

El análisis petrográfico y paleontológico de todas las rocas que fueron estudiadas y la composición de ellas, nos permitieron reflexionar sobre el por qué de la composición de las mismas y los ambientes donde éstas se depositaron, así como la fuente de aporte para cada una de ellas. Análogamente, intentamos explicar las razones por las cuales existen varias secuencias de la misma edad, y ocupan hoy una posición espacial que ha dado origen a otras interpretaciones, como sucede con las Fms. Sumidero, Polier y Santa Teresa.

Los hechos a los cuales hacemos referencia, intentamos explicarlos a través del "Esquema simplificado de Evolución de la Cuenca" del Margen Continental para esta región (Fig. 2); que está en perfecta armonía con otros desarrollados por el autor para otras regiones del occidente y centro del país.

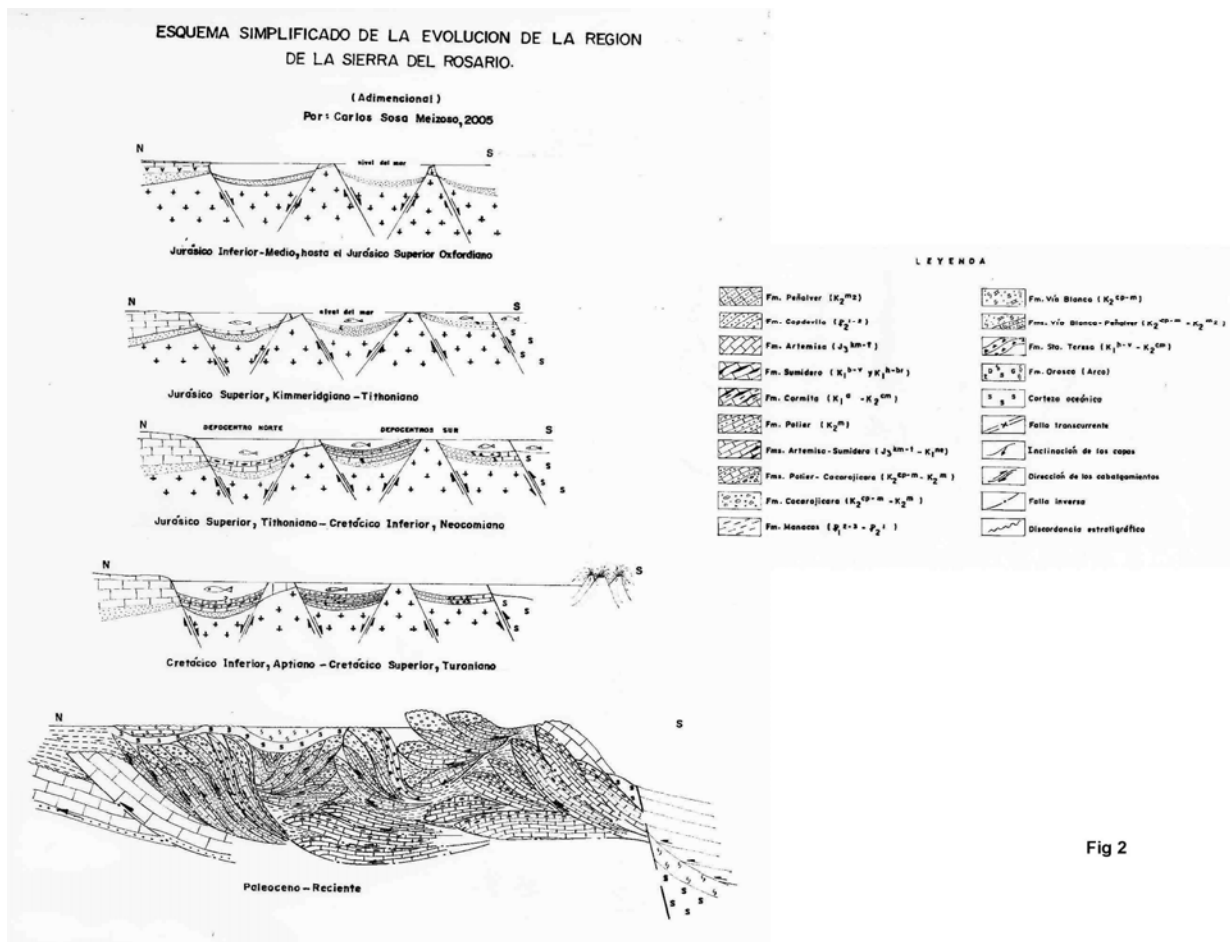


Fig 2

En el esquema se aprecian dos depocentros – quizás más -, donde hacia el norte se depositaron los carbonatos, sedimentados desde medios bastante someros, hasta ambientes pelágicos, sin o muy escasa influencia de aportes terrestres, y hacia el sur del mismo y en el meridional, una marcada influencia de los sedimentos terrestres, relacionados con bloques del basamento emergido, aportando granos de cuarzo, cristales de plagioclasa, clorita y accesorios como el zircón, turmalina y otros, típicos de rocas de esta naturaleza, dando origen a las rocas de la Fm. Polier al sur el depocentro norte y en el sur las secuencias típicas del Terreno Pinos. De forma análoga, pueden haberse sedimentado discordantemente, las secuencias que hoy pertenecen a la Fm. Cacarajícara, la que recibieron también aportes de una fuente semejante, más otras rocas de origen volcánico que se habían emplazado al sur, en ese periodo.

Discordantemente sobre las precedentes, luego de haber comenzado los movimientos convergentes, se sedimentaron las secuencias sinorogénicas que hoy asociamos a la Fm. Manacas, las que por su composición no puede dudarse tuvieron fuentes de aporte semejantes a las anteriores, pero en medios más profundos.

El propio esquema, trata de explicar porque encontramos sobre las secuencias de la Fm. Polier, rocas de banco carbonatado y lo hacemos considerando un bloque del basamento cristalino semi emergido en el que se depositaron las mismas.

Los movimientos de sobrecorrimientos, hicieron el resto del trabajo. Las rocas que se depositaron en el depocento sur, cabalgaron fueran de secuencia sobre las sedimentadas en el norte, imbricando cada una de ellas con cierta autonomía, provocando en las mismas, estructuras diferentes e independientes. Al mismo tiempo, como en el depocentro sur y en la cuenca foreland, se sedimentaron las rocas de la Fm. Manacas, los movimientos de cabalgamiento provocaron el emplazamiento de éstos, entre los pliegues de esas secuencias y entre ellas y las depositadas al norte, aislando las unas de las otras y quizás, sirviendo de sellos a las inferiores en algunas zonas.

Las rocas del arco de islas emplazadas sobre las de la corteza oceánica, cabalgaron fuera de secuencia también, sobre las precedentes, haciendo mucho más complejo el entorno de la región investigada.; creando importantes sistemas montañosos, en los que las estructuras internas también fueron muy complejas, si juzgamos el comportamiento de los restos que quedaron, luego de la intensa erosión que sufrieron las mismas. Los hechos a los que nos referimos deben haber contribuido decisivamente a la maduración de la materia orgánica presente en las rocas de la cuenca investigada, justificando que hoy encontremos petróleos como los existentes en Martín Mesa y Pinar 2, de 26° – 36.7° API.

CONCLUSIONES

1. La investigación efectuada, posibilitó conocer la composición de las rocas que integran la región y el origen de los elementos constitutivos de las mismas así como la posición que ocupaban las fuentes de aporte que les dieron origen.
2. El nuevo modelo de reconstrucción palinspástica explica la posición de las diferentes secuencias que se depositaron en cada uno de los depocentros y la influencia que sufrieron cada una de ellas.
3. Análogamente, el modelo explica la fuente de aporte de los sedimentos que hoy forman parte del Terreno Pinos, así como los carbonatos someros que están emplazados sobre las rocas de la Fm. Polier en la zona de Soroa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Burov, V.; D. Martínez, Y. Yusanov; R. Fernández, V. Debernev y A. Uspensky, 1986: Informe de los Trabajos de Levantamiento Geológico escala 1:50 000 realizados en la Parte Occidental de la Provincia de Pinar del Río. Inv. 3563 O.N.R.M. – MINBAS, La Habana (Inédito).
- Cobiella-Reguera, J. L.; A. Hernández.; N. Díaz; y P. Pérez, 1997: Estudio de algunas areniscas de las Fms. San Cayetano y Polier, Sierra del Rosario, Cuba Occidental: Revista Minería y Geología, Vol. XIV (3), P. 59-68.
- Cofiño-Aranda C.E./2002 Caracterizar el agrietamiento y la geometría del plegamiento que afecta los depósitos del Jurásico Superior – Cretácico Inferior, en los nappes orientales de la Sierra del Rosario. Explicar la presencia de hidrocarburos en el corte y su relación con zonas petrolíferas de Cuba Central. Archivo. Universidad de Pinar del Río. Inédito.
- Gordon M. and Cáceres D., 1997. "Cenozoic tectonic history of the North America-Caribbean plate boundary zone in western Cuba". Published by American Geophysical Union in Journal of Geophysical Research, Vol 102, number B5.
- Hatten, Ch., 1957, Geology of the Central Sierra de Los Organos, Pinar del Río Province, Cuba. O.N.R.M. – MINBAS, La Habana (Inédito).
- Iturralde-Vinent, M., 1998, Sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba. Acta Geológica Hispánica. Vol. 33 N0.1-4 p. 9-56.
- Ivano Walter Aiello and Marco Chiar/1995, en "Cretaceous Radiolarian Chert of western Cuba".
- Linares, E. et al., 1976, Levantamiento geológico y su mapa a la escala 1:50 000 del área Martín Mesa. Archivos del CEINPET. La Habana. (Inédito).

- Linares, E.,/2003 Comparación entre las secuencias Mesozoicas de aguas profundas y someras de Cuba Central y Occidental. Significación para la exploración petrolera. Tesis Doctoral. Archivo CEINPET e ISPJAE. La Habana (Inédito).
- Dueñas, H. y E. Linares, 2001, Asociaciones Palinológicas de muestras de la Formación San Cayetano: O-1674, Archivo del CEINPET, La Habana (Inédito).
- Pszczolkowski, A. y otros, 1987, Contribución a la Geología de la Provincia de Pinar del Río. A.C.C. La Habana: Edit. Científico Técnica, 253 p.



REINTERPRETACIÓN DE LA FORMACIÓN ARROYO CANGRE A LA LUZ DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Dámaso Cáceres Govea y Carlos Enrique Cofiño Arada.

Universidad de Pinar del Río, Departamento de Geología. Martí No. 270, CP 20100, Pinar del Río, Cuba.
Email: dcaceres@geo.upr.edu.cu

RESUMEN

La Formación Arroyo Cangre se extiende desde la localidad de Sábalo hasta la región de San Diego de los Baños, provincia de Pinar del Río; ocupa la porción más meridional de la Faja Cangre y contacta por el Sur con la falla Pinar.

Está constituida por meta-areniscas cuarcíferas, filita lustrosa con mica blanca a veces enriquecida con materia carbonosa e intercalaciones aisladas de calizas carbonosas grises hasta casi negras, cortadas por cuerpos de diabasas y gabroides. Ha sido descrita como una unidad de yacencia monoclinas con buzamiento al Sur o Sureste.

La relación del clivaje S_1 con la estratificación (S_0) y a la forma y disposición del plegamiento parásito F_1 a lo largo de ella, ha permitido considerar la misma como un gran pliegue isoclinal tumbado de vergencia Noroeste. Se considera en este trabajo la Formación Arroyo Cangre como una unidad, constituida en su parte baja por secuencias predominantemente arenosas, representadas por intercalaciones de meta-areniscas y meta-limolitas cuarzosas de diferente granulometría, localizadas en el núcleo de la estructura plegada, ahora denominado paquete inferior (J_{3ac_1}).

El paquete superior (J_{3ac_2}) está representado por una alternancia de meta-areniscas y meta-limolitas cuarzosas y cuarzo-feldespáticas con algunas intercalaciones esquistosas, que hacia la parte alta del corte se hacen predominantes, donde tienen lugar también algunos lentes de calizas recristalizadas, diferentes horizontes de material volcánico representados por tobas, areniscas tobáceas, tufitas y brechas volcánicas, donde se desarrollan además cuerpos de gabro y diabasa. Estas secuencias se localizan en ambos flancos del gran pliegue isoclinal.

ABSTRACT

Arroyo Cangre unit extends from Sábalo up to San Diego de los Baños in Pinar del Río. It belongs to the southern part of Cangre belt, in tectonic contact with Pinar fault. The unit is mainly formed by quartz sandstones and phyllites; interbeds of scatter dark and gray carbonaceous limestones also occur. Diabases and gabbros cut the whole sequence. The unit has been described as a south-southeast monocline.

The relationship cleavage (S_1) and bedding (S_0) and the style of parasitic folding (F_1) allow to interpret the Arroyo Cangre unit as a huge north west vergent isoclinal fold.

In this work we propose that Arroyo Cangre unit can be subdivided in two main parts: lower and upper. In the lower part (J_{3ac_1}), sandy rocks are abundant, with metasandstone and quartz metalimolites. They constitute the heart of the folded structure. The upper part (J_{3ac_2}) consists of meta sandstones and quartz and feldspar metalimolites, interbedded with some schists. At the top, the schists become abundant, and recrystallized limestones occur along with few horizons of volcanic material: tuffs, sandy tuff, volcanic breccias, gabbros and diabases. The upper sequence crops out in both limbs of the isoclinal fold.

INTRODUCCIÓN

La Formación Arroyo Cangre, descrita por J. Piotrowski en: A. Pszczolkowski et al., 1975, se extiende desde la localidad de Sábalo hasta la región de San Diego de los Baños, provincia de Pinar del Río.



Está constituida por meta-areniscas cuarcíferas con mica blanca y a veces clorita, filita lustrosa con mica blanca a veces enriquecida con materia carbonosa, intercalaciones aisladas de calizas carbonosas grises hasta casi negras cortadas por cuerpos de diabasas y gabroides convertidos en una blastomilonita rica en restos magmáticos y que contiene glaucofana y pumpellita definiendo un metamorfismo de alta presión y muy bajo grado (Millán, 1987).

Sus relaciones estratigráficas no están bien definidas. En algunas regiones contacta tectónicamente con las calizas de las formaciones Guasasa y Jagua que la sobreyacen.

Su edad se considera Jurásico Inferior ? - Jurásico Superior (Oxfordiano Medio) por su posición estratigráfica. Su espesor es de aproximadamente 700 m. Parece tratarse de un equivalente más metamorfozado de la Formación San Cayetano.

Martínez et al. (1988), subdividen esta Formación en tres subformaciones:

Primera subformación.

En la parte baja del corte aparecen esquistos negros con intercalaciones de meta-aleuroareniscas, meta-areniscas cuarzosas y horizontes de calizas recrystalizadas de color gris oscuro. Cerca del contacto con la Unidad Mestanza aparecen cuerpos de meta-diabasas y meta-gabros. Su espesor se calcula en 450 m.

Sus relaciones son siempre tectónicas. Sobreyace mediante un plano con ángulo suave los depósitos de la Formación San Cayetano, Miembro San Vicente de la Formación Guasasa y Formación Jagua (todos de la Unidad Mestanza). Su contacto superior también es tectónico con los depósitos de la segunda subformación.

Segunda subformación.

Presenta un corte monótono, constituido por esquistos negros, meta-aleuroareniscas, meta-limolitas de color rojo bien estratificadas y meta-areniscas cuarzosas.

Paquete inferior.

En la parte baja, contactando con la primera subformación, aparecen meta-areniscas cuarzo-feldespáticas con pequeñas intercalaciones de esquistos feldespáticos y esquistos negros. Estos depósitos constituyen una estructura monoclinall con buzamiento hacia el Sur, complicada por fallas inversas. Son frecuentes las estructuras plicativas y amplio desarrollo del clivaje.

Paquete superior.

Comienzan a predominar las meta-limolitas de color verde y gris y esquistos negros con intercalaciones de meta-areniscas cuarzosas intemperizadas, todas atravezadas por vetas de cuarzo en diferentes direcciones. Esta parte del corte está bastante tectonizada. Se calcula que alcance un espesor de 650 m.

Sus contactos son tectónicos sobre los depósitos del paquete inferior y subyaciendo los depósitos de la tercera subformación respectivamente, mediante fallas inversas de ángulos abruptos. En algunas localidades los contactos presentan un carácter normal.

Tercera subformación.

En la parte baja se caracteriza por meta-limolitas y metaareniscas cuarzosas bien estratificadas, así como escasas cuarcitas. En la parte media comienzan a aparecer intercalaciones de calizas recrystalizadas; a este horizonte se relacionan diques de meta-gabros y meta-diabasas.



En la parte baja se observan meta-limolitas y meta-areniscas cuarzosas bien estratificadas y raramente cuarcitas. Se calcula un espesor de 200 m.

Su parte inferior contacta tectónicamente sobre los depósitos pertenecientes a la segunda subformación mediante una falla inversa de ángulo abrupto, su parte superior contacta con los depósitos de la zona estructurofacial San Diego de los Baños, mediante la falla Pinar.

Tres unidades metamórficas han sido descritas: Mestanza (UM), Pino Solo (UPS) y Cerro de Cabras (UCC) (Piotrowski, Piotrowska en Pszczolkowski, 1975). Las dos primeras se consideran independientes al manto de sobrecorrimiento de Alturas Pizarrosas del Sur, aunque prácticamente fueron emplazadas en el mismo tiempo.

La Unidad Pino Solo (UPS), constituida por los depósitos de la Formación Arroyo Cangre es la más alta en Sierra de los Órganos y se extiende en forma de faja de ancho variable desde San Diego hasta Sábalo, donde alcanza 5.5 Km.

Según Piotrowski (1987), la UPS probablemente constituyó un nappe junto a las unidades Mestanza y Cerro de Cabra, cuya diferenciación debe haber ocurrido durante la última fase del transporte tectónico, o sea, después que en las unidades de manto no metamorfizadas, haciendo referencia a una probable transición sedimentaria entre las formaciones Arroyo Cangre de la UPS y Jagua de la UM. Piotrowska (1987); Piotrowski (1987), manifiestan la posición invertida de ambas unidades individuales.

En la UPS se destacan tres direcciones de lineaciones (Millán, 1976): la primera expresada por recristalización-orientación textural; la segunda cruzando la anterior con ángulo de 20° a 30° relacionada al transporte de la unidad, donde se observan pliegues de varios tipos con predominio de pliegues similares de cizalla en zigzag, y la última (la más joven), representada por charnelas amplias y lineaciones de borde, probablemente relacionada con la fase de deformación más joven.

Piotrowska (1987) plantea que las lineaciones de la Sierra de los Organos representan tres fases de deformaciones principales. La lineación más antigua observada en las unidades metamórficas, es probable que se haya asociado con los procesos metamórficos. La lineación principal que aparece en todas las unidades tectónicas de la Sierra de los Organos, se ha originado durante el transporte tectónico de la fase orogénica principal. La más joven está conectada con las deformaciones post-charriage.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información que se brinda, es resultado del trabajo de campo desarrollado a lo largo de cinco perfiles geológicos a través de la Formación Arroyo Cangre, con observación continua y medición de elementos estructurales, prestando especial atención a la litología, la relación de los elementos de yacencia de las diferentes secuencias con el clivaje, y la disposición y vergencia del plegamiento, lo que permitió ordenar cronológicamente los diferentes eventos detectados a los que se relacionan las estructuras geológicas, con el empleo de los métodos clásicos de la Cartografía Geológica, la Geología Estructural y la Microtectónica.

RESULTADOS



DESCRIPCION GEOLOGO-ESTRUCTURAL DE LAS UNIDADES POR PERFILES.

Durante los trabajos de campo se realizaron numerosos itinerarios geológicos que abarcaron cinco perfiles convenientemente distribuidos con orientación Noroeste, aproximadamente perpendiculares a las estructuras, en los que se realizó una detallada descripción de los afloramientos atendiendo a la litología y las diferentes deformaciones disyuntivas y plicativas. Especial atención se brindó al análisis de grietas y vetas de diversos tipos, así como a la orientación del plegamiento y el clivaje.

En los afloramientos de interés se realizaron mediciones de los diferentes elementos estructurales y se tomaron muestras para la confección de secciones delgadas tradicionales y muestras orientadas para el análisis microtectónico. De igual manera se elaboró una abundante cantidad de dibujos esquemáticos mostrando la orientación de los principales elementos estructurales.

Perfil A - A'

- Descripción geológica.

El perfil comienza en la localidad San José a partir de la zona de falla Pinar con dirección Noroeste 315°, en secuencias pertenecientes a la Formación Arroyo Cangre.

El corte se inicia en una zona de milonitas de color gris oscuro muy deleznales y contorsionadas que hacia el Noroeste se sustituyen por meta-areniscas cuarzosas de color crema con abundantes vetas de cuarzo, en las que se describen estructuras de esquistosidad-cizallamiento siniestras de orientación Este-Oeste y clivaje de crenulación con planos axiales inclinados al Noroeste. Más adelante aparecen esquistos sericíticos silíceos y meta-areniscas cuarzomíceas interestratificadas con meta-limolitas cuyos espesores oscilan entre 5 y 10 cm.

El corte para esta Formación concluye con una secuencia de esquistos arcillosos muy lustrosos a veces carbonosos (esquistos cuarzo-sericíticos) y esquistos silíceo-sericíticos, con planos de clivaje S_1 aproximadamente paralelos a la estratificación, en los que tienen lugar algunos pequeños pliegues de kink band con vergencia Sureste y areniscas tobáceas. En profundidad aparecen calizas con abundante material clástico, tufitas, tobas, brechas volcánicas y calizas marmolizadas con fragmentos de cuarzo.

Las rocas poseen yacencia entre 35° y 50° hacia el Sureste o Suroeste entre 165° y 190°, que contactan mediante un plano de sobrecorrimentos con las calizas marmolizadas grises y negras de la Formación Guasasa.

- Estructuras tectónicas.

En toda la Formación Arroyo Cangre aparecen pliegues F_2 , entre los que se encuentra el plegamiento de crenulación con planos axiales inclinados al Noroeste y pliegues de kink band con vergencia Sureste, estos últimos muy cercanos al contacto con la Formación Guasasa.

Un amplio desarrollo de estructuras disyuntivas caracteriza todo el perfil. En la Formación Arroyo Cangre relacionado con la zona de falla Pinar, aparece un clivaje milonítico de forma sigmoidal y estructuras de esquistosidad-cizallamiento siniestras de rumbo Este-Oeste.

El clivaje S_1 es pizarroso, con planos subparalelos a la estratificación, pero con ángulo ligeramente superior. El clivaje de crenulación es un clivaje de pliegue-fractura (planar axial) con superficies S_2 inclinadas al Noroeste, mientras en los pliegues de kink band también se desarrolla un clivaje planar axial con planos S_2 inclinados al Sur Sureste.



Siguiendo la dirección del perfil y a escasos metros de éste, se distingue una falla de desgarre siniestra que atraviesa toda la unidad.

Perfil B - B'

- Descripción geológica.

El perfil comienza al Norte de la zona de falla Pinar, por el río Guamá, con una dirección Noroeste (308°) desde la localidad La Guabina.

El itinerario se inicia con la Formación Arroyo Cangre de la Unidad Pino Solo (UPS), constituida por esquistos cuarzo-sericíticos, cuarzo-sericítico-silíceo y silíceo-sericíticos de color gris verdoso, con intercalaciones de meta-areniscas de grano fino con vetillas de cuarzo, meta-limolitas cuarzomíceas muy foliadas, y areniscas cuarzosas muy recrystalizadas con mica, de color gris. En estas secuencias se observan sistemas de vetas de cizalla y en escalón, así como mesopliegues que evidencian la intensidad del tectonismo.

En toda la unidad se desarrollan sistemas de fallas de diferentes tipos y un intenso clivaje de crenulación en las cercanías de la zona de falla Pinar. En algunos lugares aparecen esquistos negros interestratificados con areniscas cuarzosas de color gris bastante contorsionados, afectados por pliegues de kink band inverso; más al Norte, interestratificados con las areniscas cuarzosas, aumenta el predominio de esquistos negros, destacándose diferentes sistemas de grietas desplazadas entre sí.

Contactando tectónicamente con la Formación Arroyo Cangre de la UPS a través de un plano de sobrecorrimentos, tiene lugar la Unidad Mestanza (UM).

- Estructuras tectónicas.

Las estructuras plegadas aparecen ampliamente distribuidas en todo el perfil, fundamentalmente originadas durante el propio movimiento de los mantos durante los sobrecorrimentos, siendo comunes a todas las escalas. Otras estructuras de este tipo aparecen asociadas a campos de esfuerzos locales o vinculadas al surgimiento de estructuras disyuntivas.

La Formación Arroyo Cangre, muestra un intenso plegamiento de diversos órdenes, entre los que se distinguen: pliegues F_1 parásitos, pliegues F_2 con vergencia Noroeste muchas veces asociados a estructuras falladas y aunque ocasionalmente aparecen pliegues de charnelas amplias, es más típico la presencia de pliegues apretados con planos axiales inclinados y a veces curvados.

Resultan además representativos los pliegues F_3 con planos axiales subverticales y vergencia Noreste, muchos de los cuales se localizan en las meta-areniscas y meta-limolitas cuarzomíceas, ocasionalmente relacionados a un intenso clivaje de crenulación.

El análisis cuidadoso del plegamiento F_1 parásito a lo largo del corte en esta unidad, ha permitido establecer cierta regularidad en su forma, vergencia y distribución; así, hacia su extremo más meridional aparecen pliegues en forma de Z con vergencia Noroeste, 100m más al Norte los pliegues poseen forma de M y a 70m de éstos siguiendo la misma dirección fueron detectadas capas invertidas plegadas con vergencia antihoraria, pero en forma de S.

Resulta abundante además el fenómeno de budinaje desarrollado en capas alternantes de meta-areniscas y meta-limolitas, así como típicas estructuras de pinch and swell.



Las más variadas estructuras disyuntivas se expresan a lo largo de todo el perfil y resultan ampliamente distribuidas las grietas de cizalla, de extensión e híbridas, vetas sigmoidales y en escalón, así como diferentes tipos de clivaje. Se reconocen además numerosas fallas normales, inversas, de sobreempuje y de desgarre.

La Formación Arroyo Cangre se caracteriza por un intenso clivaje pizarroso con planos (S_1) subparalelos a los de la estratificación (S_0), presentando ángulos de buzamiento superiores a los de ésta en su parte más meridional, mientras en su extremo más septentrional la situación se torna contraria ($S_0 > S_1$).

Un segundo clivaje (de fractura) se relaciona a pequeños pliegues F_2 , cuyas superficies S_2 se inclinan al Noroeste fundamentalmente. También resulta común el clivaje de fractura o pliegue fractura (planar axial) relacionado al plegamiento F_3 , con planos (S_3) de inclinación Noreste o Suroeste.

Se desarrollan además abundantes grietas de cizalla, vetas de extensión, vetas sigmoidales y en escalón, fallas normales de ángulo abrupto y fallas inversas diversas.

Perfil C - C'

- Descripción geológica.

El perfil se inicia al Norte de la zona de falla Pinar en la localidad El Cangre con dirección 308° en las secuencias de la Formación Arroyo Cangre.

En su parte más meridional está constituida por lentes de calizas recrystalizadas, finamente estratificadas, de color gris claro a oscuro con abundante cuarzo orientado en planos, en las que se desarrollan numerosos pliegues F_3 con charnelas retorcidas. Los lentes de caliza tienen lugar entre meta-limolitas de color gris verdoso y esquistos silíceo-sericíticos-calcíticos, esquistos seriricítico-silíceos, esquistos silíceo-sericíticos, esquistos cuarzo-sericíticos y anfibolitas. Las rocas en su conjunto se muestran intensamente foliadas y agrietadas.

Más al Norte aparece un cuerpo intrusivo (gabro-diabasa) de color verde oscuro, esquistos anfibolíticos con epidota y esquistos cuarzo-sericíticos, que contactan a continuación con meta-areniscas de grano fino y color verdoso, finamente estratificadas y meta-limolitas esquistosas muy alteradas, plegadas y fracturadas. Las rocas están muy recrystalizadas y presentan abundantes vetillas de cuarzo. En estas últimas secuencias se describen estructuras de pinch and swell.

Las vetas de cuarzo aparecen plegadas, con ejes prácticamente verticales al igual que los planos axiales que se orientan según el clivaje, indicando su pertenencia a la tercera fase de deformación D_3 . En esta localidad $S_0 < S_1$ y se reconocen pliegues F_2 de vergencia Noroeste.

A continuación se localizan esquistos cuarzo-sericíticos de color crema, intensamente plegados (plegamiento F_2 de crenulación), se desarrollan además pliegues de kink band con planos axiales subhorizontales, así como meta-limolitas y meta-areniscas esquistosas, en las que también tienen lugar el clivaje de crenulación S_2 y los pliegues F_1 parásitos con vergencia Noroeste. Un poco más al Norte dichos pliegues poseen vergencia Sur.



Ya en el extremo Norte de la Formación aparecen meta-areniscas y calizas recrystalizadas de color gris claro, interestratificadas, con abundantes planos de clivaje S_1 de ángulos ligeramente menores a los de estratificación ($S_0 > S_1$).

Las rocas de esta unidad poseen yacencia entre 25° y 45° al Sureste, desde Sureste 138° hasta Sur.

Contactando tectónicamente mediante un plano de sobrecorrimentos que se hunde hacia el Sur, tienen lugar las calizas de color gris oscuro y estratificación fina a gruesa de la Formación Guasasa.

- Estructuras tectónicas.

Las estructuras de este tipo resultan abundantes a lo largo de todo el perfil. En las secuencias de la Formación Arroyo Cangre muy cercano a la zona de falla Pinar se describen pequeños micropliegues y pliegues F_3 con charnelas retorcidas en las calizas. Más al Norte, aparecen pliegues F_1 parásitos en forma de Z con vergencia Noroeste, estructuras de pinch and swell con ejes de orientación Noreste-Suroeste aproximadamente y vetas de cuarzo plegadas con flancos prácticamente paralelos, ejes verticales y planos axiales curvados orientados al Este; pequeños pliegues F_2 de vergencia Sureste con ejes hundidos al Noroeste y pliegues F_2 de crenulación con planos axiales inclinados al Sureste, así como pliegues de kink band con planos axiales subhorizontales. Hacia el final de la unidad se describen pliegues F_1 parásitos en forma de M y otros de vergencia Sur, cuyos ejes se hunden al Este Noreste y Este Suroeste.

Las estructuras disyuntivas, tan abundantes como las anteriores se localizan a todo lo largo del perfil. En la Formación Arroyo Cangre se describen grietas de cizalla, de extensión y vetas sigmoidales y en escalón; pequeñas fallas de desgarre acompañan los pliegues F_3 con charnelas retorcidas y se describen estructuras de esquistosidad-cizallamiento siniestras de orientación Este Noreste - Oeste Suroeste.

El clivaje S_1 prácticamente coincide con la estratificación; es un clivaje pizarroso, a veces esquistosidad, que hasta muy próximo al extremo más septentrional de la formación posee ángulo de buzamiento superior al de la estratificación ($S_1 > S_0$). En el extremo más norteño de la unidad la situación es inversa ($S_0 > S_1$).

El clivaje de fractura S_2 se asocia fundamentalmente al plegamiento F_2 con vergencia Noroeste o Sureste, relacionado al movimiento de los mantos. Es un clivaje planar axial.

El clivaje de crenulación es también planar axial (de pliegue fractura) y sus planos S_2 se relacionan a pliegues de crenulación con planos axiales de inclinación Noreste-Norte y ocasionalmente Sureste. Fallas de desgarre siniestras de orientación Este-Oeste fueron observadas muy cerca de la falla Pinar.

Perfil D - D'

- Descripción geológica.

El perfil comienza en la zona de falla Pinar (localidad La Envidia) hacia el Noroeste 303° , en secuencias de la Formación Arroyo Cangre, perteneciente a la UPS.

En su parte alta se manifiesta con meta-limolitas cuarzomíceas de color crema rojizo por el intemperismo, muy alteradas, foliadas y agrietadas, atravesadas por vetas de cuarzo de hasta 1 cm



que se orientan según los planos de foliación en varias direcciones y a veces en grietas transversales. Las capas aparecen plegadas con buzamiento Sur y Sureste. Los planos del clivaje primario S_1 son subparalelos a la estratificación, ligeramente más inclinados desde el inicio del perfil ($S_1 > 0$), situación que se invierte a partir de la mitad más septentrional de la unidad ($S_0 > S_1$). Las meta-limolitas están muy contorsionadas, pudiendo observarse un clivaje S_2 de crenulación; en estas rocas aparecen además estructuras S-C (de esquistosidad-cizallamiento).

Más adelante se mantiene la misma litología, aumentando el tamaño y la abundancia de las vetas de cuarzo, interestratificada con esquistos silíceo-sericíticos. Estas secuencias se muestran foliadas y con abundantes planos de esquistosidad que se cruzan, en las que se desarrollan pliegues F_2 con planos axiales inclinados al Noroeste, con los que se relaciona un clivaje planar axial S_2 y pliegues F_3 , estos últimos ligados a esfuerzos de orientación Noreste, posteriores al principal transporte tectónico de los mantos. A continuación aparecen meta-areniscas cuarzosas de grano fino y color crema verdoso, finamente foliadas, donde se desarrollan estructuras combinadas de pliegues y fallas.

Seguidamente, en contacto tectónico a través de un plano de sobrecorrimentos se localiza la Formación San Cayetano.

- Estructuras tectónicas.

El plegamiento constituye un fenómeno ampliamente distribuido a lo largo de todo el perfil, con características variadas en cuanto a su forma, vergencia y orientación de sus ejes de una localidad a otra, por lo que independientemente de la orientación del campo regional de fuerzas, aquí juegan un importante rol las condiciones locales.

La Formación Arroyo Cangre se caracteriza por el intenso tectonismo reflejado en sus estructuras y aunque aparecen pliegues F_2 de charnelas relativamente amplias y suave yacencia de sus flancos, con planos axiales inclinados al Noroeste, también se describen pliegues F_3 pequeños con inclinación Suroeste, en ambos casos, relacionados con fallas de buzamiento al Sur. En condiciones de campo puede observarse la intensa foliación asociada a las secuencias contorsionadas.

Los pequeñísimos pliegues F_2 , también con sucesivas antiformal y sinformas y planos axiales prácticamente paralelos (plegamiento de crenulación) con los que se relacionan las superficies S_2 , son indicadores de una persistencia del esfuerzo en el tiempo, dando lugar al clivaje de crenulación.

El comportamiento de los pliegues F_1 parásitos a lo largo de la unidad, permite distinguir la existencia de pliegues en forma de S en su extremo más septentrional.

Al igual que las estructuras plicativas, las estructuras disyuntivas aparecen a todo lo largo del perfil, muchas veces relacionadas con las primeras. Fallas normales, inversas, de sobreempuje y de desgarre se han descrito en todas las formaciones y unidades tectónicas.

El clivaje, más o menos expresado en dependencia de la litología que afecta y la intensidad del tectonismo que lo ha originado, resulta ampliamente distribuido; a veces en forma de paralelepípedos, dando lugar al denominado clivaje de lápiz.



De forma general se distingue un clivaje S_1 pizarroso con planos subparalelos a las superficies de estratificación y un segundo clivaje de fractura con planos (S_2) relacionados a las zonas de charnela de pliegues F_2 .

Otras estructuras únicamente descritas en la Formación Arroyo Cangre lo constituyen las estructuras S-C (de esquistosidad-cizallamiento) cercanas a la zona de falla Pinar, que muestran el carácter siniestro del desplazamiento en la zona de shear.

En toda la unidad fueron descritas grietas de cizalla, de extensión e híbridas, así como vetas sigmoidales y en escalón en diferentes direcciones, muchas de ellas relacionadas al movimiento de los mantos.

Las fallas de bajo ángulo resultan abundantes, así como se observan deslizamientos a través de los planos de estratificación.

Perfil E - E'

- Descripción geológica.

El perfil se inicia al Norte de la zona de falla Pinar, por el río San Sebastián, siguiendo una dirección Noroeste 315° , desde la localidad Lagunilla.

El itinerario comienza con un afloramiento de más de 70 m^2 , constituido por esquistos silíceo-sericítico-actinolíticos y esquistos silíceo-sericíticos, con intercalaciones de meta-areniscas cuarzosas de coloración verde, muy recrystalizadas, foliadas y contorsionadas, con abundante cuarzo en vetas, y planos de esquistosidad coincidentes con los de estratificación, donde se desarrollan estructuras de esquistosidad-cizallamiento con carácter sinistral. Fueron descritos además esquistos cuarzo-sericíticos con intercalaciones de meta-limolitas, y algunas intercalaciones de esquistos negros; estas rocas se encuentran muy recrystalizadas, foliadas, plegadas y con fuerte agrietamiento. En todo el intervalo se mantiene el buzamiento Sureste de las secuencias pudiendo observarse ondulaciones que demuestran la superposición de eventos deformacionales.

Otras estructuras de interés como vetas sigmoidales y vetas híbridas, desplazadas por esfuerzos superpuestos, pliegues F_3 de chevron con inclinación Suroeste y estructuras plegadas F_3 combinadas con fallas inversas de buzamiento Noreste, se localizan hacia el contacto con la UM.

- Estructuras tectónicas.

Un amplio desarrollo de estructuras plicativas caracteriza la unidad, muchas veces íntimamente relacionadas a estructuras disyuntivas, como evidencias del intenso tectonismo a que ha sido sometida la región.

Resulta significativo la abundancia de pliegues F_2 de kink band en la Formación Arroyo Cangre, con diferente orientación de sus elementos. Aquí fue descrito un pliegue de kink band conjugado, indicador de la orientación de los principales ejes de deformación. Las contorsiones de capas relacionadas a zonas de intensa foliación resultan comunes, así como el amplio desarrollo de pequeños pliegues F_2 con vergencia Noroeste.

En una localidad aparecen expresadas pequeñas flexiones de las capas con planos axiales prácticamente paralelos en direcciones mutuamente perpendiculares, como evidencia de una superposición de pliegues F_2 y F_3 .



En el extremo Norte de la UPS, próximo al contacto con la UM tienen lugar pliegues F_3 , combinados con fallamiento inverso en sus charnelas y pliegues F_3 de chevron con planos axiales inclinados al Suroeste.

La unidad muestra un desarrollo intenso de pliegues apretados, tumbados y contorsiones de las capas, así como le es típico la presencia de pliegues de kink band y de chevron, estos últimos relacionados a su extremo más norteño, próximo al contacto con la UM. Los pliegues con amplias charnelas y buzamiento suave de sus flancos resultan mucho menos abundantes y representan un momento posterior al movimiento de los mantos; éstos están más bien relacionados a una orientación Noreste del máximo stress compresivo, desarrollándose como estructuras superpuestas.

Numerosas fallas de diferentes tipos, a veces relacionadas con estructuras plegadas, han sido descritas a lo largo del perfil, así como un amplio desarrollo de grietas de cizalla, extensión e híbridas, muchas veces relacionadas con vetas sigmoidales o en escalón.

El clivaje desarrollado en todas las litologías resulta más o menos expresado localmente, relacionado con la intensidad del tectonismo, las propiedades físico-mecánicas de las rocas y el espesor de las capas afectadas, no obstante, su orientación es variable y compleja, a veces subparalelo a la estratificación, oblicuo y prácticamente perpendicular relacionado con las charnelas de las estructuras plegadas. Se distingue un clivaje pizarroso con planos (S_1) subparalelos a las superficies de estratificación (S_0) y un segundo clivaje de fractura (planar axial) con planos (S_2) relacionados a las charnelas de los pliegues F_2 , con inclinación Noroeste fundamentalmente.

En la Formación Arroyo Cangre, los planos del clivaje S_1 poseen ángulos ligeramente más pronunciados que la estratificación al inicio del perfil ($S_1 > S_0$), mientras la situación se manifiesta de forma contraria hacia el extremo más septentrional ($S_0 > S_1$). En esta Formación aparece además con cierta frecuencia otro clivaje también planar axial, con planos (S_3) relacionados generalmente a pliegues de kink band y de crenulación (de pliegue-fractura) con inclinación Noreste o Suroeste. En una localidad aparecen las tres generaciones de clivaje. Una interesante estructura de esquistosidad-cizallamiento fue descrita en las proximidades de la zona de falla Pinar, en meta-areniscas cuarzosas de aspecto esquistoso, señalándose el carácter sinistral del desplazamiento a lo largo de la zona de shear.

DISCUSIÓN

La UPS (Piotrowska, 1987) está constituida por las secuencias terrígenas con lentes calcáreos de la Formación Arroyo Cangre y ocupa la más alta posición entre las unidades de Sierra de los Organos.

Los datos de campo aseguran el más intenso tectonismo a que ha sido sometida esta unidad, inclusive entre las demás unidades metamorfizadas, demostrado por el amplio desarrollo de las más variadas estructuras plicativas y disyuntivas, en la mayoría de los casos relacionadas entre sí.

El plegamiento constituye un fenómeno ampliamente distribuido y con características variadas en cuanto a su forma, vergencia y orientación de sus ejes, apareciendo pliegues F_1 parásitos en forma de Z, M ó S y vergencia fundamentalmente Noroeste o Sureste, pliegues F_2 con vergencia Noroeste, a veces con charnelas relativamente amplias y suave yacencia de sus flancos, y pliegues F_2 y F_3 de



crenulación relacionados a una segunda y tercera fase de plegamientos con vergencia Noroeste o Sureste en el primer caso y Noreste o Suroeste en el segundo.

El análisis cuidadoso del plegamiento F_1 parásito por afloramientos en los diferentes perfiles, ha permitido establecer cierta regularidad en su distribución, pues hacia la porción más meridional de la unidad, en los perfiles B-B' y CC' se detectan pliegues con vergencia Noroeste en forma de Z; un poco más al Norte en el perfil B-B' aparecen pliegues en forma de M; y hacia el extremo más septentrional de los perfiles B-B', C-C' y D-D' se observan pliegues en forma de S (McClay, 1987).

Comunes resultan los pliegues (F_2) similares y de kink band y pliegues F_3 de chevron relacionados fundamentalmente al extremo más septentrional de la unidad, así como pliegues F_3 con charnelas retorcidas en su límite más meridional relacionados con las calizas en las proximidades a la zona de falla Pinar (Boyer, 1986).

Fueron reconocidos además pliegues F_2 de kink band conjugados, indicadores de la orientación del principal esfuerzo compresivo en el área y plegamientos superpuestos (F_2 y F_3) mostrando un típico patrón en forma de caja de huevos por la superposición de esfuerzos de orientación Sureste-Noroeste y Suroeste-Noreste respectivamente.

El fenómeno de budinaje aparece con cierta frecuencia en toda la unidad, así como la presencia de estructuras de pinch and swell con ejes de orientación Noreste-Suroeste aproximadamente.

Las dislocaciones disyuntivas, generalmente acompañantes del plegamiento, juegan un importante papel en el cuadro tectónico de la región. Dos sistemas de fallas transcurrentes de orientación Sureste-Noroeste y Suroeste-Noreste respectivamente, de carácter diestro o siniestro constituyen dos bien definidos sistemas de fallas transversales. Son comunes las fallas inversas y de sobreempuje, estas últimas con evidentes indicadores cinemáticos en sus planos de falla que marcan un inequívoco movimiento de los mantos hacia el Norte, y fallas normales.

El agrietamiento es otro de los fenómenos ampliamente distribuidos en el área, incluyendo sus más diversos tipos. Sistemas de grietas de cizalla comúnmente conjugadas, constituidas por finas y alargadas grietas de trazos rectos, grietas de extensión, más cortas, a veces rellenas por cuarzo, constituyen sistemas de vetas, y grietas híbridas. Resultan comunes además los sistemas de vetas sigmoidales y en escalón muchas veces conjugadas.

La mayoría de estas estructuras aparecen con frecuencia combinadas en un mismo afloramiento, pudiendo determinarse la sucesión de eventos en el tiempo.

El clivaje resulta sin dudas otro fenómeno bastante generalizado y de variadas características en dependencia de las propiedades físico-mecánicas de las rocas que afecta y el carácter de las deformaciones con que se relaciona.

El clivaje S_1 afecta todas las secuencias de esta unidad; es un clivaje pizarroso, a veces esquistosidad, con planos subparalelos a la estratificación que en ocasiones difiere escasos grados de ésta; en algunas secuencias aleurolíticas su intersección con los planos de estratificación provoca la aparición del denominado clivaje de lápiz que imprime características distintivas a los afloramientos.



El análisis cuidadoso por afloramientos ha permitido establecer una regularidad del comportamiento del clivaje S_1 en relación con la estratificación, pues en todos los casos la porción más meridional de la UPS muestra una relación $S_1 > S_0$, que indica la yacencia normal de estas secuencias, mientras en su extremo más septentrional, en los perfiles B-B', C-C', D-D' y E-E', se manifiesta una relación inversa; aquí $S_0 > S_1$, indica la posición invertida de dichas secuencias (McClay, 1987).

El clivaje S_2 acompaña las deformaciones plicativas F_2 , se trata de un clivaje de fractura planar axial con planos orientados según la inclinación de los pliegues con que se relacionan, a veces se trata de un clivaje de pliegue-fractura (de crenulación) resultado de la persistencia de los esfuerzos en el tiempo. De forma general el clivaje S_2 aparece ítimamente relacionado al plegamiento originado durante la fase principal del transporte tectónico.

El clivaje S_3 es también un clivaje planar axial, pero de diferente orientación y comúnmente se relaciona con pliegues F_3 de crenulación como evidencia de una superposición de los esfuerzos en el tiempo, pliegues asimétricos de vergencia Suroeste, así como pliegues de kink band y de chevron, generalmente ligados a una evidente fase más tardía de los esfuerzos en el área con orientación Suroeste-Noreste.

El clivaje de presión-solución se distribuye regularmente en las secuencias de la parte más meridional de la unidad, acompañado a veces por sistemas de vetas sigmoidales, relacionado comúnmente al microplegamiento.

En esta misma región y muy relacionadas con la zona de falla principal (falla Pinar) aparecen estructuras de esquistosidad-cizallamiento siempre siniestras, siguiendo una orientación subparalela a la misma.

CONCLUSIONES

La ejecución de los trabajos de campo, así como del análisis e interpretación de los diferentes factores vinculados con los procesos tectónicos, permite arribar a las siguientes conclusiones.

1 - En la región han sido detectadas estructuras plicativas y disyuntivas correspondientes a tres fases deformacionales diferentes.

Los pliegues F_1 son vergentes y con ángulo interflanco muy bajo hasta isoclinal, con los cuales se relaciona el clivaje S_1 pizarroso subparalelo a la estratificación, que ocasionalmente evoluciona a esquistosidad.

Los pliegues F_2 tienen orientación Noreste-Suroeste, son generalmente vergentes y con ángulo interflanco bastante bajo. Su clivaje planar axial de fractura S_2 puede evolucionar a clivaje milonítico de la propia fase de deformación relacionada con los cabalgamientos,

El plegamiento F_3 se orienta aproximadamente perpendicular a los de la segunda y primera fase deformacional. Su ángulo interflanco es variable sin llegar a ser isoclinales. En ocasiones muestran una marcada vergencia, aunque a veces resultan bastante simétricos.



2 – La superposición de esfuerzos dirigidos desde el Noreste, las estructuras de esquistosidad-cizallamiento con carácter siniestro, los pliegues F_3 con charnelas retorcidas muy cercanos a la zona de falla Pinar, y los sistemas de fallas transversales transcurrentes diestras y siniestras, permiten interpretar la falla Pinar como transcurrente siniestra, originada a partir de una fractura de riedel sintética R_1 entre 30° y 45° del máximo stress compresivo de orientación Noreste cercano a los 025° ; de esta forma, los nuevos sistemas de fallas transcurrentes transversales de orientación Noroeste y Noreste pueden interpretarse como fracturas de riedel secundarias.

3 - Los datos aportados por el análisis del clivaje S_1 y la forma, distribución y vergencia de los mesopliegues de esta fase de deformación, así como el análisis de la disposición en el corte de las diferentes secuencias litológicas de la Formación Arroyo Cangre, permite atestiguar que la misma constituye un gran pliegue isoclinal tumbado hacia el Noroeste. Su parte baja conocida está constituida por areniscas, limolitas, meta-areniscas y meta-limolitas cuarzosas y cuarzofeldespáticas y algunas intercalaciones esquistosas. Hacia su parte alta aumenta la presencia de esquistos de diversa composición, además aparecen cuerpos de meta-gabros, meta-diabasas, areniscas tobáceas, tobas, tufitas, brechas volcánicas, anfíbolitas y calizas, a veces bastante recrystalizadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Boyer, E., 1986. Styles of foldin thruts sheets: examples from the Applachian and Rocky Mountains of the U.S.A. and Canada. *Journal of Structural Geology*, 3/4: 325-339.
- Martínez, D., Fernández de Lara, R., 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.
- Mc Clay, K., 1987. The Mapping of Geological Structures. Open University Educational Enterprises Ltd. England, 161.
- Millán, G., 1987. La asociación glaucofana-pumpellita en metagabroides de la faja metamórfica Cangre. *Bol. Geociencias*, 3 (1): 35-36.
- Piotrowska, K., 1987. Las estrucutras de nappes de la Sierra de los Órganos. *Contribución a la Geología de Pinar del Río*. Edit. Científ. Téc., La Habana: 85-156.
- Piotrowski, J., 1987. Primeras manifestaciones de vulcanismo en el geosinclinal cubano. *Contribución a la Geología de Pinar del Río*. Edit. Científ. Téc., La Habana:163-169.
- Pszczolkowski, A., Piotrowska, K., Mycznski, R., Piotrowski, J., Skupinski, A., Grodzicki, J., Danilewski, D., Haczewski, G., 1975. Texto explicativo al mapa geológico de escala 1: 250 000 de la provincia de Pinar del Río, IGP. C.N.F.G., Pinar del Río.



LARAMIDIC-AGE PLUTONISM IN THE GUERRERO TERRANE, SOUTHERN MEXICO: SOME TECTONIC AND METALLOGENIC IMPLICATIONS

P. Corona-Chávez⁽¹⁾, P. Schaaf⁽²⁾, B. Bigioggero⁽³⁾, A. Tunesi ⁽³⁾, & M. Panseri⁽³⁾,

(1) *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, Edificio U, Ciudad Universitaria Morelia Michoacán, México. (Email: pcorona@umich.mx)*

(2) *Universidad Autónoma de México, Instituto de Geofísica, México. Circuito interior, Ciudad Universitaria, México D.F.*

(3) *Università degli Studi di Milano-Bicocca Dipartimento di Scienze Geologiche e Geotecnologie, Milano, Italia.*

Laramidic-age magmatism along the northern and southern Cordillera as a coeval magmatic belt with the timing of the Laramide orogeny during the Late Cretaceous to Paleocene (80-55Ma) is inferred to have a spread tectonic placing which could be close related to the fold and thrust belts, blocks uplifts and contemporaneous or latest orogenic deformation.

Based on the analysis of radiometric, geochemical and geobarometric data of plutonic rocks which ages ranging from 66 to 45 Ma (Laramidic Magmatic Belt; LMB) in the Guerrero terrane, southern Mexico, we discuss their tectonic relationships and ore deposits distribution.

LMB is mainly exposed along the present-day coastline of southwestern Mexico (Figure 1). The outstanding of the LMB is that, although it was emplaced over a time span of as much as ~21 Ma, all of these plutons were mainly emplaced in the upper crust regime and, they are presumably contemporary to the latest and/or slightly post-Laramidic deformational scenario.

LMB is constituted by irregular, zoned and asymmetric granodioritic plutons which include some large mafic gabbroic bodies. Boundaries are commonly sub-vertical sharp type associated with low-pressure metamorphic contact assemblages and, they always show close relations with internal (cross-cut) and external faults developed in a brittle

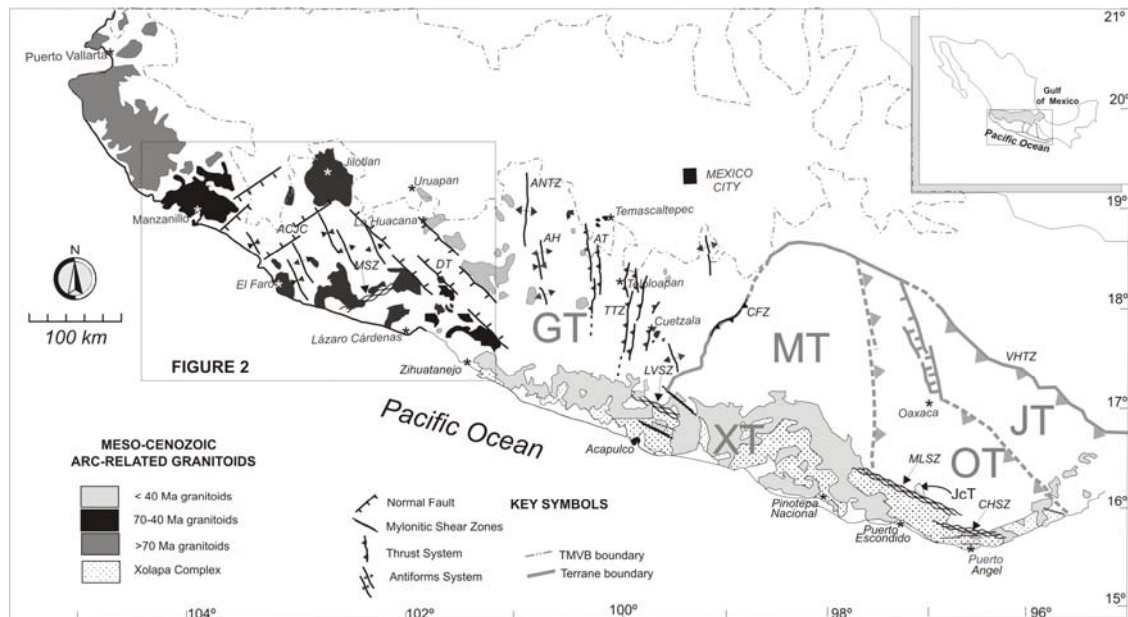


Figure 1. Meso-Cenozoic arc-related granitoids in southern Mexico. GT: Guerrero terrane; MT: Mixteco terrane; OT: Oaxaca terrane; JT: Juchatengo terrane; XT: Xolapa terrane.

regime. They are usually undeformed granitoids and there is rare internally magmatic foliation; however, pegmatitic and aplitic dykes are commonly close related to radial or orthogonal joints systems. This geological structure is concordant with the emplacement depths, which we have estimated using the $Al_{(tot)}$ geobarometer in calcic-amphiboles of granitoids, which are ranging from 8 to 12 kilometers (2.6-4 Kbar).

Geochemical compositions are essentially calc-alkaline type with 62-70 wt% SiO_2 . Isotopic and trace elements show locations on the Cordilleran tectonic setting of magmatic arc with compositions from 0.7036 to 0.7050 of $^{87}Sr/^{86}Sr$ and relative enrichment of LILE and LREE and, variable anomaly of Eu.

The irregular geometry and compositional distribution of intrusions of LMB are usually associated with orthomagmatic and/or skarn type ore deposits system of Fe-Cu and rarely Au-Cu. Most of the Fe-Cu ore deposits are specially related to the occurrence of the mafic or tonalitic portions. However, the metallogenic relationships are not well explained.

The remarkable outcome is that, although the LMB is not genetically related to the Cretaceous volcanogenic host rocks affected by open folding; the irregular size and placing of plutons seem to be apparently at close relationships to the geometry of antiforming, overthrusting and other related shear or brittle structures. Subsequently, most of these intrusive bodies of the LMB can not be considered as a "typical" example of post-laramidic magmatism. We argue that, the LMB magmatism apparently was formed by latest Laramidic subduction process which could be characterized by the waning and/or migrating of the magmatism developed above the zone along which the subducting slab eventually steepened and descended into the deep mantle. This magmatic process was also coeval with the latest Laramidic deformation characterized by a transitional changing of the deformational mechanism related to the early uplift and a transpressional deformational process and associated with moderate temperature



shear zone and brittle systems. Therefore we suggest that the emplacement of the Laramidic-age plutons and aerial erosion of offshore and limited continental regions can be related, at least in part, to an important continental uplift-faulting processes related to latest Laramidic process.

Although they fit on the different geodynamic and tectonic processes, by confronting the temporal data, the tectonic framework and the geological features of the LMB in southern Mexico, are large resembling to each other the Paleocene-Eocene magmatic arcs in North America and Greater Antilles. There is also a relative coincidence with their ore deposits and metallogenic belts.

Even though, it is obvious that there is no direct geological correlation between these Paleocene-Eocene magmatic arcs; the similarity of these resembling geological settings could be understand considering that whereas the Laramide-age magmatism is widely believed to post-date the late-Early to Late Cretaceous accretion in the Cordilleran terranes; Paleocene-Eocene magmatism in the Greater Antilles post-date the coeval deformation in the Caribbean Realm which is response to the collisional event of the Caribbean Cretaceous arcs against to the Bahamas system.



“VALORACION DE LA MUJER EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE LA INDUSTRIA MINERO – METALURGICO”

Oneyda Pérez Padilla⁽¹⁾, María Isabel García De la Cruz⁽¹⁾, Nelcy Breff Pérez⁽¹⁾ y Mercedes Mosqueda⁽¹⁾

(1) Empresa Çdte. Ernesto Che Guevara, Carretera Moa Baracoa, Yagrumaje Km 5 1/2 Punta Gorda Moa Holguin Cuba. - mail; oppadilla@Ecg.moa.minbas.cu

RESUMEN

Para el desarrollo de la industria minera, como para cualquier rama de la economía, los recursos humanos juegan un papel fundamental por que de ellos depende la explotación racional de los recursos minerales y tecnológicos.

La mujer, como parte de estos recursos humanos, representa un potencial importante en nuestra sociedad, por lo es necesario valorar la problemática de la misma en la producción y dentro de ello específicamente como cuadro de dirección a diferentes niveles y su papel en la ciencia y la técnica, aporte y soluciones a los problemas técnicos, económicos, organizativos de eficiencia y calidad. El trabajo se desarrolla en tres temática haciendo una valoración de la mujer minera en el proceso productivo minero, antes y después de la revolución cubana, su comparación con la mujer en el mundo en esta rama, con el objetivo de analizar nuestros problemas y adoptar las medidas para resolverlos.

Como resultado del trabajo, se demuestran los logros de la mujer cubana en el proceso minero - metalúrgico, las medidas a tomar para eliminar os problemas que aún no permiten que seamos más eficientes en nuestra labor y más útil en nuestra sociedad.

ABSTRACT

Human resources play a main role for development of the mining industry, as so as any branch of the economic, for that, that way the application of the new technologic and the rational exploitation of mineral resources depend of it.

Woman like part of these human resources represent an important potential in our society, for what is necessary to value her problem into the production's process and specifically the woman as management in different hierarchic levels, and her paper in the science and the technique, contributing with solutions to the technical, economic problems, organization, efficiency and Quality. This present work was developed in three Topics, making the mining woman's valuation in the miner productive process, before and after the Cuban revolution. And their comparisons with the woman around of the world in the mining branch, with the purpose of analyze our problems for adopting the actions to solve them. As a result of the work, the Cuban woman's achievements are demonstrated in the mining process, the Actions to be taken to eliminate the problems that not allow us to be more efficient in our work and more useful in this society.

INTRODUCCIÓN

Las mujeres cubanas, han logrando fructífera participación en trabajos de difícil categoría laboral, por las condiciones creadas por las organizaciones empresariales, políticas y de masas, como servicios médicos, alimentación, medios de seguridad contra los diferentes impactos, equipos de trabajo, normas de seguridad, capacitación, estímulos, etc. Así como la garantía educacional y el cuido de nuestros hijos en las instituciones creadas para este fin.

Nuestra organización, para el desempeño en el proceso productivo de la mujer, en cual hemos logrado resultados positivos que nos diferencian de las mujeres en el mundo, trabaja en función de



mejorar nuestro entorno por lo se consideramos necesario valorar nuestra problemática específicamente como Cuadro de Dirección a diferentes niveles y nuestro papel en la Ciencia y la Técnica.

MATERIALES Y MÉTODOS UTILIZADOS

El trabajo, se desarrolla en tres temáticas, haciendo una valoración de la mujer minera en el proceso productivo minero- metalúrgico, antes y después del triunfo de la Revolución Cubana y su comparación con la mujer en el mundo esta rama, con el objetivo de analizar nuestros problemas y adoptar las medidas para resolverlos.

Como resultado del trabajo, se demuestran los logros de la mujer cubana en el proceso minero, las medidas a tomar para eliminar los problemas que aún no permiten que seamos más eficiente en nuestra labor y más útil en esta sociedad.

Además de la bibliografía utilizadas se realizaron conversatorio con compañeras miembro de las organizaciones de masa, anir, técnicas, profesionales de nuestra empresa, de la Unión Cuba níquel así como de la sociedad de Minería y Geología.

En la elaboración de este material se consultaron mujeres trabajadoras, incorporadas a los diferentes organizaciones técnica, así como “ conversatorios con mujeres Latino Americana” de centros estudiantiles y residentes en Cuba. Además de Conferencia acerca de la problemático de la mujer en el mundo ambas tomada de la página Web 2004 y 2005.

RESULTADOS

Como resultados del presente trabajo tenemos que:

1. Permitió la posibilidad de evaluar la representatividad de la mujer en todas las esfera de la sociedad y en la producción Minero metalúrgica comparada con la mujer en el mundo
2. La mujer, es parte de los éxitos de la industria minero-metalúrgica a diferencia del mundo, que las riquezas generadas por la minería hunden cada día a las mujeres en la pobreza, el desposeimiento y la exclusión social.
3. La mujer como parte de los recursos humanos nuestra sociedad representa un potencial importante en el desarrollo de la Revolución, la misma con nuevas soluciones puede lograr mayor utilidad en el desempeño de nuevas soluciones que permitan ser más dinámicas, activas y decidida.
4. Como cuadro de dirección la mujer en la actividad productiva, no ha estado a la altura de su nivel técnico profesional.
5. En las actividades de la ciencia y la técnica la mujer ha logrado mayores resultados.

DISCUSIÓN

La mujer antes y después del triunfo de la revolución cubana

Antes del triunfo de la Revolución, la mujer tenía muy poca participación directa en las labores mineras, en aislados casos como cocinera, servicios generales y secretarias, que no pasaban de 2.00 % de la fuerza laboral.



Después del triunfo de la Revolución, la mujer como parte de esta sociedad socialista, se incorporó a todas las actividades proyectadas por la misma, incluido el desarrollo minero en cual iniciaron ya su participación en el año 1964-1968 como técnicos y profesionales en el campo de la Geología, la Geofísica en las Universidades de la Habana y Santiago de Cuba.

Con la creación del Instituto Superior Minero Metalúrgico en Moa, surgieron las primeras profesionales mineras en el año 1976, sumándoseles hasta la fecha varias generaciones graduadas en diferentes universidades del mundo, desempeñándose tanto en el laboreo minero a cielo abierto como subterráneo.

En nuestra institución, se implementó desde el año 2003 la realización de Activos de Mujeres, que a través de ellos tenemos la posibilidad de analizar nuestros problemas y adoptar las medidas para resolverlos, tanto con nuestras propias posibilidades como por el apoyo de las organizaciones políticas y de masas, desde la base hasta nivel de empresa como vía para tramitar nuestras necesidades a niveles superiores. Se realizan una vez por año y en el año 2005 se llevo la iniciativa a nivel de Unión, donde ha tenido mucha importancia la problemática de la mujer en la producción y dentro este específicamente la mujer como cuadro de dirección a diferentes niveles y su papel en la ciencia y la técnica,

Tabla N°. I Composición de la fuerza de trabajo año 2006

Composición	Mina	Empresa
Total de Trabajadores	462	2569
Cantidad de Mujeres	32	317
De ellas Dirigente	1	9
Técnico Superiores	20	119
Técnico Medios	6	61
Obreras Calificadas	5	62
Obreras no Calificadas	0	6
Cantidad en Área Adm.	3	37
Cantidad en Servicio	0	22

Tabla N°. Representatividad de la mujer con relación al total de la fuerza de trabajo

Representatividad	Mina	Empresa
Total de Mujeres	10.09%	12.33%
Dirigentes	0.21%	2.83%
Técnico Superiores	4.32%	37.53%
Técnico Medios	1.29%	19.24%
Obreras Calificadas	1.08%	19.55%
Obreras no Calificadas	0%	1.89%
Cantidad en Área Adm.	0.64%	11.67%
Cantidad en Servicio	0%	6.94%

Tabla N. Mujeres en la actividad de dirección administrativa, política y de masas.

Cargo	Mina	Empresa
Miembro Comité provincial PCC	0	1



Miembro Comité UJC Empresa	0	1
Miembro Comité del Partido	1	4
Miembro Consejo de Dirección	0	7
Miembros Buró Sindical	1	4
Miembro Secretariado Municipal, CTC,S/Prov.QME y Comité Nacional	0	2

Como se observa a nivel de empresa la mujer tiene más representatividad en la dirección (cuadro) que la minería en particular. A pesar de esto en la historia de la Explotación de los yacimientos de nuestra Empresa, la mujer se ha destacado en todas las actividades que forman su flujo tecnológico, trabajando de turno, en funciones técnico-administrativas, incluidos los trabajos de mantenimiento y economía con la particularidad de haber tenido las únicas Subdirectora de Mina y Jefe de Despacho Minero en el mundo. Actualmente en la cadena productiva de la minería contamos con compañeras que realizan funciones de jefe de brigada (2), jefe de grupo (1), trabajando de turno 10 compañeras.

Se han destacado además por su participación en Eventos Internacionales y Nacionales de la Sociedad Cubana de Minería y Geología, Eventos Internacional y nacionales de la Mujer Creadora, Forum de Base, Municipales, Provinciales y Nacionales, Eventos culturales y deportivos, en la CTC resultando destacadas a nivel de Base y Empresa. Todo lo anterior sin dejar de ser madres, cederistas, Federadas y miembro de la defensa.

Causas fundamentales de la baja participación de la mujer en tareas de dirección

1. Temor a enfrentarse a los Cargos de Dirección.
2. Subestimación de una parte significativa de nuestras mujeres.
3. Limitaciones de recursos para ejercer el trabajo.
4. Dificultades en la relación Hogar – Trabajo.
5. No poder decir siempre toda la verdad.
6. Tener superiores con bajas capacidades de proyección.

En la empresas del petróleo de Cuba, las mujeres forman el 66.66 % de los cuadros de dirección, asumiendo responsabilidades a cualquier nivel de la cadena productivas. Según testimonio en conferencia impartida en el año 2003 y 2005 en la Habana por la compañera Jefe de Negocio de CUPET, donde se dieron evidencia de lo estimuladas que se encuentra la fuerza laboral femenina.

En la Unidad Básica Mina, labora la compañera Marta Hbraika, de nacionalidad Etiope, decidió permanecer en nuestro país por el valor de la mujer en la minería y en sentido general ante todas las esferas de la economía. Actualmente se desempeña como Jefe de Brigada trabajando de turno. Ha resultado destacada y mejor trabajador en el año a nivel de empresa.

La mujer minera en el mundo

Las Compañías Mineras habitualmente solo entran en negociaciones con hombres, en pequeña escala brinda limitadas oportunidades de empleo a la mujer, cuando son contratadas es para trabajo forzoso en condiciones de explotación severas, las excluyen de los pagos de compensaciones, teniendo poco o ningún control sobre los beneficios de la explotación de los minerales. De esta forma, se vuelven cada vez más dependientes de los hombres. Generalmente las grandes corporaciones mineras no contratan mujeres.



En América Latina, la minería implica la destrucción de los valores y costumbres tradicionales, que han sido el sostenimiento de la familia y comunidades. La mujer como parte de esto, ha sido la más afectadas por la pérdida del trabajo agrícola al convertirse los terrenos en concepciones mineras. Según testimonio de la boliviana María Elena Quinteros, trabaja en una mina subterránea, para mantener y garantizar el estudio de sus seis hijos, en jornada de más de 8 horas de trabajo, con escasa alimentación y sin asignación de medios de protección, que debe adquirir con el resultado de su trabajo. Esta mujer aporta al desarrollo del país desde los profundos socavones, haciendo historia desde su frente de trabajo en el anonimato, no puede realizar paros ni huelgas porque primero está la alimentación, estudios, ropas y zapatos de sus hijos.

En la India, los salarios de las mujeres son los más bajos, no existe licencia de maternidad, no se paga durante el embarazo o el nacimiento, no se proporcionan medios de seguridad para el trabajo, y no hay infraestructura disponible para la mujer.

En Rusia el regreso al capitalismo llevó nuevamente a la mujer a situación de miserable esclavitud familiar. Las mineras sufren la mayor parte de la crisis, fueron las primeras en perder el empleo, representando el 80% de los desempleados rusos.

El Islam, considera que el papel de la mujer en la sociedad es criar y educar a sus hijos. De esta forma, se convierte en la constructora del futuro, compartiendo con el hombre la construcción del presente. El trabajo fuera de casa, le está permitido siempre que no afecte su papel en la familia, siendo considerada no apta para ingeniera, arquitecto, ni ocupar puesto de dirección, reconociendo que posee particularidades físicas, fisiológicas y psíquicas, que no le permiten adecuada participación en campos como la construcción, la minería, la defensa e incluso la política; le será suficiente ser profesora, enfermera, secretaria o trabajar en el campo de los servicios sociales.

CONCLUSIONES

- ✓ La representatividad de la mujer en la dirección de la Empresa, está por debajo de las posibilidades cuantitativas y cualitativas. En la producción minera actualmente es nula, no se corresponde con potencial técnico existente, que pueden desempeñar estas funciones.
- ✓ Para mejorar los indicadores actuales hay que trabajar en, confiar, reconocer, estimular la capacidad y posibilidad que tienen las mujeres de enfrentar los problemas. En la minería tiene poca participación en la toma de grandes decisiones dentro de la producción minera.
- ✓ Las limitaciones para que la mujer dirija están dadas por una inadecuada planificación y organización personal y por un machismo que aun persiste en nuestra sociedad.
- ✓ Las tareas de dirección permiten el desarrollo integral de la mujer, las que dirigen en el Níquel sienten satisfacción y autorrealización personal en estas tareas, las que no son dirigentes no están motivadas por estas tareas y llegan incluso a auto discriminarse.
- ✓ La ECG posee un potencial de mujeres con un adecuado potencial técnico y profesional. En la minería desde el año 1979 hasta el 2005 ha sido un valuarte importante demostrando buen desempeño en las actividades que le han sido asignadas.
- ✓ La participación de la mujer minera en entrenamientos técnicos, ferias y otras actividades relacionadas con la explotación minera en el exterior es poco, ha sido suplantada por la fuerza masculina.



BLIBLIOGRAFIA

Colectivos de Autores, Año 2005, Plantilla de trabajadores Empresa Moa

Paginas Web, Años 2004 - 2005 que abarcan temáticas sobre la situación social de la mujer en el mundo.

Entrevistas a compañeras que laboran en el grupo Cuba Níquel y profesionales de la geofísica de nacionalidad Iraníes.

Entrevistas a compañeras graduadas en Cuba, el extranjero dentro del campo de la minería y la metalurgia

CARACTERÍSTICAS ECONOMICO-SOCIALES EN LA SELECCIÓN DE PARADIGMAS PARA EL PROCESAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ATRIBUTOS EPIDEMIO. Y POBLACIONALES EN LA REGIÓN CENTRAL

Ingrid Padilla Rodríguez,⁽¹⁾ Elisabete Maria Pascholati⁽²⁾

(1) Instituto de Geología e Paleontología/ Grupo Empresarial Geominsal-MINBAS, Vía Blanca y Carretera Central, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba, ZIP 11 000, E-mail: ingrid@igp.gms.minbas.cu

(2) Instituto de Geociências – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Cx.Postal 6152 –E-mail: paschol@ige.unicamp.br

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo mostrar la incidencia de las características económico – sociales en la selección de paradigmas para el procesamiento y distribución espacial de atributos epidemiológicos y poblacionales. La división político administrativa de la región central de Cuba, sirve de escenario para probar diferentes variantes de representación, con el fin de proponer finalmente, la aplicación del “Modelo de Objetos” como el más apropiado para evaluar las posibles correlaciones entre factores naturales o antrópicos discretos que ocurran en el medio ambiente regional y local.

ABSTRACT

This paper has as objective to show the incidence of the social - economic characteristics in the selection of paradigms for the processing and spacing distribution of epidemiological and population attributes. The administrative - political division of the central area of Cuba, serves as scenario to test different representation variants, with the objective of proposing finally, the application of the “Model of Objects” as the more adapted to evaluate the possible correlations between discrete natural or antróp factors that happen in the regional and local environment.

INTRODUCCION

Estimar y correlacionar atributos sobre enfermedades, datos demográficos y costumbres socio-culturales en el mundo real a través de diferentes paradigmas y modelos, es práctica internacional de apenas unas décadas, más no ha sido utilizada a plenitud en los países subdesarrollados.

Erviti (1989), en la Conferencia Internacional sobre la Población y el Desarrollo (CIPD, 1994) en El Cairo, Egipto, destacó algunos de los aspectos y características de la sociedad cubana, las cuales sirven de patrón “privilegiado” para desarrollar técnicas para la representación espacial (espacialización) de datos. La selección de paradigmas adecuados, destinados al procesamiento y espacialización de atributos epidemiológicos o demográficos, recién comienza en Cuba, aún representa limitados esfuerzos de instituciones en la esfera de las geociencias, las que en un proceso de integración armónica han asimilado objetivos propios de la “Geomedicina”, para el análisis de posibles riesgos en la salud y en el hábitat. Mas, en modo alguno, la temática compone hoy el “Estado de las Artes” en los análisis de los problemas de salud en el país, cuando esta puede representar una herramienta útil en el planeamiento de recursos que y la guía para la atención preferencial, por especialidades en algunas regiones del país.

Considerando que las estadísticas epidemiológicas y demográficas no alcanzan su verdadera dimensión y utilidad práctica, hasta que se visualizan en una cartografía temática, es propósito de este trabajo analizar, las características socio - económicas de la región central de Cuba, al realizar

diferentes pruebas de interpolación con la información disponible, con el propósito de seleccionar y proponer el paradigma que se adecue tanto a los estudios regionales como locales.

DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA DE LA REGIÓN CENTRAL DE CUBA

En la región de estudios se localizan tres provincias que abarcan 27 municipios y en estos, 121 poblados o localidades de mayor importancia

No obstante sea desconocida la distribución detallada (georeferenciada) de la población en cada punto de los municipios, ciudades y poblados, las sedes de esos elementos político administrativos, pueden ser bien delimitadas, por los correspondientes trazos de las poligonales que representan las áreas de las principales concentraciones urbanas de la región central de Cuba. En la Figura 1 se presenta el mapa de la división político - administrativa según sus 27 municipios.

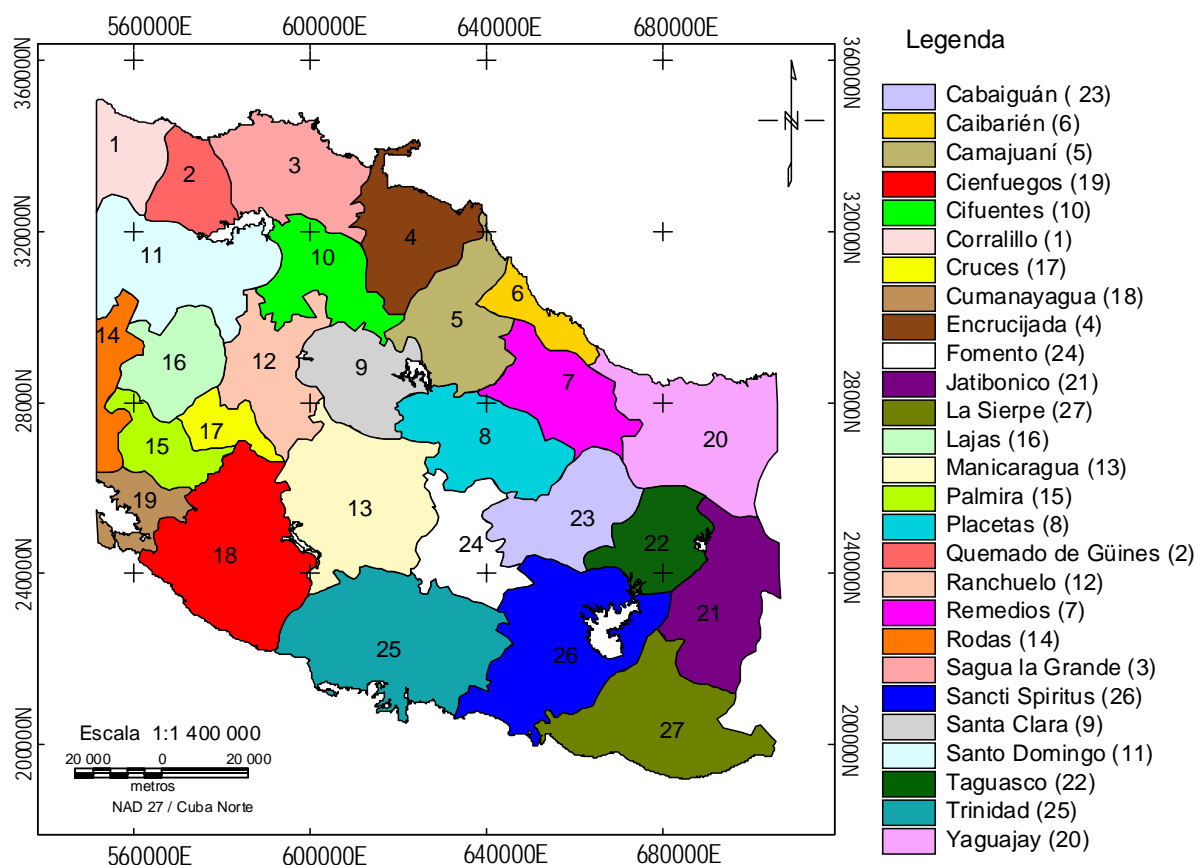


Figura 1 Mapa de la división político - administrativa en municipios, región central de Cuba.

CARACTERÍSTICAS ECONÓMICO-SOCIALES

La homogeneidad de las características económico - sociales de Cuba, pueden ser consideradas por encima de la media internacional, para abordar las estadísticas sobre registros epidemiológicos, demográficos o de cualquier otro factor incidente.

El patrón socialmente igualitario que ha desarrollado la dirección política del país, implica la inexistencia de niveles de renta que diferencien clases sociales por los recursos que posee. Por

otra parte en el plano de los derechos sociales, los servicios de salud y la asistencia social están al alcance de todos, con un nivel de desarrollo y de infraestructura que puede ser evaluado de satisfactorio a bueno. Otro elemento a destacar es la difusión de estos servicios, ellos garantizan la emisión rápida y eficiente del diagnóstico en el lugar donde vive el paciente, aspecto que resulta favorable para que el problema de salud sea registrado y pueda ser analizado conjuntamente con los atributos del entorno, tanto natural, como antrópico.

También existen otras disposiciones de tipo social y político en el país, que contribuyen a la permanencia de las personas, en general, y de los pacientes, en particular, en sus respectivas localidades de residencia; nos referimos al Decreto - Ley No. 147, del 21 de abril de 1994, Acuerdo No. 3808, el cual aprueba los objetivos, funciones y atribuciones específicas del Instituto de Planificación Física adjunto al Ministerio de Economía y Planificación. Es de la competencia de esta institución, controlar el desarrollo armónico de los núcleos poblacionales, el cual subordina las necesidades individuales a las soluciones sociales, aprovechando en el desarrollo, la urbanística pre-existente (energía eléctrica, acueducto, red de albañales y la infra-estructura general). Este ordenamiento armónico concurre favorablemente también a la confiabilidad de los registros de datos en la región (Erviti 1989); Conferencia Internacional sobre la Población y el Desarrollo (CIPD, 1994).

PARADIGMAS PARA EL PROCESAMIENTO Y LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS ATRIBUTOS EPIDEMIOLÓGICOS Y POBLACIONALES

Los métodos aleatorios de muestreo dirigidos inicialmente a las investigaciones agrícolas, sirvieron de base para realizar inferencias en relación a la supervivencia de especies y sobre los posibles factores causantes de muertes. En analogía con esos primeros estudios, los métodos aleatorios de procesamiento estadístico y muestreo, fueron extendidos a ensayos clínicos, estudios de control de placebos en la industria farmacéutica y en otras esferas, para el monitoreo de enfermedades en poblaciones y más recientemente, en la medicina preventiva en estudios epidemiológicos (Ralph 2000; Breslow, 2000).

En ese proceso de desarrollo, el modelaje cartográfico de los atributos, tiene un papel importante en la localización de sucesos estadísticos y en el trazado de estrategias de prevención y reposición ambiental. Los trabajos de Berry (1964) y Sack (1973) constituyen las pautas de esos paradigmas. Posteriormente, los Sistemas de Información Geográfica *SIG*, facilitaron que factores locales (cualitativos o cuantitativos) de cualquier evento en el entorno, sean representados por composiciones temáticas de diferentes variables (atributos), expresadas en un formato matricial (Berry 1964). Los datos de la matriz mapeada tendrán dos vías de entrada; las filas indexadas por las unidades experimentales o levantadas sobre la "población objeto de estudio", mientras que las columnas, representan las variadas características (atributos) de los datos medidos en el entorno. De esta forma los atributos alcanzan significado local en la vecindad.

Para la espacialización de las variables, si el objeto se inter-relaciona con una geometría de imágenes, el formato conocido como *raster* es el apropiado, mientras si es discreto el "Modelo de objetos", debe ser el indicado. En estos modelos debido a la propia naturaleza determinística de los datos (con reconocida pérdida de información en la representación de elementos o variables), son importantes los criterios estadísticos obtenidos en la vecindad de la media (valores mínimos, medios, máximos y la desviación *standard*). Con esta representación, las estimaciones que emplean interpolación numérica, serán concordante con la naturaleza y distribución de las variables y, los eventos se estiman en el sentido probabilístico y de tendencias (Haining 1995; Haining & Wise 1996; Ferreira 2003).

Otro elemento a considerar es la escala de análisis, los paradigmas que permiten la espacialización por campos continuos pueden no garantizar la necesaria independencia espacial entre los atributos, de manera que éstos posibiliten el adecuado establecimiento de tendencias o correlaciones. Mientras que, el “Modelo de Objetos” exactos, por su propia concepción, permite la construcción de tendencias y relaciones entre los atributos de la base de datos, a pesar de que tenga limitaciones para el modelaje a escala global, por la pérdida de exactitud (Burrough 1992; Burrough & Frank 1995; Gatrell *et al* 1996; Ferreira 2003). Para la selección del paradigma adecuado, se impone la realización de pruebas o *tests* que permitan analizar cual opción de representación es más apropiada.

MATERIALES Y METODOS

Teniendo en cuenta los antecedentes históricos, y conociendo que los procesamiento *raster* son más amigables y requieren de menor recurso de cómputo, se propone para el estudio y la selección del modelo de representación, un posible tratamiento *raster* para los atributos disponibles,

La siguiente secuencia de análisis se aplica a los datos “discretos” de la población, con base al año 1998 de la región central de Cuba, éstos se interpolan y clasifican según las técnicas:

- Interpolación por el Inverso ponderado de la distancia (*IDW*);
- Interpolación por la técnica *Spline*;
- Atribución de proximidad por la vecindad y reclasificación;
- Estimación de proximidad por la técnica *Buffers*.

Se observa en las Figuras 2(a, b) y en la Figura 3(c) que en cualquiera de las variantes de interpolación aplicadas, las cartografías *raster* del conjunto poblacional, se condicionan al valor atribuido al punto de referencia de manera tendenciosa. La baja densidad de puntos con atributos de población en la región y la distancia que los separa no garantiza una distribución *raster* precisa para que estas cartografías puedan ser empleadas en las evaluaciones posteriores con los datos de salud. Se explica a continuación como opera cada técnica, y, se acompaña con las cartografías correspondientes de las Figuras 2(a, b, c) y la de la Figura 3. La aplicación de la técnica *IDW*, mostrada en la Figura 2 - a, atribuye al *pixel* el valor interpolado según la ponderación de los datos de población a través de una función lineal del inverso de la distancia entre los puntos que representan la muestra. Los datos próximos al punto, tendrán influencia principal, reflejando más detalles del punto de referencia y menor influencia de los puntos circunvecinos permitiendo obtener solamente los mejores resultados cuando el muestreo es suficientemente denso y semejante, para simular las tendencias de la superficie (Philip & Watson 1986).

En el caso del *Spline*, la técnica impone que la superficie de interpolación pase exactamente a través de los puntos de datos, garantizando una superficie continua y diferenciable. Para una distribución poco uniforme de datos, sean estos de población o de salud, cuando la malla no consigue abarcar (para la escala) una cantidad semejante al mínimo requerido para interpolar (8 puntos), el proceso requerirá de la expansión de la matriz hasta alcanzar ese mínimo; consecuentemente, se generará una superficie como la presentada en la (Figura 2 - b), que a pesar de satisfacer los datos que describen un campo de naturaleza potencial o estadística de alta densidad de puntos, resulta grosera para la espacialización de datos de población o salud, que en general no garantizan esas exigencias.

Con el fin de obtener una espacialización mejorada de los datos poblacionales georeferenciados sobre la base de las distancias Euclidianas entre las localidades vecinas en la región, fueron agrupados los datos de población aprovechando la rutina *Assigns proximity*, del *Arc View*, ésta divide la región en un conjunto de polígonos *Thiessen* y, al mismo tiempo, genera para éstos un *grid* (malla)

que refleja simplemente la magnitud o elevación de esos datos. Ese *grid*, posteriormente re-clasificado por intervalos de población, permite obtener la imagen que es mostrada en la Figura 2-c, imagen que evidencia claramente una espacialización mas objetiva de la dispersa base de datos, mas también tendenciosa en relación a los valores de los puntos de referencia.

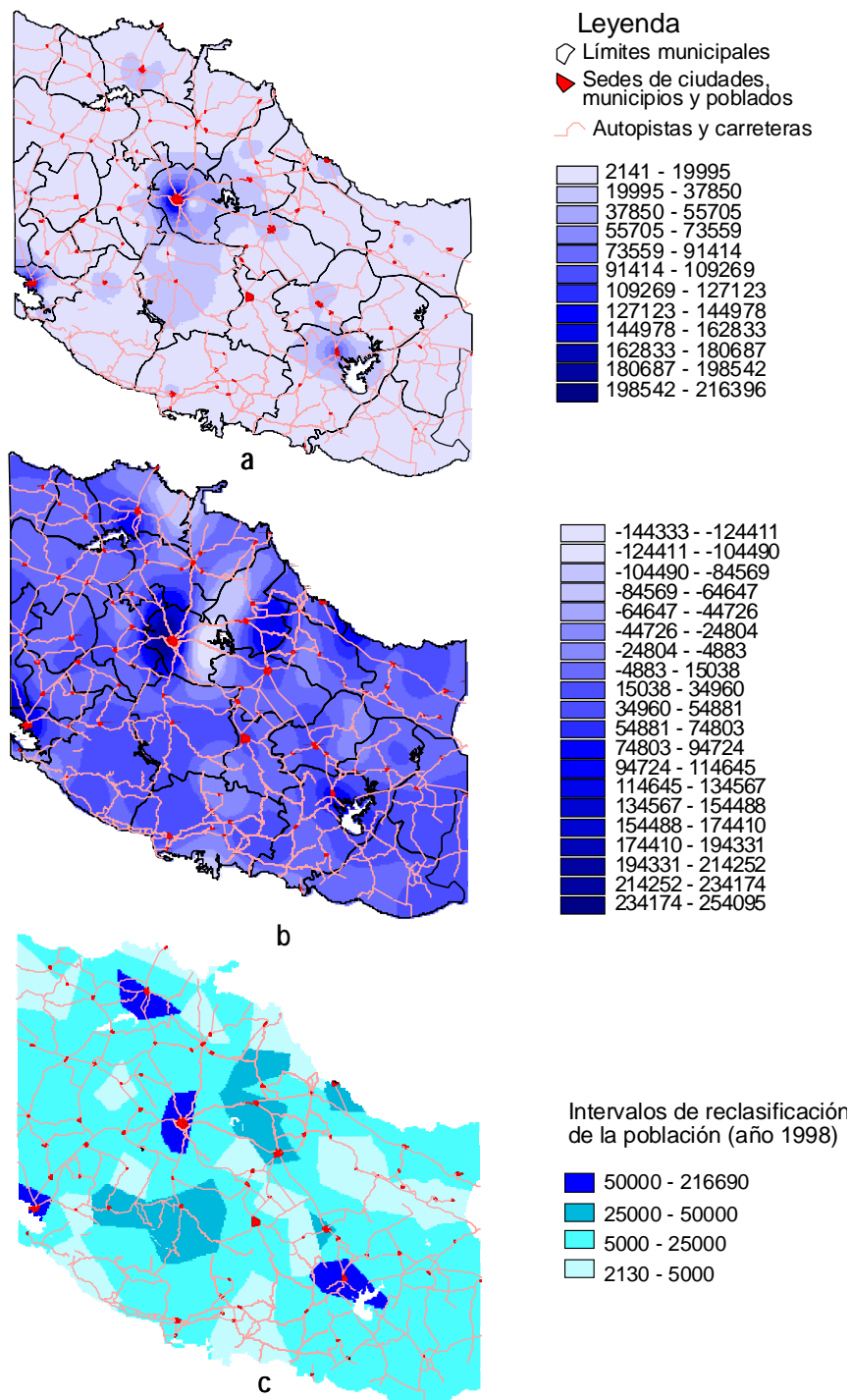


Figura 2- Mapas esquemáticos de la espacialización de los datos de población con base al año 1998, en la región central de Cuba. Técnicas de: (a) IDW; (b) Spline; (c)

RESULTADOS

Finalmente, se probó y seleccionó la técnica *Buffer*, como la más apropiada para lograr una representación cartográfica que se adecue a los atributos discretos correspondientes a las estadísticas poblacionales y epidemiológicas.

El paradigma resultante, denominado “Modelo de Objetos” (Figura 3), garantiza una distribución cartográfica más objetiva de este tipo de atributos, reflejando en su geometría correspondencia con todo lo abordado sobre las características económico - sociales de la región y el desarrollo armónico de las sedes urbanas en las provincias, municipios y poblados. En el diseño del “Modelo de Objetos”, cada una de las sedes urbanas de estas localidades, son contorneadas por elementos *Buffers* de geometría circular y radios variables proporcionales a la magnitud de sus correspondientes poblaciones. Estos *Buffers*, delimitan áreas en el intervalo de 1 km² - 3 km², dentro de las cuales, se procede a distribuir, los datos poblacionales urbanos. Para representar las poblaciones rurales, en las cuales no fue posible establecer una localización fija fuera de los límites urbanos reconocibles, éstas se asocian al *centroide* municipal correspondiente, resultando en consecuencia, una densidad poblacional rural homogénea y constante en cualquier punto exterior al *Buffer*, que pasan a representar para cualquier análisis, el área urbana dentro de los municipios de la región.

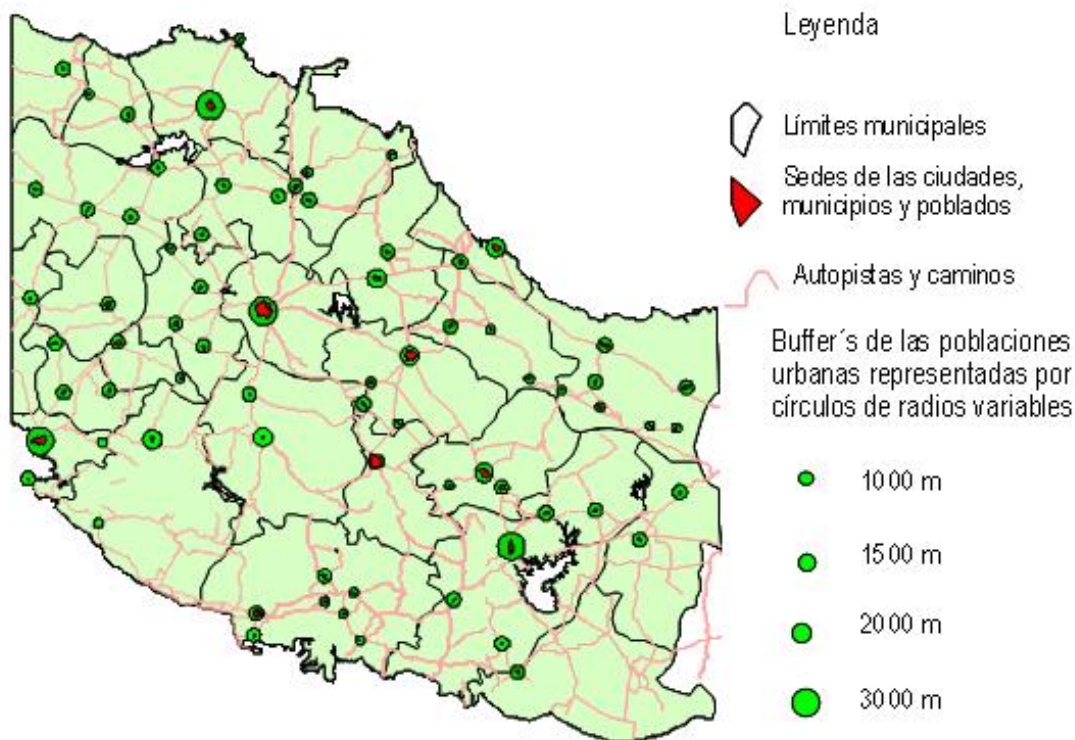


Figura 3- Mapa esquemático de la espacialización de los datos de población con base al año 1998 en la región central de Cuba. Técnica Buffer's Modelo de Objetos.

Sobre la base de este paradigma pueden ser confeccionados los mapas de densidad poblacional expresados en habitantes/ km²., así como de cualquier tipo de atributo epidemiológico para realizar posteriores análisis como se representan a continuación en las Figuras 4 y 5.

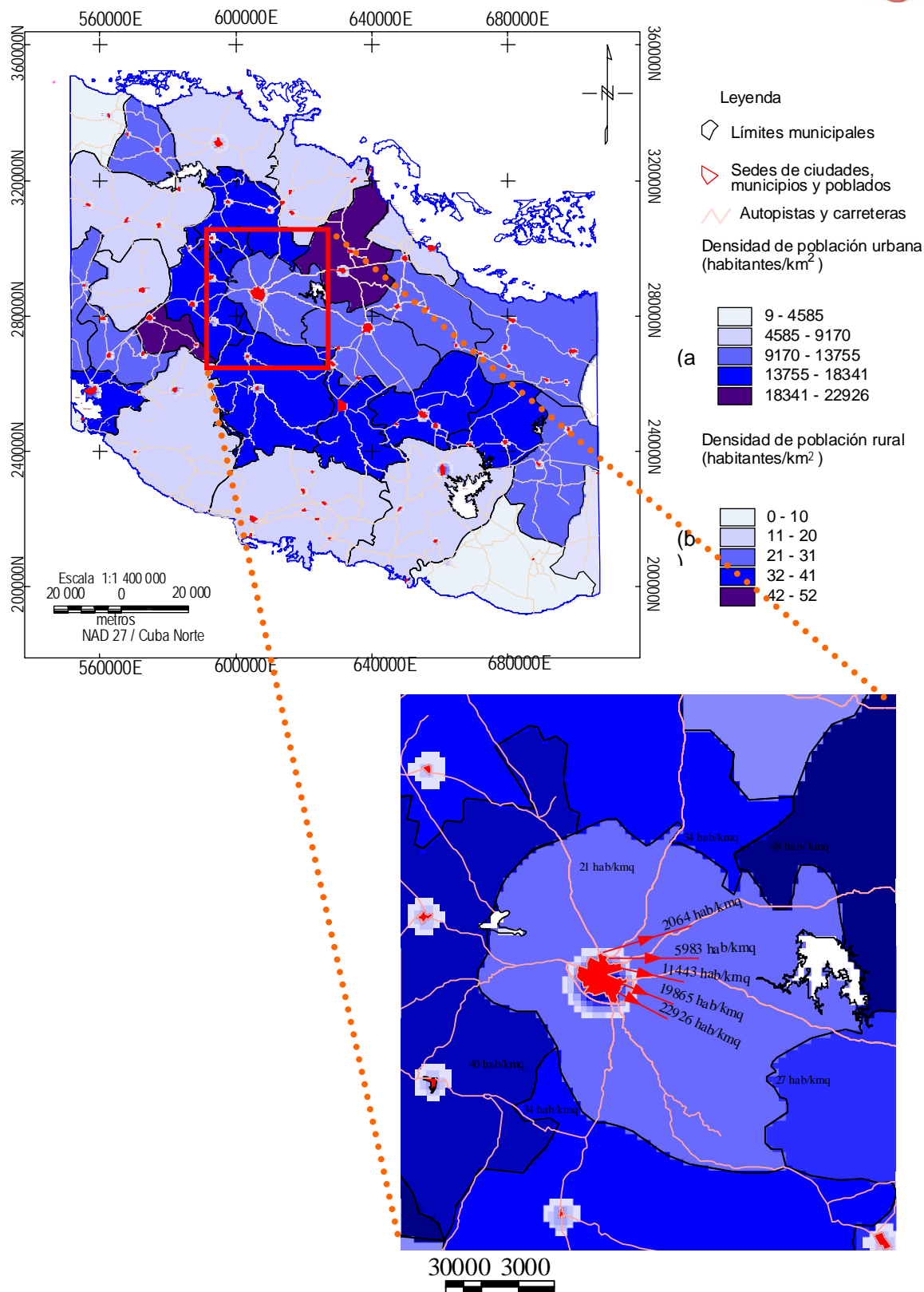


Figura 4- Mapa de densidad poblacional: (a) urbana (b) rural (habitantes/ km²), región central de

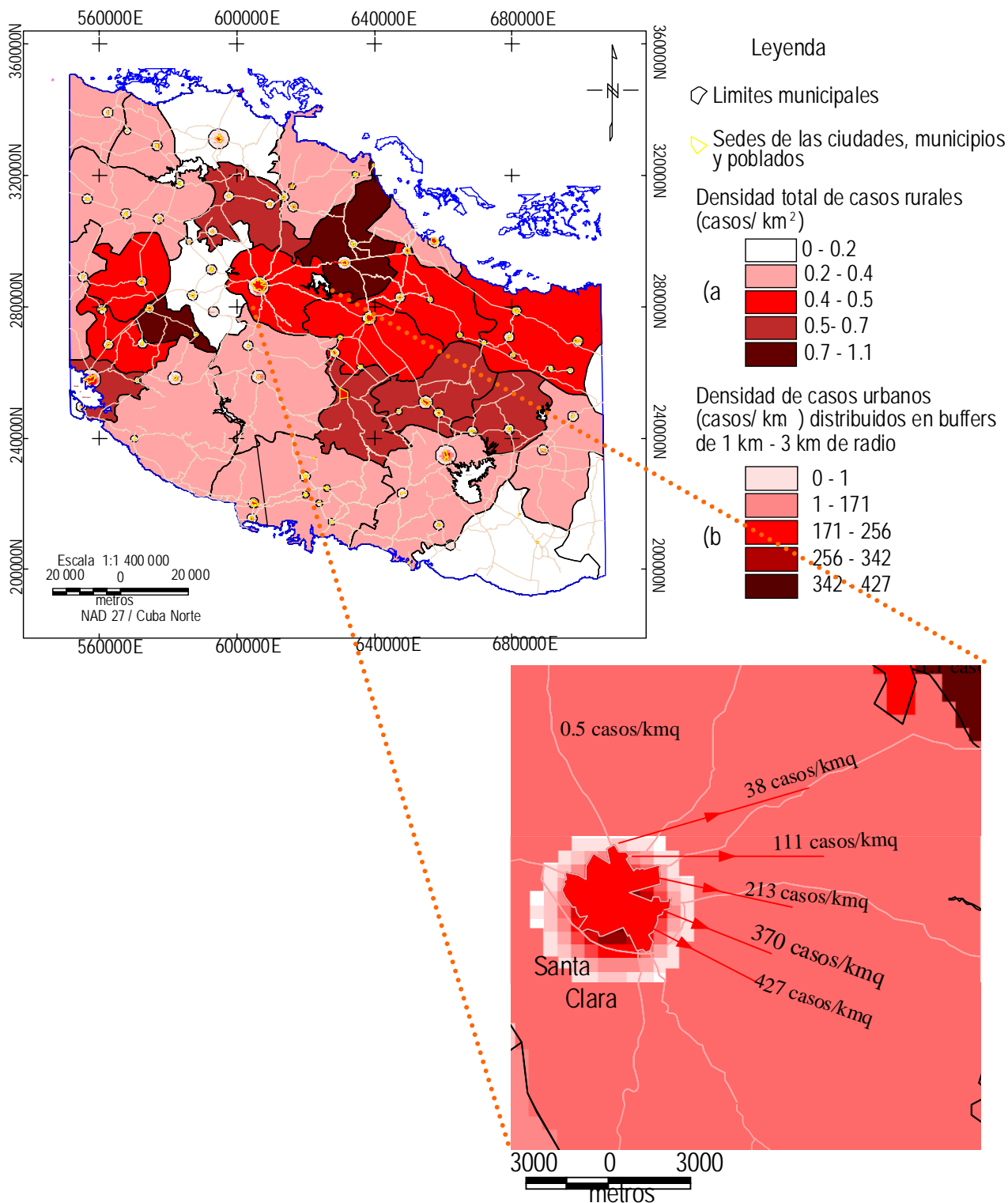


Figura 5- Mapa de la densidad de casos de enfermedades cancerígenas del tipo de tumores sólidos: (a) rurales (b) urbanos (casos/ km²), región central de Cuba.

CONCLUSIONES

El “Modelo de Objetos” seleccionado para la región, está representado por la distribución discreta de los atributos sobre población o incidencia de casos de cáncer, ambos, referenciados en las sedes de los diferentes municipios y localidades.

Los atributos, previamente agrupados y clasificados según sus magnitudes en el área, posibilitan la generación ponderada de *Buffers* de radios variables, que al combinarse con las ventajas de los modelos basados en el *Kernel*, conducen a una espacialización más objetiva de los atributos.

El paradigma seleccionado concuerda con la supuesta homogeneidad geométrica, que las condiciones socio - económicas imponen al desarrollo de las respectivas localidades a través de la aplicación del Decreto - Ley No. 147, del 21 de abril de 1994.

Las cartografías resultantes de aplicar el “Modelo de Objetos”, Figuras 4 y 5 se probaron con éxito en los análisis probabilísticos de las ocurrencias tanto totales como específicas de enfermedades cancerígenas en la región central de Cuba. Se recomienda a la esfera de la salud su empleo para la representación cartográfica de futuros estudios epidemiológicos y socio - culturales, en esta y otras partes del territorio nacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERRY B.J. Approaches to regional analysis: a synthesis. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 54, p. 2 - 11, 1964.
- BRACKEN I. A surface model approach to the representation of population - related social indicators. In: Fortheringham A.S., Rogerson, P. *Spatial Analysis and GIS*. Taylor & Francis: 15 - 37, 1994.
- BRESLOW E. N. & GIANOLA, M. Statistics in the Life and Medical Sciences. *Journal of the American Statistical Association*, 95i (449), 2000, 281 p.
- BURROUGH P.A. Are GIS data structures too simple minded? *Computers and Geosciences*, 18 (4): p. 395 - 400, 1992.
- BURROUGH P.A. & FRANK A. U. Concepts and paradigms in spatial information: are current geographical information system truly generic? *International Journal of Geographical Information system*, 9 (2) p.101 - 116, 1995.
- CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE LA POBLACIÓN Y EL DESARROLLO (CIPD) Cuba Informe sobre la evolución de su población y la interrelación con el desarrollo. El Cairo, Egipto, 1994, 6 p
- DIGGLE P.J. A kernel method for smoothing point process data. *Applied Statistics*, v. 34, p. 138 - 147, 1985.
- DIGGLE P.J. A point process modeling approach to raised incidence of a rare phenomenon in the vicinity of a pre - specified point. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, v.153 p. 349 - 362, 1990.
- ERVITI, B. Urbanización y asentamientos humanos en Cuba. Serie Monográfica, CEDEM, 23, La Habana, v. 43, p. 1 - 43, 1989
- FERREIRA M. C. Análise espacial e modelagem cartográfica de epidemias de dengue: proposta de método. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Tese de Livre - Docência, 2003.
- GATRELL A. C., BAILEY T.C., DIGGLE P. J., ROWLINGSON B. S. Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology. *Trans. Inst. Br. Geogr.* NS 21, p. 256 - 274, 1996
- HAINING R. J. Designing spatial data analysis modules for geographical information systems. In: S. Fortheringham & P. Rogerson (eds) *Spatial Analysis and GIS*, London, Taylor & Francis, p. 45 - 63, 1995.
- HAINING R. J. & WISE S. Design of software system for interactive spatial statistical analysis linked for a Gis. *Computational Statistic*, v.11, p.449 - 466, 1996
- MARTIN D. Mapping population data from zone centroid locations. *Transactions of the Institute of British Geographers* NS, 14, p. 90 - 97, 1989.
- MARTIN D & BRACKEN I. Techniques for modeling population - related raster databases. *Environment and Planning A*, v. 23, p. 1069 - 1075, 1991.

- MARTIN D. *Geographic Information Systems and their Socioeconomic Application.*, London, Routledge, v. 27, p.25-47, 1996.
- PHILIP G. M. & WATSON D. F. 1986. *Matheronian Geostatistics - Quo Vadis??*, *Mathematical Geology*, 18 (1), p. 93 - 117.
- RALPH E. A Paradigm for environmental Epidemiology: Why are Effects of Environmental Exposures Different from Occupational Effects? *Editorial Environmental Health*, 55 (5), p. 295-296, 2000
- REPÚBLICA DE CUBA (COMITÉ EJECUTIVO DEL CONSEJO DE MINISTROS).DECRETO – LEY NO. 147, DE 21 DE ABRIL DE, Acuerdo No. 3808. Aprueba los objetivos, funciones y atribuciones específicas del Instituto de Planificación Física adjunto al Ministerio de Economía y Planificación, 1994
- SACK R. D. A concept of physical space in Geography. *Geographical Analysis*, 5 (1), p.16 – 34, 1973.

MODELACIÓN DIFUSA DE LOS CAMPOS GEOFÍSICOS PARA ESTUDIOS EN GEOMEDICINA

Héctor Manuel Fernández Núñez(1)

(1) Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría".

RESUMEN

Las variaciones de los eventos geofísicos en el espacio y tiempo tienen un efecto en los organismos vivos. Desde épocas muy remotas son muy conocidas el comportamiento inusual de algunos animales antes de la ocurrencia de fenómenos sísmicos y la influencia que tiene las tormentas magnéticas en muchos procesos biológicos, por otro lado la misma existencia de diferentes campos geofísicos heterogéneos con la presencia de intensas anomalías de muy variados tipos (magnéticas, gravimétricas, eléctricas, radiactivas, electromagnéticas, etc.) conduce a que no todos los seres vivos en nuestro planeta se desarrollen bajo las mismas condiciones naturales. Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado, se hace necesario clasificar una región por la influencia que ejercen los factores geofísicos en la salud de los seres humanos así como cartografiar esta clasificación, por lo que el siguiente trabajo propone una metodología que permite obtener los mapas de vulnerabilidad natural al cáncer debido a estos factores, aplicando la lógica difusa y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se ensaya la metodología en la zona de la provincia de La Habana y se utiliza el levantamiento aerogeofísico, escala 1:50000 (LAGE) con los canales del aerogamma espectrométrico y el campo magnético, igualmente es empleado el mapa de anomalías gravitatorias y el mapa geológico y tectónico. Fueron calculados otros índices geofísicos, a partir del LAGE, como el índice de producción de las rocas (HP) y las diferentes normalizaciones de los canales espectrométricos, así como la dosis de radiación terrestre (outdoor), con los cuales se diseñó el modelo difuso y con el mismo se confeccionó el mapa de vulnerabilidad que refleja el riesgo que constituyen los factores geológicos a padecer de cáncer en esta zona del país.

ABSTRACT

The variations of the geophysical events in the space and time have an effect in the alive organisms. From very remote times they are very well-known the unusual behavior of some animals before the occurrence of seismic phenomena and the influence that he/she has the magnetic storms in many biological processes, on the other hand the same existence of different heterogeneous geophysical fields with the presence of intense anomalies of very varied types (magnetic, gravimetric, electric, radioactive, electromagnetic, etc.) it drives to that not all the alive beings in our planet are developed under the same natural conditions. Keeping in mind it previously outlined, it becomes necessary to classify a region for the influence that you/they exercise the geophysical factors in the health of the human beings as well as cartografiar this classification, for what the following work proposes a methodology that allows to obtain the maps of natural vulnerability to the cancer due to these factors, applying the diffuse logic and the Systems of Geographical Information (SIG). the methodology is rehearsed in the area of the county of Havana and the rising aerogeofísico is used, it climbs 1:50000 (LAGE) with the channels of the aerogamma espectrométrico and the magnetic field, equally he/she is an employee the map of gravitational anomalies and the geologic and tectonic map. Other geophysical indexes were calculated, starting from the LAGE, as the index of production of the rocks (HP) and the different normalizations of the channels espectrométricos, as well as the dose of terrestrial radiation (outdoor), with which the diffuse pattern was designed and with the same one the vulnerability map was made that reflects the risk that you/they constitute the geologic factors to suffer of cancer in this area of the country.

INTRODUCCIÓN

Los campos geofísicos son los factores del medio natural que menos son tenidos en cuenta al hacer un estudio de salud ambiental, las causas de esta situación son de muy variados tipos siendo la fundamental el desconocimiento. Los seres vivos están sometidos a la acción de campos físicos provenientes de nuestro planeta y del espacio exterior que lo rodea las cuales influyen en ellos determinando incluso su propia existencia.

La ocurrencia de eventos geofísicos en el espacio y tiempo tienen un efecto en los organismos vivos. Desde épocas muy remotas es conocido el comportamiento inusual de algunos animales antes de la ocurrencia de fenómenos geofísicos y la influencia que tienen las tormentas magnéticas en muchos procesos biológicos, por otro lado la existencia de campos geofísicos heterogéneos con la presencia de intensas anomalías de muy variados tipos (magnéticas, gravimétricas, eléctricas, radiactivas, electromagnéticas, etc.) conduce a que no todos los seres vivos en nuestro planeta se desarrollen bajo las mismas condiciones naturales.

Los factores geofísicos inciden en la salud humana, y pueden tener un efecto directo o indirecto en ciertas enfermedades, por ejemplo el Instituto del Cáncer de los Estados Unidos considera que un 3% de las muertes por cáncer que tienen una relación con el ambiente se deben a causas geofísicas. Similares conclusiones arribaron ya desde la segunda mitad del siglo XX diferentes autores europeos (Dietrich, 1951), (Petschke, 1951) y (Tromp 1955) este último asegura que la distribución espacial del cáncer está influenciado también por estos factores. Otras investigaciones recientes (Inskip, 1994) en el análisis de las causas ambientales que pueden provocar cáncer incluye las variables geofísicas. La concentración de los metales pesados contenidos en las rocas, sedimentos y suelos es uno de los aspectos geológicos más estudiados por la geología médica. Estos elementos se encuentran en menor o mayor concentración en todo el entorno natural pero son precisamente las rocas donde más abundantes son. Muchos elementos químicos son esenciales para la salud de los seres vivos y llegan a estos a través del agua o comida que ingieren de la misma manera por el aire que utilizan para su respiración.

Procesos geológicos como la meteorización descomponen las rocas para formar los suelos, en los cuales el hombre realiza sus labores agrícolas o de ganaderías que constituyen su fuente de alimentación, por otro lado el agua viaja a través de las rocas y los gases que respiramos son de origen geológico también. Todo esto nos lleva a suponer que si la geología es la base de nuestro hábitat entonces debe existir una gran dependencia entre esta y la salud de los seres vivos.

A pesar de todos los estudios realizados en esta línea de investigación, aún no se han diseñado metodologías que permitan confeccionar mapas que muestren la influencia geológica – geofísica en algún aspecto de la salud humana, debido a esto, se propone en este trabajo desarrollar una metodología para cartografiar la posible influencia de los campos geofísicos y de la geología en una de las patologías de más alta incidencia en el país, los tumores malignos, para esto utilizaremos los conceptos de la lógica difusa aplicados en un ambiente de Sistema de Información Geográfica en un área de la provincia de La Habana con el objetivo de clasificar la vulnerabilidad natural que presenta este territorio para la ocurrencia del cáncer.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lógica difusa. Breve teoría

La lógica difusa o *Fuzzy Logic* es una herramienta matemática que en los últimos años ha tenido una gran variedad de aplicaciones, su desarrollo notable ha sido en el campo de la inteligencia artificial. El concepto de Lógica Difusa fue desarrollado por Lotfi A. Zadeh (Zadeh., 1968, 1985) al percatarse de

lo que él llamó "principio de incompatibilidad" el cual planteaba en esencia que al aumentar la complejidad de un sistema, nuestra capacidad para ser precisos disminuía. La lógica clásica es un caso límite de la lógica difusa la cual toma valores que oscilan entre dos extremos la verdad absoluta y la falsedad total. La lógica difusa permite trabajar con información imprecisa que es la que más se acerca al razonamiento humano por lo que no solo trabaja con datos numéricos sino también con términos lingüísticos que a pesar de no ser deterministas, no son del todo desconocidos y ofrecen mucha información útil. Por otro lado, lo difuso puede entenderse como la posibilidad de asignar más valores de verdad a los enunciados que los clásicos "falso" y "verdadero", pudiendo entonces considerar a las lógicas difusas como tipos especiales de lógicas multivaluadas

Como ya habíamos definido antes, la lógica difusa constituye una generalización de la lógica clásica, si nos referimos en términos de conjuntos, podemos decir que un conjunto clásico contempla la pertenencia o no de un elemento al mismo, sin embargo en los conjuntos difusos cada elemento del conjunto presenta un grado de pertenencia al mismo con valores entre 0 y 1 y que está definido por una función característica $\mu_A(x)$ llamada función de pertenencia.

Datos utilizados.

El área de estudio en cuestión abarca la provincia de La Habana, de esta zona contamos con el Mapa Digital de Cuba a escala 1:250 000 (GEOCUBA, 2000).

Información Geólogo - Geofísica

- Mapa gravimétrico (Oliva et al, 1989) el cual se digitalizó y georeferenció con el objetivo de contar con esta información digital.
- Levantamiento Aerogamma espectrométricos y aeromagnético a escala 1: 50 000 con los canales del aerogamma espectrométrico (eU(ppm) eTh(ppm), K(%) y $\Delta T(nT)$ (Chang et al, 1990, 1991)
- Se calcularon algunos índices con los datos aerogamma espectrométricos como el de eU/eTh, eU/K, eTh/K, $F = K \cdot eU / eTh$, así como la normalización de los diferentes canales espectrométricos:

$$Kn = K / K + eU + eTh \quad (1)$$

$$eU = eU / K + eU + eTh \quad (2)$$

$$eTh = eTh / K + eU + eTh \quad (3)$$

Según la literatura científica (IAEA, 2003): la normalización reduce el efecto de la vegetación y la humedad del suelo.

- *Mapa Geológico digital escala 1:100000.*
- *Mapa de suelos 1:500 000.* (Rodríguez et al, 2000) Del mismo se obtuvo los mapas de contenidos químicos (Mg, Ca, Na, K, $CaCO_3$, P_2O_5 , K_2O), también el de otras propiedades como salinidad, acidez y arcillosidad.

Información de Salud

Para conocer la distribución espacial de las enfermedades se utilizaron los mapas del sistema SIG-ESAC (Fernández, 2006) el cual brinda la información de salud al nivel de municipios de todo el país, del mismo se obtuvo un mapa de las tasas promedio por mortalidad por tumores malignos al nivel de municipios. La información brindada nos posibilita conocer como se distribuyen el índice de Mortalidad por Tumores Malignos en la zona de estudio

RESULTADOS

La radiación natural constituye uno de los principales eventos que son causantes de innumerables enfermedades, en especial las cancerígenas por lo que se hace necesario contar con un mapa que refleje la dosis de radiación natural que reciben los seres vivos en un lugar determinado. Estos tipos de mapas no están muy difundido en nuestro país, aunque ya se han hecho algunos de dosis natural

empleando el método de aerogamma espectrométricos, como los realizados en la región central (Padilla, 2002, 2005)

En el presente trabajo para calcular la tasa de dosis de radiación gamma se utiliza los factores de conversión para la serie del Th^{232} y U^{238} , y para K^{40} , para los tres códigos de Monte Carlo y los promediamos, para esto utilizamos la fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Tasa de Dosis (nGy h}^{-1}\text{)} &= \text{Concentración del radionúcleo (Bq kg}^{-1}\text{)} \\ &\times \text{Factor de Conversión (nGy h}^{-1}\text{ por Bq kg}^{-1}\text{)} \quad (4) \\ \text{Factor de Conversión (nGy h}^{-1}\text{ por Bq kg}^{-1}\text{)} &\text{ para cada isótopo.} \\ \text{K}^{40} &= 0.0414 \\ \text{Th}^{232} &= 0.623 \\ \text{U}^{238}\text{--Ra}^{226} &= 0.461 \end{aligned}$$

Finalmente para hacer una estimación de la dosis efectiva anual, se tuvo en cuenta el coeficiente de la conversión de la dosis absorbida en el aire a la dosis efectiva y el factor de ocupación al aire libre. En los informes (UNSCEAR, 1993, 2000), se considera el uso de 0.7 Sv Gy^{-1} para el coeficiente de la conversión de la dosis absorbida en el aire a dosis efectiva recibida por los adultos, y 0.2 para el factor de ocupación al aire libre. La dosis efectiva al aire libre en las unidades de μSv para un año fue calculada por la fórmula siguiente

$$\begin{aligned} \text{Tasa de Dosis Efectiva (}\mu\text{Sv y}^{-1}\text{)} &= \text{Tasa de Dosis (nGy h}^{-1}\text{)} \times 24 \text{ h} \times 365.25 \text{ d} \\ &\times 0.2 \text{ (factor de ocupación)} \times 0.7 \text{ Sv Gy}^{-1} \text{ (Coeficiente de conversión)} \times 10^{-3} \quad (5) \end{aligned}$$

Como los datos eU y eTh estaban expresados en ppm y el de potasio en (%) se procedió a la conversión en Bq/kg. Utilizando las siguientes equivalencias, (IAEA, 2003):

$$\begin{aligned} 1\% \text{ K} &\text{-----} 313 \text{ Bq/kg. Para el } \text{K}^{40} \\ 1\text{ppm U} &\text{-----} 12.35 \text{ Bq/kg. Para el } \text{U}^{238}, \text{Ra}^{236} \\ 1\text{ppm Th} &\text{-----} 4.06 \text{ Bq/kg. Para el } \text{Th}^{232} \end{aligned}$$

Calculo de la tasa de radiación cósmica.

Se empleó para este cálculo la función de doble exponencial propuesta por Bouville y Lowder

$$\begin{aligned} H_i(h) &= H_i(0) \times \left[0.205 e^{-1.649h} + 0.795 e^{0.4528h} \right] \quad (6) \\ H_i(0) &= 270 \mu\text{Sv a}\tilde{\text{n}}^{-1} \end{aligned}$$

Pero en esta investigación se utiliza una adaptación de la fórmula anterior para las latitudes geográfica de Cuba propuesta por (Zerquera et al., 2001)

$$E_i(h) = 12.79 e^{-0.39h} + 237.6 e^{0.42h} \quad (7)$$

$E_i(h)$ dosis efectiva recibida en un año para la componente ionizante $\mu\text{Sv. a}\tilde{\text{n}}^{-1}$.

$$\begin{aligned} E_N(h) &= E_N(0) \left[1.98 e^{0.698h} \right] \quad (8) \\ E_N(0) &= 5.5 \text{ nSv/h} = 48 \mu\text{Sv. a}\tilde{\text{n}}^{-1}. \end{aligned}$$

$E_N(h)$ dosis efectiva recibida en un año para la componente neutrónica $\mu\text{Sv. a}\tilde{\text{n}}^{-1}$.

h: altura sobre el nivel del mar expresada en km.

Para obtener la tasa de dosis de radiación total sumamos las tres componentes analizadas anteriormente con el cual conformamos el mapa de la figura 1.

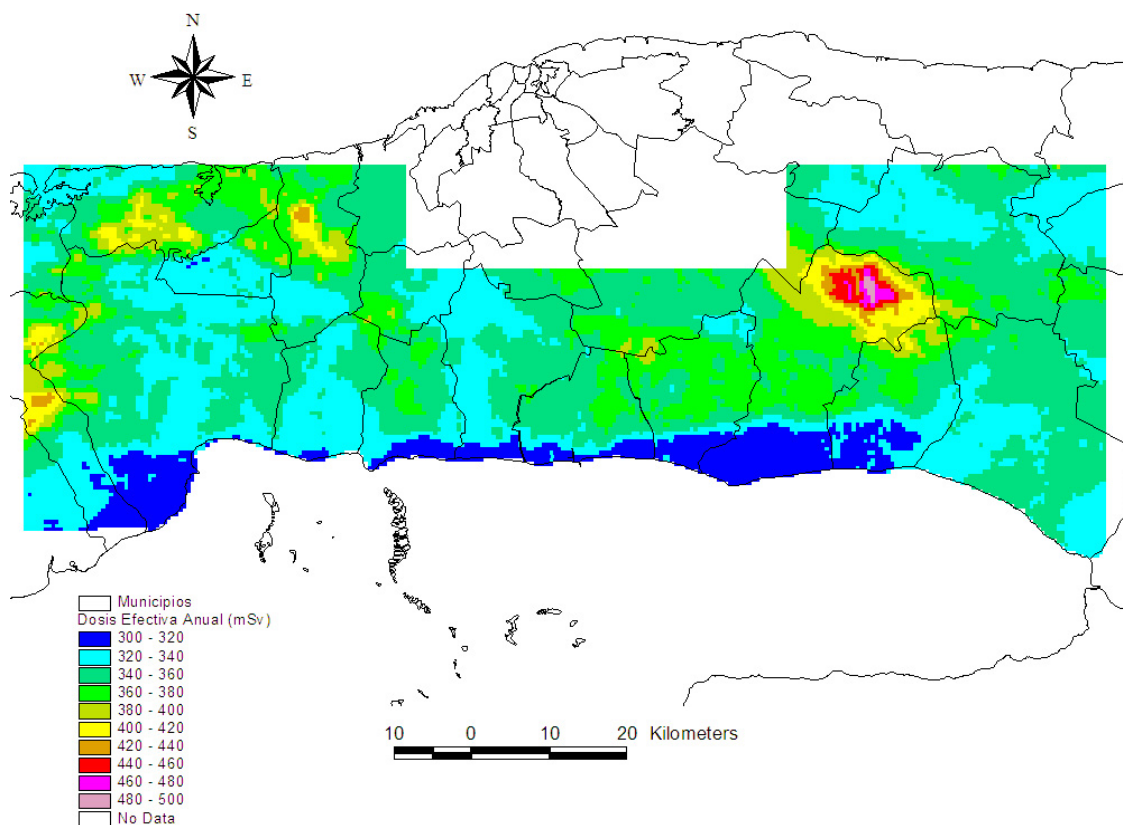


Figura1. Mapa de dosis de radiación natural ($\mu\text{Sv a\~n}^{-1}$)

La dosis de radiación (en exteriores) promedio total obtenida sumando la componente terrestre y la cósmica es de $349.51 \mu\text{Sv a\~n}^{-1}$ constituye alrededor del 40% del valor medio establecido por la UNSCEAR para la exposición a radiaciones ambientales que es de $840 \mu\text{Sv a\~n}^{-1}$ estos resultados coinciden con los de (Tomas et al, 1996 y Zerquera et al., 2001) donde utilizando otras metodologías se calcularon la dosis de radiación recibida por la población cubana y concluyeron que las dosis de radiación natural recibida por la población cubana es baja

La metodología de trabajo para el diseño de modelos difusos que nos permite crear los mapas de vulnerabilidad al cáncer debido a factores geológicos y geofísicos se presenta en la figura 2 y como se puede observar, la esencia radica en la aplicación de la lógica difusa a partir de un criterio de experto obtenido de un profundo análisis bibliográfico y de un estudio estadístico entre las variables que participaran en la confección de los modelos difusos. Para realizar esta tarea utilizamos las técnicas de los Sistemas de Información Geográfica desarrolladas por (Kemp et al, 2001)

Los autores, desarrollaron una extensión para el sistema ArcView nombrada ArcSDM. Las extensiones de ArcView son programas confeccionados por muchos investigadores para mejorar las herramientas de análisis y diseño dentro del SIG aumentando sustancialmente sus prestaciones. En el caso de ArcSDM fue diseñada para aplicar técnicas de análisis muy modernas, como pueden ser las redes neuronales, el peso de la evidencia, la regresión logística y la lógica difusa. El programa fue perfilado para la prospección de minerales, pero los autores recomiendan que puedan tener otros usos.

En nuestro caso adaptaremos las bondades de esta extensión de ArcView para utilizar esencialmente la lógica difusa en la confección de mapas que reflejaran la influencia de múltiples variables del ambiente físico en la salud.

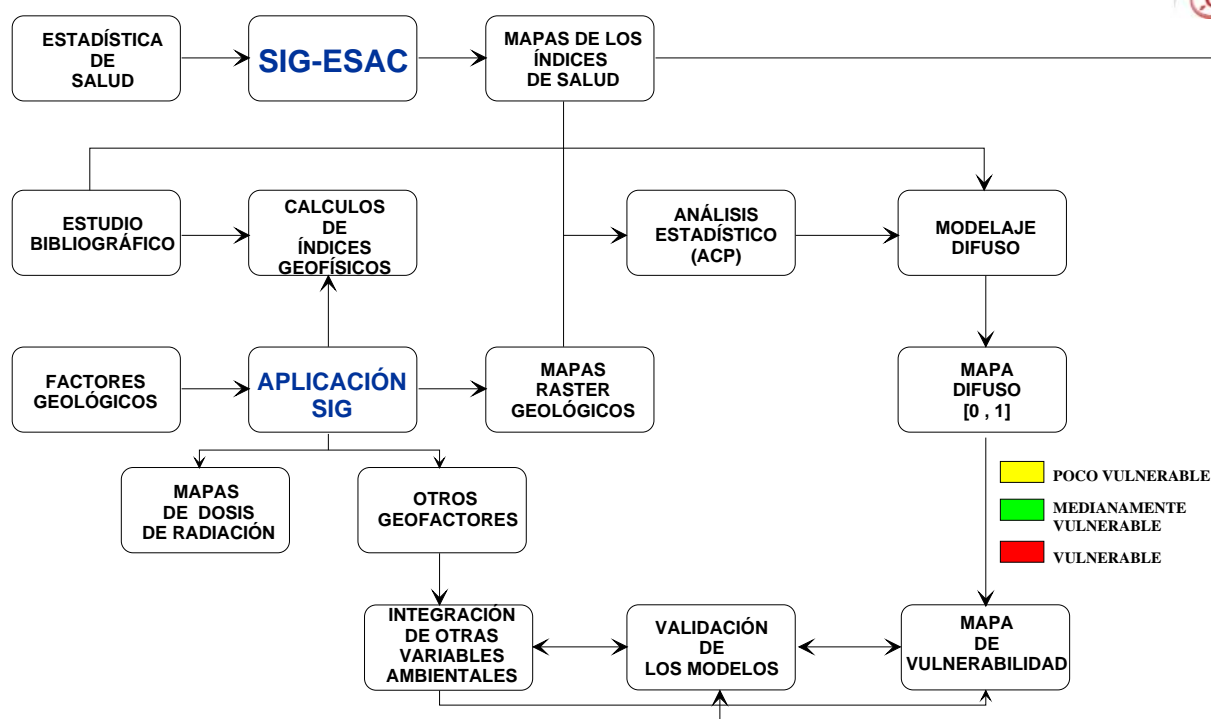


Figura 2. Metodología general de trabajo

Como parte de la metodología se propone seguir los siguientes pasos para la utilización de la extensión ARCSDEM en estos estudios:

- Crear un mapa raster, el cual enmarque el área de estudio y contemple las propiedades de los mapas que serán creados. (espaciamiento, cantidad de filas y columnas, coordenadas, etc.)
- Crear los mapas raster de cada una de las variables que participaran en el modelo.
- Reclassificar cada mapa con 9 intervalos.
- Otorgar a cada intervalo una función de pertenencia en dependencia del criterio de experto asumido
- Probar las diferentes combinaciones difusas (AND, OR, producto, suma y gamma) entre las variables.

El conjunto difuso aquí tratado es “*vulnerabilidad al cáncer*” y representa en términos lingüísticos aquellas zonas donde estas variables ambientales puedan de alguna forma directa o indirecta incidir en esta enfermedad.

En términos cuantitativos hacer un mapa de este tipo sería casi imposible para este tipo de trabajo, debido a dos aspectos fundamentales: se requiere conocer los umbrales exactos a partir de los cuales las variables geoambientales comienzan a ejercer su influencia en esta patología, solamente obtenido por estudios epidemiológicos y por ensayos clínicos de alta precisión y confiabilidad y por otro lado el carácter multifactorial de estas enfermedades.

Después de todo el desarrollo del sistema difuso, se obtendrá un mapa constituido por valores entre cero y uno, con el cual se confecciona el Mapa de Vulnerabilidad al cáncer debido a factores geoambientales utilizando el siguiente criterio:

- **Poco Vulnerable:** Zonas con grados de pertenencia cercanos a cero donde la influencia de variables naturales en esta enfermedad es muy pobre.
- **Medianamente Vulnerable** Zona con grados de pertenencia con valores intermedios donde la influencia natural en esta enfermedad existe pero no es muy marcada.
- **Vulnerable:** Zonas con grados de pertenencia cercanos a uno, donde la influencia de las variables ambientales en esta enfermedad es notoria.

Con el objetivo de probar la metodología descrita, mostraremos el diseño de un mapa que refleje la incidencia de estos tipos de variables ambientales en esta enfermedad, para esto partiremos del

conocimiento de la distribución espacial del índice Tasa de Mortalidad por Tumores Malignos (TMTM) en el área de estudio.

Debemos decir que el índice TMTM, recoge la mortalidad de algunos tipos de cáncer que no tienen causa ambiental probada por lo que la utilización del mismo para validar los modelos siempre será conservadora, a esto le sumamos que dado el carácter multifactorial de la misma no podremos esperar correlaciones lineales significativas que nos revelen alguna dependencia que podrían interpretarse como nuevas causa –efecto, además de no ser objetivo de este trabajos. Este índice simplemente nos permitirá certificar que los mapas creados muestran aquellas zonas donde la combinación de estas variables incide en la distribución espacial del mismo.

Empezamos utilizando el mapa digital del suelo, el cual posee 21 atributos de propiedades y composición geoquímica de los diferentes tipos de suelo. Se confeccionó los mapas raster para cada una de estas propiedades y se utilizó el Análisis de Componentes Principales (ACP) con el objetivo de reducir el número de variables que participaran en el modelo difuso, obteniéndose el siguiente resultado.

MO	Contenido de Materia Orgánica
Na	Contenido de Na, intercalado
K2O	Contenido de K2O
P2O5	Contenido de P2O5
Mg	Contenido de Mg, intercalado
Ca	Contenido de Ca, intercalado
SBC	Suma de Bases Intercambiables
CIC	Capacidad de Intercambio Catódico
Arcilla	Arcillosidad del suelo

A estas variables se le realizó nuevamente un análisis de factores, que nos permitió escoger las variables finales para el modelo, siguiendo el criterio de elegir las que mejor se correlacionan con el índice de salud y las de mayor peso en la primera componente principal.

Para la confección del modelo difuso se utilizaron las variables de contenido de Na, K₂O y Ca así como los índices: Suma de Bases Intercambiables (SBC) y Capacidad de intercambio iónico del suelo (CIC) que al tener pesos similares en la primera componente principal, se le otorgaron grados de pertenencia en el intervalo de (0.9 a 0.5).

El sistema difuso se combinó utilizando la función gamma con $\gamma = 0.95$ y se confeccionó un mapa que refleja que los bajos contenidos geoquímicas del suelo así como de los índices CIC y SBC inciden en las altas tasas de tumores malignos

En cuanto a los factores geofísicos, nos basamos en la matriz de correlación y en el ACP. De estos resultados se pudo comprobar que en general las variables geofísicas, no presentan muy buena correlación con el índice de salud estudiado e incluso la primera componente principal no refleja el efecto que pueden tener estas en la distribución espacial del mismo, por lo que decidimos crear un modelo difuso asumiendo un criterio de experto propio del autor diseñado a partir del estudio bibliográfico, de la interpretación geofísica y de la experiencia individual. Por este motivo mostraremos las variables utilizadas y su justificación.

- Mapa de dosis de radiación efectiva: a pesar de que los niveles radiactivos en esta zona se pueden considerar bajos, no obstante somos de la opinión que una exposición prolongada en el tiempo puede tener algún efecto biológico en los seres humanos que altere su sistema inmunológico provocándole enfermedades entre las que podemos incluir el cáncer, con este mismo criterio incluimos el mapa de uranio equivalente normalizado y el índice de Producción de Calor de las rocas (PC)
- Mapa de densidad de fallas. A través de las fallas y lineamientos tectónicos escapan desde el interior de la tierra, emanaciones radiactivas y elementos químicos que pueden afectar a los seres vivos que se encuentran en su entorno.
- Mapa gravimétrico. Las zonas de mínimos gravimétricos regionales generalmente revelan déficit de masas relacionadas con fallas y/o a otros elementos tectónicos.

- Mapa Magnético. La acción de los campos magnéticos estáticos en la salud están siendo actualmente muy estudiados, sobre todo por sus efectos a largo tiempo
- Mapa de Radiación Solar e índice de Calor. Es muy conocido el efecto del sol en algunas enfermedades y en especial en el cáncer de piel

Los valores extremos de todas estas variables inciden negativamente en la salud humana, por tal motivo los grados de pertenencia otorgados a las mismas estuvieron dentro del intervalo de (0,1 a 0,9). Los intervalos menores para los mapas reclasificados recibieron grado de pertenencia 0.1 y los mayores de 0.9 con un incremento de 0.1, excepto para el mapa gravimétrico, donde los mayores pesos eran para los intervalos de menores valores. Posteriormente utilizamos la combinación difusa Gamma con $\gamma = 0,95$ para relacionar los mapas y obtener el mapa difuso.

El mapa creado permite clasificar esta región de estudio por la influencia que tienen las variables geofísicas en ellas

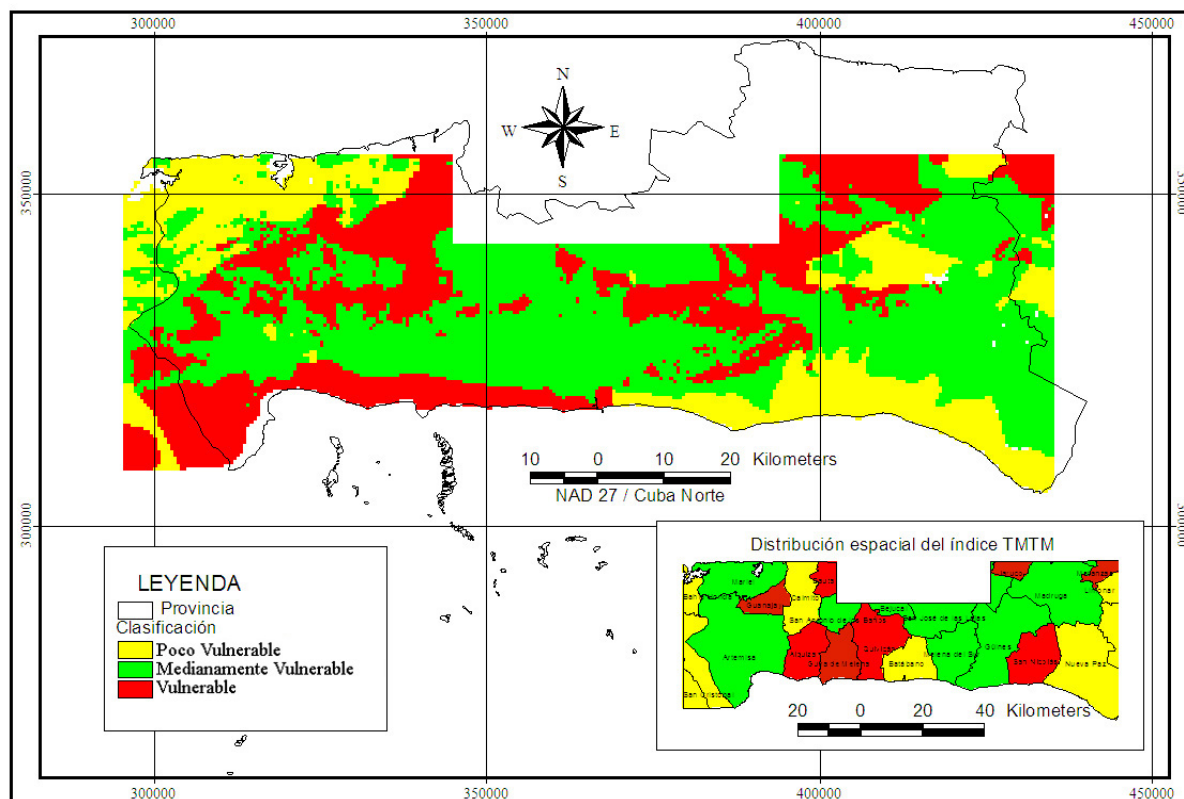


Figura 3. Mapa de Vulnerabilidad natural al cáncer debido a factores geológico - geofísico. Este modelo se combinó con el obtenido por las propiedades del suelo utilizando la combinación difusa Gamma con $\gamma = 0,9$ y finalmente se creó un mapa que refleja la influencia de la geoquímica del suelo y de la geofísica en la distribución espacial del índice de mortalidad por cáncer (figura 3).

DISCUSIÓN

La metodología propuesta en este trabajo finalmente permite obtener el mapa de vulnerabilidad al cáncer, el cual permite clasificar aquellas regiones que por sus características naturales (geológicas) la hacen susceptible a que la población que se encuentran en estas zonas padezca esta enfermedad. Este resultado hay que validarlo, para comprobar si la distribución espacial del cáncer en esta área de estudio coincide con la cartografía obtenida.

Para validar los modelos, siempre se hará utilizando las estadísticas de salud, que son las que van a indicar, si una zona amenazada coincide con zonas de altas tasas de mortalidad, morbilidad o prevalencia de la enfermedad que se analiza, por lo que hay que tener esta información en la menor célula posible. Como es sabido las estadísticas médicas siempre son referidas a una célula de origen artificial, ya sea provincia, municipio, área de salud entre otros, que nos son compatibles con la

distribución natural de las variables con las cuales aquí se trabaja, por lo que hay que trazar estrategias para que sean utilizadas con mayor eficiencia.

En esta investigación se utiliza las estadísticas de salud por municipios, por lo que se siguieron los procedimientos siguientes:

Dado que la distribución espacial de los índices de salud está referida al municipio ocurre que el valor de este, es el mismo en toda el área que ocupa esta división político administrativa, que es artificial, no siendo así para las variables del geológicas que sus límites son naturales, de ahí que lo primero es tratar de identificar el atributo natural en los marcos municipales, lo cual se hizo calculando el valor medio.

Los mapas creados al aplicar esta metodología, son resultado de una combinación difusa por lo que ellos mismos constituyen modelos difusos y sus valores se encuentran dentro del intervalo de [0, 1], siendo el valor cero las zonas menos vulnerables y el 1 las mas vulnerables, por lo tanto el valor promedio estará dentro de este intervalo y permitirá clasificar también al municipio por su vulnerabilidad a esta enfermedad.

Al calcular el coeficiente de correlación lineal(r) entre el mapa de vulnerabilidad natural con el mapa de este índice se obtuvo un valor de $r = 0.68$, sin embargo al otorgarle el valor medio a cada municipio y confeccionar otro mapa que representa la vulnerabilidad al cáncer a nivel de esta división político administrativa, nos permite tener los dos mapas de análisis en la misma unidad geográfica, por lo que al calcular nuevamente el coeficiente de correlación lineal entre ellos el valor obtenido fue de $r = 0.78$. Este resultado fue reafirmado al realizar las pruebas de hipótesis que demostraron no solo que este valor es significativo, sino que también es estable. Por lo anterior se puede comprobar que existe una gran coincidencia entre las áreas que son vulnerables, con aquellas donde existe mayor mortalidad por esta enfermedad.

CONCLUSIONES

1. Se desarrolló y validó una metodología utilizando las técnicas SIG para cartografiar la influencia de factores geoambientales en la salud humana
2. La metodología empleada, utilizando la lógica difusa es muy eficaz para descubrir patrones espaciales vinculados con la influencia de factores geoambientales en la salud humana
3. Se comprueba que la acción combinada de factores geológicos pueden intervenir en como se distribuye espacialmente un tipo de enfermedad.
4. La combinación de herramientas de análisis espacial de los SIG permite descubrir patrones que con otras técnicas sería casi imposible.
5. La dosis de radiación natural anual que recibe la población cubana presenta niveles bajos a moderados
6. El mapa de vulnerabilidad confeccionado coincide significativamente con la distribución espacial del cáncer en esta región del país.

RECOMENDACIONES

1. Acometer estudios a una mayor escala, para determinar patrones espaciales más locales.
2. Utilizar una estadística de salud mucho mas detallada para validar los mapas de amenaza elaborados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bonham-Carter, G. F., 1996. Geographic information systems for geoscientists. Modelling with GIS., 1 ed. 1994, reimpresso en 1996, Tarrytown, N. Y: Pergamon, Elsevier Science Ltd, 13. 398p
- Chang, J., L., , G. Gribnirov and Brodoboï, A., 1990. Informe sobre los resultados del levantamiento aerogeofísico complejo en el territorio de las provincias de Santiago de Cuba, Holguín, Granma y Guantánamo (Sector Pinares de Mayarí), La Habana: IGP. 314p

- Chang, J., L., L. Corbea, F. Prieto, J. Hernández and Brito, J., 1991. Informe sobre los resultados del levantamiento aerogeofísico complejo en el territorio de las provincias Guantánamo y Holguín (Sector Guantánamo Sur), La Habana: IGP. 260p
- Dietrich, A., 1951, Observations on relations of geophysical stimulation to cancer, Hippokrates, 22(11):307-308
- Fernández, H. M., 2006, SIG-ESAC. Sistema de Información Geográfica para la Gestión de la Estadística de Salud de Cuba, Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 44(3):
- I. A. E. A, 2003. Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data, Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.
- Jova, L., M. Prendes, R. Avila, L. Pérez and Pernicka, F., 1993, Estudio Comparativo de las Tasas de Dosis Gamma Ambiental en la República de Cuba, Revista Nucleus, 14(14 - 17):
- Kemp, L. D., G. F. Bonham-Carter, G. L. Raines and Looney, C. G., 2001, Arc-SDM: Arcview extensión for spatial data modelling using weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural network analysis. [en línea]. http://ntserv.gis.nrcan.gc.ca/sdm/default_e.htm
- Padilla, I., 2002, Evaluación de las dosis de elementos radiactivos en la región Central de Cuba, Doctor en CienciaS(
- Padilla, I., 2005, Evaluación de tasas de dosis de radiación gamma y modelación cartográfica de las estadísticas de mortalidad por neoplasias en la Región Central de Cuba, Instituto de Geociencias, Doctor en Ciencias(243
- Petschke, H., 1951, Cancer and geophysical influences, Hippokrates, 22(7):177-183
- Rodríguez, J. G., Trémols, A. J., Jiménez, A. H., González, J. R., Trujillo, N. F., Márquez, A. S., Díaz, M. M. and Toledo, I. d. P., 2000, Suelos 500000. Una Aplicación SIG para los servicios técnicos, la investigación y la docencia especializada., Geomática 2000, 110
- Sánchez, R., B. Rodríguez, N. Petrus, Lufriú, L., J.L. Chang, M. Pardo, I. Padilla, R. Prieto, A. Oviedo and Prieto, F., 2003, Ejemplos de la Utilización del Mapa Aerogamma-Espectrométrico 1:100000 de Cuba Como Parte de la Solución de Distintos Problemas Geológicos., V Congreso de Geología y Minería, 38- 47
- Tomás, J., L. Jova and Prendes, M., 1996, Estimación de la Carga Radiacional producida por la radiación cósmica sobre miembros del público en la República de Cuba., II Taller de Seguridad Nuclear y Radiológica,
- Tromp, S. W., 1955, Possible effects of geophysical and geochemical factors on development and geographic distribution of cancer., Schweiz Z Pathol Bakteriell, 18(4):929-939
- U.N.S.C.E.A.R., 1993. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to General Assembly, with Scientific Annexes, New York.: United Nations.
- UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to General Assembly, with Scientific Annexes, New York.: United Nations. 74p
- Zadeh, L., 1965, Fuzzy sets, Information & Control, 8(338 - 353
- Zadeh, L., 1988, Fuzzy logic, IEEE Computer, 1(21):83 - 93
- Zerquera, J. T., Prendes, M., Brígido, O. and Hernández, A., 2001, Study on External Exposure Doses Received By The Cuban Population From Environmental Radiation Sources, Radiation Protection Dosimetric, 95(1):49 - 52

UTILIZACION DE LA RADIESTESIA EN LA EVALUACION FISICO MECANICA DEL SUBSTRATO ROCOSO. UN EJEMPLO MANAGUA

Ruben Stout Smith, Leodegario Lufriú Díaz, Beatriz Rodriguez Basante

Instituto de Geología y Paleontología

RESUMEN

El proposito del trabajo es reportar algunos resultados de la utilizacion de la radiestesia en la evaluacion fisico mecanica de forma cualitativa del substrato rocoso , se ha demostrado que las investigaciones radiestesicas en el estudio ingeniero geologico proporcionan el grado de heterogeneidad de las rocas subyacentes expresado por variaciones laterales del biopotencial. Adicionalmente el complejo de métodos debía ubicar un pozo para el abasto de agua. La radiestesia fue utilizada como método de avance, posteriormente se realizó, los métodos eléctricos y la sísmica. Los puntos de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) y los perfiles de sísmica fueron seleccionados de acuerdo a los resultados de la radiestesia para optimizar los volúmenes. La interpretación de los resultados obtenidos evidencia la utilidad de la radiestesia por la rapidez y la economía de recursos.

ABSTRACT

This paper presents an example of an integrated application of the dowsing method with a complex of geophysical geological methods on the evaluation of the geological structural conditions for a niche of storage of radioactive substances. Additionally, the complex of methods should locate a well for the water supply. Dowsing technique was used as an advance method, later on was carried out the radiometric, electrical technique and seismic methods. The points of Vertical Sounding Electric (VSE) and the profiles of seismic were selected according to the results of the dowsing to optimize the volumes. The interpretation of final results evidences the utility of the dowsing for the fast survey and the economy of resources.

INTRODUCION

El objeto de la investigación del Proyecto Managua es realizar un trabajo geológico integral en un área de 0,2 km², para evaluar el estado geológico estructural del lugar donde se encuentra ubicado un nicho de almacenamiento de desechos radioactivos.

La zona de estudio está ocupada por formaciones del Cuaternario, que son infrayacidas por unidades del Neogeno (Mioceno Inferior-Medio). En las primeras se incluyen las formaciones Villarroja (Q2), y Guevara.

Para cumplir la tarea se planificaron 8 perfiles geofísicos orientados aproximadamente S-N, con distancia entre perfiles 25m, la longitud media de cada perfil 500m, además de 2 pozos de profundidad 40m y 30m respectivamente.

El complejo de investigación incluyó los siguientes métodos geofísicos:

Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

Sísmica de Refracción (SR))

La radiestesia se utilizó en primer lugar en variante de Biopotencial (Bp) y varillas en ángulo. Los resultados de la radiestesia ayudaron a seleccionar los lugares para situar los SEV y los perfiles de SR.

El resultado de la interpretación de los datos radiestésicos permitió estudiar zonas de fracturas, accidentes carsológicos, estado de conservación de las rocas, zonas de disminución de densidad etc.

La interpretación conjunta de la geofísica y la radiestesia permitió de forma eficiente y económica resolver la tarea planteada. Es de señalar que la radiestesia permitió evaluar las condiciones geológicas subyacentes al nicho, cosa que ningún método geofísico podía resolver, ya que los métodos utilizados sólo podían dar información del techo del nicho estudiado.

Adicionalmente los datos radiestésicos fueron utilizados para ubicar un pozo para agua, en este caso se ubicó un SEV en un mínimo de Bp asociado a una zona de baja densidad. Las características de la curva de SEV permitieron proponer la ubicación del pozo para agua.

Como resultado del trabajo se ha logrado concluir que el nicho está situado en una zona que no ha sufrido alteraciones geológicas en los últimos 20 años que pudieran poner en peligro su utilización posterior.

MATERIALES Y METODOS

El trabajo fue realizado en red de 25 x 10 m, se utilizaron los siguientes equipos por métodos:

Radiestesia: Varillas en ángulo y mili voltímetro digital.

Métodos Eléctricos: Registrador Eléctrico Geotrón omega 25 y ERA 89

Sísmica: Estación Sísmica Mc. Seis 170

RESULTADOS

Para cumplir la tarea de estudiar las condiciones estructuro tectónica en los alrededores del nicho, se han realizado los siguientes trabajos de investigación:

Topografía:

Trazado de 8 perfiles, de dirección submeridional con estaquillado cada 10 m, utilizando teodolitos y cintas. Además se monumentaron varios puntos para su conservación futura. Y se amarraron topográficamente los pozos realizados

Radiestesia:

El método de radiestesia se utilizó en dos variantes, varillas en ángulo y biopotencial. La radiestesia cubrió todo el área investigada, primero con varillas y después con biopotencial. Los resultados de ambas variantes fueron utilizados para orientar los trabajos posteriores. Los datos de biopotencial fueron corregidos y procesados con el Sistema de procesamiento y mapeo Geosoft, la información fue representada en forma de imagen y de isolineas de forma preliminar

no se han detectado fenómenos geológicos amenazantes al nicho. Aparentemente las rocas donde se encuentra el objetivo se muestran homogéneas y sin fracturaciones recientes.

Métodos eléctricos:

Para la realización de los SEV se empleó la instalación simétrica Schlumberger, con abertura máxima

AB=500 m y el PES fue ejecutado mediante la instalación con una abertura de AB = 50 m y MN = 10 m

(A20M10N20B).

1-En el sector norte la resistividad aparente es menor que hacia el sur, evidenciando una mayor potencia de suelo arcilloso (Formación Guevara y Villa Roja).

2- Se trazaron varias fallas.

3- La potencia de los sedimentos cuaternarios que se encuentran sobreyaciendo las calizas de las formaciones Guines y Colon oscilan entre los 10 y 20 mts

Sísmica:

Metodología y volumen de los trabajos sísmicos:

Fueron ejecutados 0.7 km de perfilaje sísmico, distribuidos en 3 perfiles paralelos separados entre sí a una distancia aproximada de 50 m y la Magistral perpendicular a ellos por la estaca -1.

El método sísmico se utilizó en su variante de Refracción empleando un sistema de observación con puntos de excitación cada 30 m aproximadamente, en tiros de avance, encuentro, 3 intermedios y 2 remotos en los extremos. La longitud del hodógrafo alcanzada estuvo entre 115 y 230 m en las 6 puestas realizadas con un Δx de 5 m entre geófonos.

Elaboración de los materiales:

Con los tiempos obtenidos a partir de la lectura de los sismogramas fueron construidos los hodógrafos

(gráficos de Δx vs t) para cada puesta sísmica. La calidad del material primario fue avalada por el chequeo de los puntos recíprocos y de empalme en dichos hodógrafos.

El método de interpretación utilizado fue el de To, obteniéndose con él la distribución de la velocidad a lo largo de la frontera sísmica, así como los cambios laterales en la misma, lo que puede ser apreciado en los cortes de velocidad construidos.

DISCUSION

Metodología de medición en la variante Biopotencial (Bp) .

Las mediciones con la variante Bp se realizan con un milivoltímetro comercial de 10 M ohm de impedancia de entrada y una precisión instrumental de 0,1 mV.

La secuencia recomendada para realizar las mediciones es la siguiente: el operador se conecta al milivoltímetro con la mano derecha al borne positivo y la izquierda al negativo (el contacto se realiza con los dedos índice y pulgar) para personas con polaridad normal. Para iniciar los trabajos el operador debe situarse en un punto de control preferentemente fuera de las zonas anómalas. En

general la primera lectura se realiza 15 segundos después de la conexión. Los puntos de medición en el perfil se medirán en un intervalo de tiempo de 5 segundos. Las variaciones ocasionadas por variables externas se controlan repitiendo lecturas en el punto de control. El intervalo de tiempo para la repetición depende del error requerido en la determinación de las anomalías. En caso de trabajos de alta precisión entonces se recomienda utilizar la estación de variación con sensores biológicos vegetales Lufriú L.(1999).

La libreta de anotaciones debe ser similar a las utilizadas para gravimetría o magnetometría es decir deben existir las siguientes columnas: No. de estaca, hora, valor de Bp, y observaciones. La presencia de objetos ferrosos o fuentes que generen campos electromagnéticos deben reflejarse en la columna de observaciones.

Las mediciones de Bp obtenidas fueron procesadas en el siguiente orden:

Corrección por variaciones externas con respecto al tiempo.

Nivelación de los perfiles medidos en días diferentes.

Los valores de Bp corregidos fueron representados en forma de gráficos de perfiles y de imágenes a color con isolíneas. Las mediciones realizadas con varillas se representaron en los gráficos de perfiles con los símbolos convencionales Lufriú L.(1999).

La interpretación de los datos obtenidos permitieron:

Definir que la zona de ubicación del nicho se asocia con valores elevados de Bp del orden de 30 mV, 10mV por encima del valor medio de toda el área. La homogeneidad de la distribución areal de las isolíneas de Bp dan idea de que las rocas subyacentes poseen un alto grado de conservación. Desde el punto de vista estructuro tectónico el nicho se encuentra en un bloque elevado delimitado por dos fallas. Según la geología de la zona las variaciones de Bp se han relacionado con las variaciones del relieve del substrato rocoso, La Conclusión anterior fue verificada con los perfiles de sísmica, el relieve de las capas con altas velocidades más de 1000 m/s se correlacionan con la morfología de los gráficos de Bp.

Los datos de Bp permitieron proponer fallas, zonas de baja densidad relacionadas con fenómenos cársicos en algunos casos según se pudo verificar con perforaciones.

El pozo No.1 fue situado en el perfil 27.5 estaca – 6, por los datos de Bp se obtuvo un mínimo y por sísmica una zona de hundimiento de la frontera de alta velocidad. A la profundidad de 25 m ocurrió una caída de barrena típico de una cavidad que puede deberse a fenómenos tectónicos, carso o ambos. El pozo No. 2 fue ubicado en una zona de mínimo alargado de Bp que por los datos de SEV coincidía con un cambio brusco de disminución de la resistividad (curva tipo H).A la profundidad de 25 m se cortó agua.

CONCLUSIONES

El objetivo fundamental del complejo de métodos utilizados fue cumplido exitosamente pues se logró completar la información ingeniero geológica para la determinación de la factibilidad geológica del emplazamiento de la obra como almacén prolongado de desechos radioactivos de baja y media actividad.

No se distinguen ninguna afectación singenética en las formaciones Villarroja (Q2), y Guevara (Q1)

por lo que se puede recomendar la ampliación de la obra en cuestión y prolongar la vida útil del nicho.

Se determinó con una precisión aceptable la profundidad de yacencia y configuración del zócalo rocoso por debajo de los depósitos cuaternarios.

La radiestesia en el complejo de métodos geólogo-geofísicos contribuyó a disminuir los volúmenes de sísmica y de los métodos eléctricos. Los tiempos de ejecución disminuyeron también todo lo cual provocó un ahorro significativo de recursos materiales y humanos.

BIBLIOGRAFIA

- Boloña, R. 1987, Instalación Experimental para el Tratamiento de Desechos Radiactivos de Baja Actividad, SEAN.
- Lufriú, L., 1999. Fundamentos y Aplicaciones de los Sensores Biológicos en las Investigaciones Geofísicas, Tesis de doctorado, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cuba.
- Sinitsin A. 1974, Radiometría, Universidad de la Habana.

CARTOGRAFÍA Y EVALUACIÓN DE LAS TASAS DE DOSIS DE RADIACIÓN GAMMA UTILIZANDO EL LEVANTAMIENTO AEROGEOFÍSICO DE LA REGIÓN CENTRAL DE CUBA

Ingrid Padilla Rodríguez,⁽¹⁾ Elisabete Maria Pascholati ⁽²⁾

⁽¹⁾ Instituto de Geología e Paleontología/ Grupo Empresarial Geominsal-MINBAS, Vía Blanca y Carretera Central, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba, ZIP 11 000, E-mail: ingrid@igp.gms.minbas.cu

⁽²⁾ Instituto de Geociências – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Cx.Postal 6152 –E-mail: paschol@ige.unicamp.br

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo evaluar las tasas de dosis de radiación gamma explotando las posibilidades del levantamiento aerogeofísico en la caracterización radiogeoquímica y la cartografía geológico - estructural del medio ambiente. La cartografía de la tasa de dosis efectiva total anual obtenida, representa la línea base ambiental para la región central de Cuba, cartografía temática de significativa utilidad e importancia para el Sistema de Vigilancia Radiológica nacional.

ABSTRACT

This study attempted to evaluate a gamma radiation dose rate, exploring the airborne geophysical survey possibilities in order to obtain a radio - geochemical characterization and the geological - structural mapping of environment. The cartographies of the annual total effective dose rates obtained represent the environmental base line for the central region of Cuba; thematic cartography of significant usefulness and interest, for the system of surveillance national radiological.

INTRODUCCION

El conocimiento geológico en la región, representado por los variados ambientes de las unidades del margen continental de la plataforma de Las Bahamas (Jurásico Superior - Cretáceo Superior), de las ofiolitas Mesozoicas con imbricaciones de las rocas del Arco de Islas Volcánico del Cretácico (AVC), de la cobertura neo-platafórmica Cenozoica, de las metavulcanitas de facies esquistos verdes y de las anfibolitas en el límite con las variadas unidades lito-tectónicas (Jurásico Inferior - Cretáceo Superior) del Terreno metamórfico Escambray, se complementa con la caracterización radiogeoquímica y la cartografía geológico - estructural, a través del levantamiento aerogeofísico .

De las diversas cartografías confeccionadas de los datos del levantamiento aerogeofísico, las matrices de las concentraciones de K (potasio), ^{40}K , ^{238}U (uranio) y ^{232}Th (torio), que representan los principales radionúclidos emisores naturales, se utilizan para evaluar cualitativa y cuantitativamente el medio geológico a través de los valores medios de las concentraciones de actividad y de las tasas de dosis absorbida a 1m encima de la superficie del terreno, caracterizando en el ambiente de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) los elementos estructurales y rocas para la región central de Cuba.

Finalmente, el mapa de las tasas de dosis efectiva total anual es confeccionado, el cual representa la línea base ambiental para las radiaciones gamma ionizantes de la región central de Cuba; cartografía temática inédita, de significativa utilidad e importancia para el sistema de vigilancia radiológica nacional.

EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DE LA REGIÓN

El mapa de (García *et al*, 2000) (Figura. 1) de la región central de Cuba, muestra como son expuestos todos los elementos componentes de un *Cinturón plegado* y sus inter-relaciones con la evolución ocurrida internamente al territorio cubano, desde el Jurásico hasta el Eoceno Medio, cuando, el *cinturón plegado*, ya maduro, inicia una etapa de desarrollo platafórmico que persiste hasta hoy

Además de las diferentes unidades de naturaleza continental y oceánica reveladas en la región central, existen también, dos suturas cretácicas vinculadas con zonas de subducción. La primera, septentrional, denominada sutura ofiolítica, representando la corteza oceánica proto - caribeña jurásica consumida en el Cretáceo Inferior, cuyos restos, constituyen una asociación ofiolítica desmembrada tectónicamente, con tendencia general NW - SE (*Sistema Cubano*), a lo largo de toda la región (Millán 1996 a). La segunda, se formó con la subducción meridional de buzamiento norte, resultante de la acrecencia y sutura con el *Complejo Mabujina*, del Terreno meridional *Escambray* Iturralde - Vinent (1994, 1996 a, b).

Al sur de la sutura ofiolítica se desarrolló el Arco Volcánico Cretácico AVC, cuyo vulcanismo está relacionado con la segunda zona de subducción, con evidencias en las formaciones del AVC, en la presencia de un conjunto metamórfico típico de zona de supra - subducción, *Complejo Mabujina* y la *Formación Porvenir*, y también, por las semejanzas en el carácter bimodal entre el protolito de esta última, y la *Formación Los Pasos* (formación tholeítica basal).

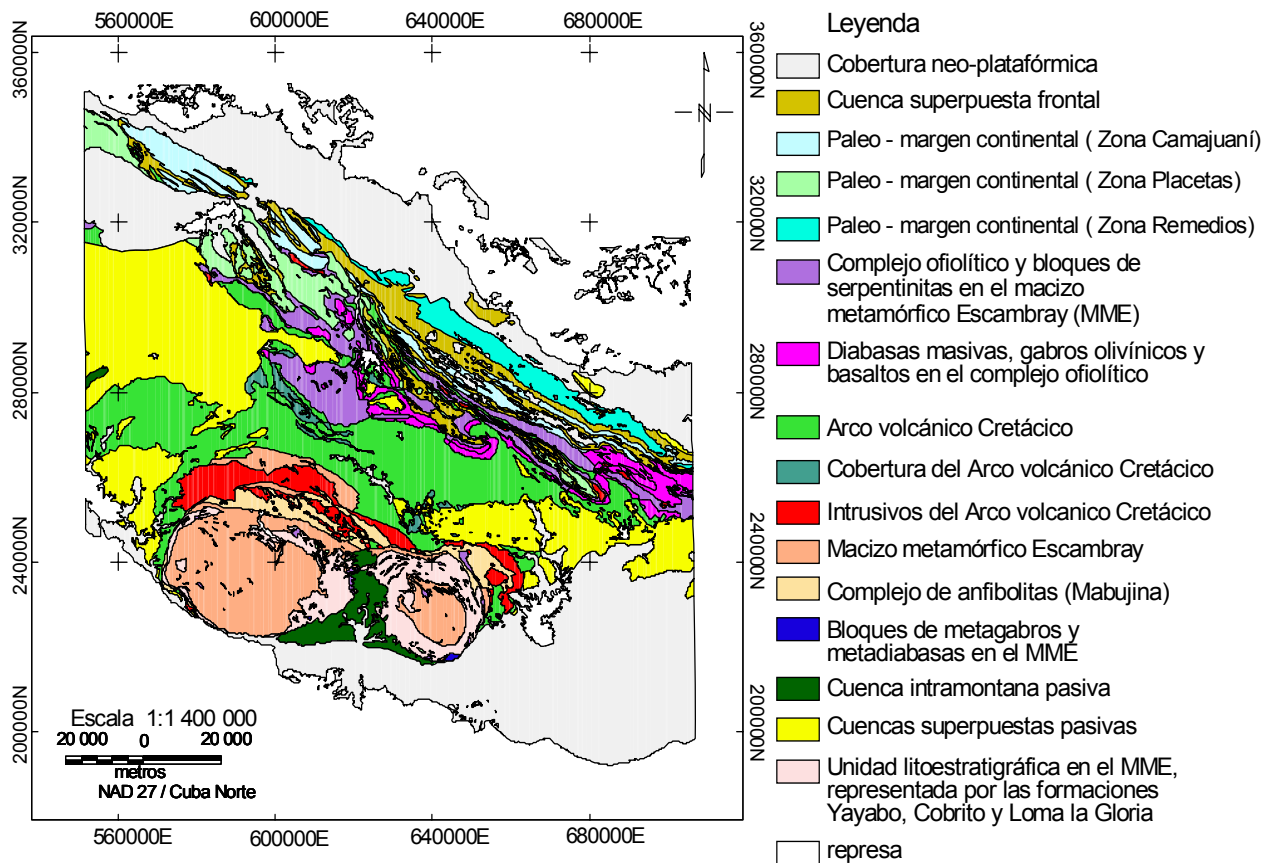


Figura 1- Mapa de rasgos estructurales y geológicos de la región central de Cuba. (modificado de García 2000)

El metamorfismo y las deformaciones del *Terreno Escambray* y del *Complejo Mabujina*, comenzaron en el Cretácico Medio, mientras que, el núcleo metamórfico, se consolidó en el Campaniano, al colisionar y suturar ambos complejos rocosos, lo que provocó la extinción del vulcanismo del AVC. Posteriormente, el AVC fue comprimido y plegado entre las metamorfitas meridionales y las ofiolitas suturadas en el Cretácico Superior, con el consecuente escalamiento de sus unidades, encima de las ofiolitas ya suturadas y de las anfibolitas Mabujina.

En el Campaniano Superior y en el Maestrichtiano, se desarrollaron tres cuencas superpuestas, aparentemente en un proceso simultáneo de transporte de todo el conjunto del *Cinturón plegado* en dirección nordeste. Luego en el Paleoceno Superior, comienza la colisión de este conjunto con el Paleo - margen continental, siendo desarrolladas, en ese intervalo, dos cuencas superpuestas *frontales de antepaís*, la primera, entre las secuencias de las *Zonas Remedios y Camajuaní* y la otra, sobre las secuencias de la *Zona Placetas*. En el frente de colisión ocurrieron deformaciones intensas que incluyeron los sedimentos de las dos cuencas frontales. Los elementos mas septentrionales del *Cinturón plegado* cabalgaron sobre el paleo - margen. Todos esos elementos estructurales están bien delimitados tectónicamente.

CARTOGRAFÍA DE LAS TASAS DE DOSIS DE RADIACIÓN GAMMA.

Estimar los niveles de exposición de la población humana sometida a los efectos de diferentes fuentes de radiación, ha sido una importante tarea desarrollada por instituciones de la rama de la energía nuclear y de otras especialidades afines a lo largo del siglo pasado y del actual. Esos estudios, abarcan la evaluación de las tasas de dosis provenientes tanto del *background* de las fuentes ionizantes naturales como de las pruebas nucleares.

Se conoce que los seres vivos, actúan como verdaderos sensores biológicos en su hábitat (Lufriú, 1993, 1998); luego, es necesario cuantificar las concentraciones de radionúclidos depositadas en los suelos y rocas, en las aguas, en el aire y hasta en el propio cuerpo humano, ya que, prácticamente sin percibirlo, las radiaciones ionizantes presentes en el medio ambiente en diferentes concentraciones, se incorporan al organismo por las vías comunes de la ingestión e inhalación. Si las tasas de dosis de radiación gamma alcanzan en el organismo niveles anómalos por encima de ciertos límites, estos pueden provocar incontables efectos físicos, químicos o biológicos (UNSCEAR 1977, Anexo A; UNSCEAR 1982, 2000).

Así, como parte del desarrollo de las ciencias y en consecuencia con sus leyes fundamentales, fue definida hace más de dos décadas, la magnitud "Dosis Absorbida" (Joule/kg), para estimar convenientemente los posibles efectos de las radiaciones ionizantes en la salud de los seres vivos expuestos. La "Dosis Absorbida" expresada por $D = d/dm$, es el valor de la energía (media estadística de la distribución de energías) depositada por la radiación ionizante (d) en un volumen elemental de la masa irradiada (dm). En esta interacción, la energía se transforma como resultado de las colisiones y de la excitación y debido a la naturaleza estadística de la ocurrencia de este fenómeno, se incurre en menores errores si, las tasas de dosis se estiman sobre la base de las concentraciones medias observadas sobre todas las distancias y direcciones (UNSCEAR, 2000). Luego, en condiciones de equilibrio electrónico entre las (partículas-fotones) cargados provenientes de los suelos y rocas, evaluar las tasas de dosis a través de los resultados del levantamiento aéreo, tiene relativas ventajas sobre las observaciones puntuales (Ramli, 1997), partiendo de la existencia hipotéticas de condiciones de equilibrio secular (particularmente para la serie del Uranio) y de una distribución espacial uniforme en una geometría de semi-espacio infinito. Con esas condiciones de contorno, se cartografía la distribución espacial de los radionúclidos-fuente sobre la base de las energías de sus emisiones (Minty *et al*, 1997)

MATERIALES Y MÉTODOS

Las ramas de las geociencias, asumen hoy nuevos retos que van mucho más allá del estudio y explotación sustentable de los recursos naturales, la evaluación de las concentraciones de los elementos naturales, con el propósito de establecer la línea de base medio ambiental de una región dada, es una de sus tareas principales. Esta línea permite conocer cuales concentraciones representan niveles de *background* o niveles anómalos, tengan estas concentraciones un origen antrópico o natural.

En línea con este nuevo perfil de estudio del medio ambiente con fines de proteger la salud, se utiliza por primera vez para Cuba, los datos de la espectrometría aérea de rayos gamma de los levantamientos realizados en la década 1980 - 1990, para caracterizar elementos estructurales y rocas por los valores medios de las concentraciones de actividad y tasas de dosis absorbidas a 1m encima de la superficie del terreno y, para confeccionar las cartografías de las tasas de dosis de la radiación gamma en la región. Esta es representada, tanto por la componente en exteriores (*outdoor*), calculada a través de la aplicación de los coeficientes de conversión presentados en la (Tabla I), como por las contribuciones de naturaleza cósmica a las tasas de dosis efectiva total anual. Esta última, fue evaluada a través de ecuaciones teóricas de manera análoga al procedimiento seguido por (Bouville & Lowder, 1988) incluido en el UNSCEAR (2000, Anexo A) pero, a diferencia con el procedimiento de (O'Brien *et al.*, 1996), en este estudio, se utilizó la matriz de los datos de relieve representados por el mapa del modelo digital de elevación (MDE) (Padilla, 2005), en el lugar del perfil de referencia de altitud. Para ambas variantes, resultó necesaria la incorporación de coeficientes empíricos de ajustes.

Las relaciones que se presentan en la (Tabla I) convierten las concentraciones de los radionúclidos ^{40}K , ^{238}U y ^{232}Th , generalmente expresadas en sus "equivalentes gramo", en valores de concentración de actividad expresadas en Bq.kg^{-1} en el (SI).

Tabla I - Coeficientes de Conversión de la Concentración de Actividad a Dosis Absorbida para los Isótopos ^{238}U , ^{232}Th y el isótopo ^{40}K .

coeficientes ($\text{nGy.h}^{-1}/\text{Bq.kg}^{-1}$)	^{238}U (sub - serie del ^{226}Ra)	^{232}Th (toda la serie)	^{40}K
*UNSCEAR (2000) Tabla 6	0,462	0,604	0,0417

*Incluye las modificaciones sobre los coeficientes estimados por (Saito & Jacob 1995; ICRU 1980b)

Esto significa que para una concentración de 1ppm en peso, hay un (Número de Avogadro)/ (peso atómico) de átomos del radionúclido por kilogramo de muestra y de porcentaje de potasio en peso de muestra, lo que esta en concordancia con la actividad o ley de decaimiento radioactivo (decaimiento/segundo), que ocurre en un radionúclido dado por unidad de masa de suelo seco (IAEA 1989; Anjos *et al.* 2004).

Con el propósito de caracterizar los elementos estructurales y rocas de la región central de Cuba mostrados en la (Figura 1), por sus contribuciones a las tasas de dosis absorbidas, las mallas de las matrices de las concentraciones de actividad y de las tasas de dosis absorbida obtenidas, fueron superpuestas a esta imagen *raster* en el contexto del desarrollo de un proyecto SIG. Las estadísticas de esta aplicación, representan resultados inéditos que expone esta investigación.

RESULTADOS

En la (Tabla II) presentada a continuación se indican los valores medios de las concentraciones de actividad y las contribuciones a las tasas de dosis absorbida de los principales elementos geológicos de la región central de Cuba.

Tabla II -Caracterización de Elementos Estructurales y Rocas por los Valores Medios de las Concentraciones de Actividad y las Tasas de Dosis Absorbidas a 1 m encima de la Superficie del Terreno.

elementos estructurales y rocas	U (Bq.kg ⁻¹)	Th (Bq.kg ⁻¹)	K (Bq.kg ⁻¹)	tasas de dosis absorbida (nGy. h ⁻¹)
Cobertura neo - platafórmica	13 (± 11)	11 (± 9)	91 (± 39)	16 (± 10)
PMC (Zona Placetas)	33(± 16)	22 (± 12)	144 (± 88)	34 (± 16)
PMC (Zona Camajuaní)	30 (±18)	21 (± 12)	85 (± 24)	30 (± 15)
PMC (Zona. Remedios)	37 (±19)	17 (± 9)	82 (± 9)	31 (± 12)
Cuenca superposta frontal	21 (± 11)	13 (± 7)	90 (± 41)	21 (± 9)
Complejo Ofiolítico	11 (± 7)	6 (± 4)	91 (± 45)	12 (± 7)
diabasas masivas, gabros olivínicos y basaltos en el complejo ofiolítico	9 (± 4)	5 (± 2)	89 (± 36)	11 (± 4)
Arco Volcánico Cretácico (AVC)	12 (± 5)	5 (± 2)	144 (± 100)	15 (± 6)
Cobertura del AVC	13 (± 5)	5 (± 2)	186 (± 24)	17 (± 7)
Intrusivos del AVC	11 (± 5)	7 (± 3)	237 (± 32)	19 (± 8)
Cuencas Superpuestas pasivas	13 (± 7)	7 (± 4)	108 (± 68)	15 (± 6)
Complejo Anfibolítico	9 (± 4)	5 (± 2)	198 (±113)	19 (± 6)
Macizo Metamórfico Escambray (MME)	18 (± 10)	10 (± 4)	124 (± 58)	19 (± 7)
bloques de eclogitas MME	16 (± 11)	15 (± 8)	187 (± 55)	24(± 10)
bloques de metagabros y metadiabasas MME	17 (± 10)	11 (± 5)	122 (± 53)	19 (± 8)
bloques de serpentinitas MME	12 (± 7)	8 (± 4)	152 (± 82)	17(± 7)
bloques de cuarzo MME	23 (±11)	14 (± 6)	215 (± 73)	28 (± 9)
bloques de metavulcanitas MME	24 (±18)	12 (± 7)	113(± 40)	23 (± 11)
Cuencas intramontanas pasivas	14 (±10)	10 (± 4)	139 (± 54)	18 (± 7)
unidad litoestratigráfica del MME formaciones: Yayabo, Cobrito y Loma la Gloria	24 (±13)	17 (± 8)	179 (± 69)	29 (± 12)

Ejemplos sobre aplicaciones que utilicen los datos del levantamiento aéreo para evaluar las tasas de dosis absorbida son extremadamente escasos (Padilla & Pascholati 2002). Las tasas de dosis absorbidas obtenidas en este trabajo y presentadas en la (Tabla II), fueron comparadas con las tasas de dosis de, Grasty *et al.* (1984) y Bastos & Pascholati (2001), donde se observa, que independientemente de los amplios intervalos de variación entre los datos estimados por diferentes autores y las diferencias entre ambientes geológicos, es posible establecer semejanzas entre la concentración de actividad y las tasas de dosis absorbida a 1 m encima de la superficie del terreno para algunos tipos de rocas, como se muestra en la Tabla III, a pesar de que no se puedan establecer semejanzas en los restantes ambientes, por la ausencia de litotipos comunes.

Tabela III - Semejanza entre la concentración de actividad y las tasas de dosis absorbida a 1m encima de la superficie del terreno para algunos tipos de rocas.

elementos estructurales y rochas	U (Bq.kg ⁻¹)	Th (Bq.kg ⁻¹)	K (Bq.kg ⁻¹)	tasas de dosis absorbida (nGy.h ⁻¹)
intrusivos del AVC* intrusivos, Grasty <i>et al.</i> (1984)	11 (± 5) 10	7 (± 3) 9	237(± 32) 264	19 (± 8) 21
cuencas superpuestas pasivas* Formación Piramboya, Brasil Bastos & Pascholati (2001).	13 (± 7) 16 (± 9)	7 (± 4) 15 (± 1)	108 (± 68) 103 (± 74)	15 (± 6) 21 (± 12)
bloques de cuarzo del MME* complejo Amparo, Brasil Bastos & Pascholati (2001).	23 (± 11) 17 (± 11)	14 (± 6) 23(± 16)	215 (± 73) 227(± 20.5)	28 (± 9) 31 (± 21)

*Valores obtenidos en esta investigación

Sobre la base de la matriz obtenida de la tasa de dosis absorbida de la radiación natural a 1m sobre la superficie del terreno, se estimó para la región, un valor medio ponderado de la contribución a la dosis de la componente terrestre en exteriores (*outdoor*) de 22,0 nGy.h⁻¹, que no obstante baja, puede ser incluida en el intervalo típico (10 nGy.h⁻¹ - 200 nGy.h⁻¹) de variación de la tasa de dosis absorbida en el aire, mundialmente (UNSCEAR 2000). La conversión de la matriz de la tasa de dosis absorbida en el aire para la tasa de dosis efectiva anual se efectuó aplicando el coeficiente 0,7 Sv.Gy⁻¹ (UNSCEAR 1988, 1993, 2000), considerando un factor de ocupación para la distribución espacial de esta contribución a la tasa de dosis efectiva anual, expresada en µSv.ano⁻¹ de 0,2. Las contribuciones a la tasa de dosis por la presencia en el suelo de otros radionúclidos tales como el ¹³⁷Cs o aquellos pertenecientes a la serie del ²³⁵U no fueron considerados.

Como uno de los objetivos de esta investigación es evaluar y cartografiar las contribuciones de la tasa de dosis efectiva total anual en la región de estudio, se incluyó también, el valor medio de la contribución a la tasa de dosis (*indoor*), utilizando las determinaciones de las dosis en recintos cerrados efectuada por Pérez (1998). La evaluación de (Pérez, 1998) resultó de 163 observaciones hechas en las ciudades de La Habana, Camagüey y Holguín, las cuales arrojaron un valor medio ponderado de 29,6 ± 12,0 nGy.h⁻¹, valor asumido como media nacional. En la conversión a dosis efectiva de la componente *indoor*, se utilizó un factor de ocupación de 0,8 como sugieren las publicaciones de UNSCEAR (2000).

Para comparar los valores estimados para obtener la tasa de dosis efectiva, se calculó la relación entre los valores medios de las dos componentes, es decir entre la componente *indoor*, estimada por Pérez (1998), y la componente *outdoor* evaluada en este trabajo. El valor obtenido para la relación de 1,3 se incluye dentro el intervalo 0,8 – 2,0 obtenido para esta relación en la literatura internacional (UNSCEAR 2000, Anexo B, Tabela 7).

La (Figura. 2) muestra el mapa objeto principal de este estudio, el cual representa la línea base ambiental (niveles de background y anómalos) para las radiaciones gamma ionizantes de la región. Estos niveles sirven de referencia ante cualquier alteración del medio ambiente por la vía de las radiaciones ionizantes, cartografía de interés para el Sistema de Vigilancia Radiológica Nacional.

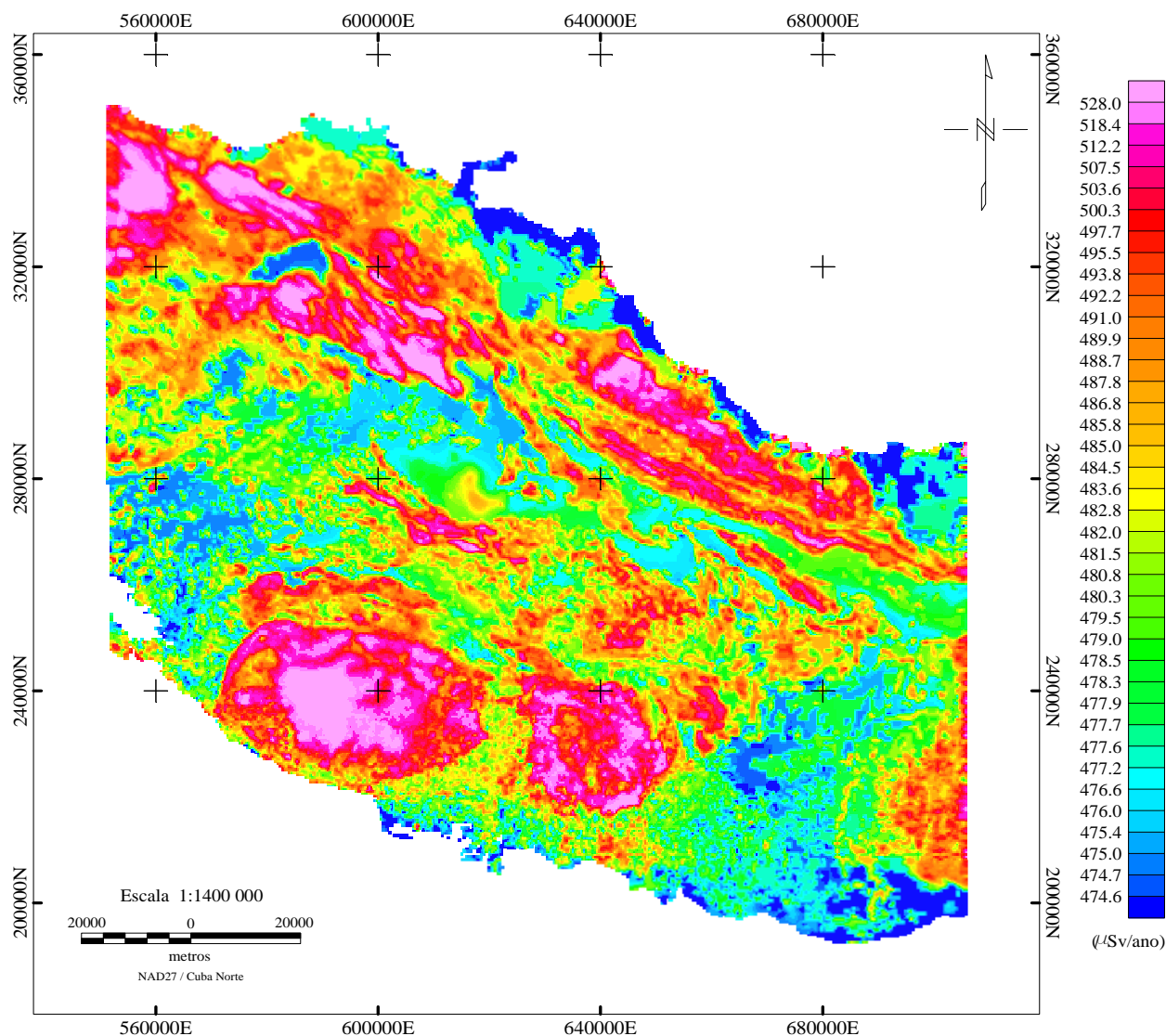


Figura 2- Mapa de la tasa de dosis efectiva total anual ($\mu\text{Sv. Año}^{-1}$) de la región central de Cuba

Conclusiones

Se obtuvo por primera vez para la región central de Cuba, el mapa de tasa de dosis efectiva anual que permitió asociar estructuras y litotipos a las concentraciones de actividad y a las tasas de dosis

absorbida. El valor medio de $22,0 \text{ nGy.h}^{-1}$ (nivel de *background*), que no representa un factor de riesgo para la población, puede ser incluido en el intervalo típico de variabilidad de la tasa de dosis absorbida en el aire, mundialmente, (10 nGy.h^{-1} - 200 nGy.h^{-1}).

La distribución espacial de la tasa de dosis efectiva anual expresada en $\mu\text{Sv.ano}^{-1}$, fue comparada a las tasas obtenidas por otros autores en otras regiones del planeta, siendo observada la consistencia de los resultados para litotipos semejantes.

De la comparación entre las dos componentes, *indoor* y *outdoor*, resultó un valor de 1,3, incluido en el intervalo 0,8 - 2,0, referido en la literatura internacional.

No obstante las dos componentes no representen un factor de riesgo para la población, es importante el conocimiento de la distribución espacial de estas fuentes, cartografía considerada la línea base ambiental para las radiaciones gamma ionizantes en la región central de Cuba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANJO R. M., OKUNO E., GOMES P. R. S., VEIGA R., ESTELLITA L., MANGIA L., UZEDA D., SOARES T., FACURE A., BRAGE J. A. P., MOSQUERA B., CARVALHO C., SANTOS A. M. A.. Radioecology teaching: evaluation of the background radiation levels from areas with high concentrations of radionuclides in soil. *European Journal Physics*, 25: 133 – 144, 2004.
- BASTOS R.O. & PASCHOLATI E.M. Environmental Gamma Radiation Dose in Municipalities, Eastern São Paulo State, Brazil. In: *SBGF, International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 7, Salvador, Resumos Expandidos*, 236 – 239, 2001.
- BOUVILLE A. & LOWDER W.M. Human population exposure to cosmic radiation. *Radiation Protection Dosimetry*, 24: 293 - 299, 1988.
- GARCÍA D. E., DELGADO R., MILLÁN G., DÍAZ DE VILLALVILLA L., SUKAR K., BERNAL L., ROJAS Y. PÉREZ C., DÍAZ C., FURRAZOLA G., GARCÍA I., DELGADO I., PARDO M., SUAREZ V., DUANI E.. *Generalización del Mapa Geológico de Cuba Central (provincias Cienfuegos, Villa Clara e Sancti Spiritus) escala 1: 100 000. e Texto adjunto IGP*. MINBAS, Ciudad de La Habana 267 p. 2000.
- GRASTY R. L., CARSON J. M., CHARBONNEAU B. W., HOLMAN P. B.. Natural background radiation in Canada. *Geological Survey of Canada, Bulletin 360*. Ottawa, 39 p, 1984.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. Constructions and Use of Calibration Facilities for Radiometric Field Equipment. *Technical Reports Series 309*, Vienna, 86 p, 1989.
- ITURRALDE-VINENT M.: Geological Interpretation of the Cuban K - Ar database. In: *"Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba"* Proyecto 364. IV 65/ UNESCO, p. 48 - 69 Miami USA, 1996a.
- ITURRALDE - VINENT M.: Introduction to Cuban geology and tectonics. In: *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*. Proj. 364 IUGS/UNESCO, Miami. USA, 3 - 35, 1996 b.
- LUFRIÚ L. Fundamentos físicos de la Radiestesia. ONITEM, Ciudad de la Habana, 27 p. 1993.
- MILLÁN G. Metamorfitas de la asociación ofiolítica de Cuba. In: *Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba*, Proyecto. 364. IV 65/ UNESCO, Miami USA, 131 - 146, 1996.a.
- MINTY B. R. S., LUYENDYK A. P. J., BRODIE R. C.. Calibration and data processing for airborne gamma-ray spectrometry. *AGSO. Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17v: 2: 52 - 61 1997
- O'BRIEN K., W. FRIEDBERG F. E., SAUER H. H. Atmospheric Cosmic Rays and Solar Energetic Particles at Aircraft Altitudes. *Environmental International*, 22 (Suppl. 1): S9 - S44, 1996.
- PADILLA I. Avaliação das taxas de doses de radiação gama e modelagem cartográfica das estatísticas de óbitos por neoplasias na região central de Cuba.. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Tese de Doutorado em Ciências, 2005.
- PÉREZ D. Resultados de las mediciones de la Tasa de Dosis en Interiores de localidades de la Ciudad de la Habana, Holguín e Camagüey. Instituto de Ciencias y Tecnología Nuclear, Tese de Mestrado, 75 p, 1998.

- RAMLI A. T. Environmental Terrestrial Gamma Radiation Dose and its Relationship with Soil Type and Underlying Geological Formations in Pontian District, Malaysia. *Applied Radiation and Isotopes*, 48 v: 3: 407 – 412, 1997.
- UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly, with annexes*. United Nations, New York, E. 77.IX.1, 1977.
- UNSCEAR. Ionizing Radiation. Sources and Biological Effects. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly, with annexes*. United Nations, New York, E.82.IX.8, 1982.
- UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York, Report to the General Assembly*, 1 - 25, 2000.

LOS HALOS ENERGETICOS DE MINERALES DE LA SILICE. MEDICIONES CON VARILLAS Y MULTIMETRO

Ines Milia, Ruben Stout, Nyls Ponce.

Instituto de Geología y Paleontología.

RESUMEN

Se trabaja en una línea referente a la medición de los halos energéticos de los minerales y los factores que los afectan. Además de las mediciones por medio de varillas en L, se introduce la utilización de del efecto de dichos halos en los biopotenciales medidos mediante un multímetro Los halos de muestras de variedades de sílice se midieron en las direcciones S-N Y E-W. Los incrementos de biopotencial medidos están en el orden de décimas a unidades de milivolts. La influencia de la masa del mineral se observó en muestras de cristal de roca, calcedonia y ópalo. Mediante las mediciones realizadas en fragmentos tomados de un mismo ejemplar se anulan o minimizan las influencias de otras variables. La extensión de los halos aumentó con la masa, pero no en la misma proporción que el incremento de la misma.

La influencia del desarrollo de los cristales se observó al medir los halos de una drusa de cristales de roca y de la base microcristalina sobre la cual se desarrolló, siendo similares las masas de ambos fragmentos. El desarrollo de los cristales no tuvo influencia notable en la extensión del halo. Los resultados sugieren que la composición de fase es el factor mas determinante

ABSTRACT

Great emphasis is made on the measure of energetic halos of minerals and factors affecting them. Besides the measures by means of rods, it is introduced the use of the effect of such halos in the biopotential measured by a multimeter. The halos of varieties of silica were measured in S-N and E-W directions. The raise of measured biopotentials as for the tenth to units of multivolts. The influence of the weight was observed in rocky crystal samples and also in chalcedony and opal. By means of measures carried out in pieces taken from the same sample, are removed or minimized the influences of other variables. The extension of the halos increased along with weight but not in the same proportion as its self raising.

The influence of the development of crystals was observed when measuring the halos of a druse of rocky crystals and the microcrystalline basis upon which it was developed being similar the weight of both pieces. The development of crystals didn't have a remarkable influence upon the extension of the halos. Results suggest that phase composition is the most important factor.

Se sigue una línea de trabajo referente a los halos energéticos de los minerales y factores que los afectan. Fueron escogidas variedades de la sílice por su abundancia y su uso como gema. Como es conocido, el polimorfo natural de la sílice mas abundante es el cuarzo de singonía romboédrica 32, otra variedad utilizada como gema es el ópalo, sílice de poco ordenamiento cristalino, cuya estructura puede corresponder a cristobalita ordenada con cantidades subordinadas de tridimita, a cristobalita desordenada o a una estructura desordenada que forma pequeñas esferas. En este caso se trata de cristobalita con tridimita en cantidad subordinada e impureza de cuarzo.

Anteriormente se obtuvieron resultados preliminares para estos minerales de la sílice, en el presente trabajo, se dirige la atención a la influencia de la masa y del desarrollo cristalino en la extensión de los halos energéticos.

Se midieron los halos de 10 muestras de cuarzo en sus variedades texturales cristal de roca, calcedonia y cuarzo común o basto y dos muestras de ópalo. Se utilizaron varillas en L y además se aprovecho la propiedad de los halos energéticos de actuar sobre los biopotenciales, el valor del Biopotencial se expresa por la diferencia de potencial entre las dos manos del operador (Lufriu, L 1999) y es medido mediante un multímetro.

Las mediciones se realizaron en las direcciones S-N y E-W en condiciones de ensayo a doble ciego. Los biopotenciales fueron registrados a medida que se realizaban las mediciones con las varillas, así se obtuvieron 5 valores en cada dirección:

- 1- Un punto fuera del campo energético de la muestra
- 2- En el cierre de las varillas
- 3- Directamente sobre la muestra
- 4- En la apertura de las varillas
- 5- Fuera del campo.

Una cuestión planteada era el orden de magnitud de las variaciones de biopotencial producidas por el campo energético de estos minerales, dichas variaciones están en el orden de décimas a unidades de mv. Por la utilización de estas variedades de sílice como gemas es atendible el hecho de que tengan efecto sobre los biopotenciales.

Anteriormente, se habían comparado muestras de masa similar, teniendo en cuenta que ésta debe influir en la extensión del halo, como demostró Lemoine en su experimento para el oro. En las muestras consideradas en el presente trabajo la extensión de los halos aumento con la masa, pero no proporcionalmente al incremento de la misma. Se trató de muestras de cristal de roca, calcedonia y ópalo, en los dos últimos casos se tomaron fragmentos de una misma pieza para anular o minimizar la influencia de otras variables como origen, impurezas, procesos sufridos, etc, este control es más difícil en el ópalo, porque en un mismo ejemplar pueden existir defectos estructurales, impurezas y procesos de alteración no uniformemente repartidos.

El posible efecto del desarrollo cristalino se había tratado comparando muestras de variedades bien cristalizadas con otras criptocristalinas, de la misma masa, ahora con el fin de minimizar variables, se midieron los halos de una drusa de cristales de roca y la base criptocristalina sobre la cual se desarrolló separadas en fragmentos de masas similares. Los valores no fueron muy diferentes y no siempre el mayor correspondió al mismo fragmento.

Las comparaciones entre distintas muestras, se hicieron sobre la base de las mediciones con varillas que resultaron menos afectadas por agentes externos que los biopotenciales. Como conclusiones se tiene que :

Se manifestó un aumento de biopotencial dentro de las zonas de los halos energéticos de los minerales, el cual tiene un máximo sobre la muestra.

Las variaciones de biopotencial medidas están en el orden de décimas a unidades de mv. La extensión de los halos aumento con la masa del mineral, pero no en la misma proporción que el incremento de la misma.

El desarrollo de los cristales no tuvo influencia notable en la extensión del halo. Los resultados sugieren que la composición de fase es el factor más determinante.

MEDICIONES RADIESTÉSICAS CLÁSICAS Y ELECTRÓNICAS PRELIMINARES REALIZADAS EN ALGUNAS ESPECIES MINERALES

Nyls Ponce Seoane, Jorge L. Díaz Comesañas, Ruben Stout Smith, Inés Milia González

*Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca s/n. CP 11000. Tef:696-7232. Email: nyls@igp.gms.minbas.cu
. San Miguel del Padrón. Ciudad Habana.*

RESUMEN

En ocho especies minerales: talco, yeso, calcita, fluorita, apatito, feldespato, cuarzo y corindón, se realizaron mediciones radiestésicas con dos procedimientos distintos para el registro de la señal radiestésica: 1) las mediciones clásicas (por deflexión de las varillas, en metros) y 2) las electrónicas (con un multímetro, en mV). En las primeras se utilizaron varillas en L y en las segundas un multímetro acoplado a los dedos del operador. Ambos tipos de mediciones se realizaron según las direcciones azimutales sur norte y este – oeste con respecto a la ubicación de cada muestra.

El trabajo, que se realiza por primera vez en individuos minerales, consistió en la medición de los campos litoenergéticos de ellos con el fin de comenzar a medir y sistematizar los datos de la modificación del potencial eléctrico humano cuando la persona entra o está en el campo de acción litoenergético de ellos.

Las magnitudes de los resultados de las mediciones obtenidas se exponen en forma de tablas y gráficos.

Tanto en las mediciones clásicas, como en las electrónicas, en la mayoría de los casos (6 de 8), se observa una mayor longitud de los radios del campo litoenergético de cada mineral por la dirección este- oeste que por la dirección sur- norte.

Se considera que esta es una constatación del efecto este - oeste en ambas tipos de mediciones.

En todos los casos y en todas las direcciones se constata que hay una coincidencia entre el movimiento de las varillas y el cambio de la magnitud del potencial en el multímetro. Así, durante el cierre de las varillas al entrar en el campo litoenergético del mineral y al acercarse al mismo, el potencial eléctrico humano aumenta, al mismo tiempo que al alejarse de él y salir de su campo al abrirse las varillas, dicho potencial disminuye. Esto puede constituir un nuevo campo de estudio en las investigaciones litoterapéuticas.

ABSTRACT

In eight mineral species: talc, yeast, calcite, fluorite, apatite, feldspar, quartz and ruby, two different procedures were carried out to register the dowsing signal: 1) the classic measures (by rod deflection, in meters), and 2) the electronic ones (with a multimeter, in mV). The first ones were used with L rods and the second ones worked with a multimeter attached to the finger's operator. Both types of measures were made as to the cardinal directions south – north and east – west, regarding to the location of each sample.

The work is first done in mineral individuals consisting in measuring their litoenergetic fields with the objective of starting to measure and sistematizing the modification data of the human electric potential when someone gets in or is under the influence of the litoenergetic action field

The magnitudes of the result of the measures obtained are shown as tables and graphs.

Either in classic measures, or in the electronic ones, in most of the cases (6 out of 8), a shown a bigger longitude of the litoenergetic-radio field of every mineral towards east – west than south – north.

It is considered this being an evidence of the east – west effect in both types of measures.

In every case and in every direction it is true a coincidence between the rod movement and the change of the potential magnitude in the multimeter. So, as rods close when entering the litoenergetic field of the mineral and when approaching it the human electric potential rises, at the same time it goes away from it and going out of its field when the rods open, such a potential diminished.

This could be considered as a new field of study in the lithotherapeutic investigations.

INTRODUCCION

No obstante ser la Radiestésica una práctica que ha sido y es constantemente difamada, la misma continua utilizándose por la contrastada eficacia de sus resultados, como lo es en el caso de los radiestesistas que obtienen resultados casi perfectos, próximos al cien por ciento.

Este complejo contraste viene dado por varios hechos;

- Lo más común hasta el presente ha sido trabajar solo con los instrumentos clásicos (manuales ó analógicos), como la horqueta, las varillas, el péndulo y otros.
- Está demostrado que estos instrumentos clásicos, indicadores en sí, no trabajan por sí: es el propio radiestesista quien le confiere los movimientos. Sin la persona los instrumentos solos no funcionan.
- No solamente es el sujeto el que funciona: ante el objeto u objetivo dado se produce una reacción o respuesta que provoca el movimiento de los instrumentos.
- Hasta el presente no se ha podido demostrar una teoría que explique completamente este complejo fenómeno del binomio sujeto- objeto. Lo que ha importado han sido solo los resultados obtenidos.

Todo esto ha conllevado a que el célebre radiestesista francés Jean Paul Kersaint escribiera: “.... Pienso que, después de las decenas de años que la radiestesia lleva siendo estudiada y practicada por gran número de ingenieros, una teoría “física” ya habría podido ser irrefutablemente probada científicamente, sobre todo en razón de los instrumentos y aparatos de que disponemos. Lo que aun está muy lejos, ¡ay!, de ser el caso”. (1).

Este simple reto, a primera vista, puede impresionar a neófitos y no practicantes. El caso es que, en realidad, en el siglo XX se han aplicado instrumentos y aparatos de corte eléctrico- electrónicos, como electroscopios, galvanómetros, reóstatos, cardiógrafos, multímetros, y otros que han originado lo que llamamos radiestesia electrónica o digital, basada en el principio de medir el potencial eléctrico humano captado por electrodos que se colocan a nivel de ambos miembros. Este principio ha sido aplicado hace años por la Electrocardiografía (2) y nos puede ayudar a dar una posible explicación biofísica al fenómeno radiestésico.

De ahí la importancia de continuar con las mediciones digitales del potencia eléctrico de los seres humanos alterado por la acción de objetos u objetivos que genera o puede generar el movimiento de los instrumentos analógicos.

Y de aquí la importancia de conjugar las mediciones radiestésicas analógicas con las mediciones digitales en diferentes objetos u objetivos con el fin de cuantificarlas y sistematizarlas estadísticamente. Esto nos debe llevar a importantes deducciones y conclusiones científicas en el campo de la radiestesia.

No obstante se debe señalar que la práctica de medir potenciales eléctricos humanos en su relación con objetos u objetivos geológicos y arqueológicos ya ha sido realizada en Cuba por investigadores y proyectos del Instituto de Geología y Paleontología.

Sin embargo, consideramos que debemos ampliar y profundizar las mismas en la medición de especies minerales, vegetales y animales sin excluir al hombre.

Este ha sido el objetivo de este trabajo: comenzar a medir y sistematizar como diferentes especies minerales modifican el potencial eléctrico humano cuando la persona entra o está en su campo de acción lito- energético.

TERMINOLOGIA

Radiestesia clásica, analógica ó manual. Según (2) es la práctica de la radiestesia que utiliza para el registro instrumentos mecánicos sencillos como indicadores, tales como el péndulo, la horqueta, las varillas en L, los tenedores, los alambres en U y otros; y que, por lo general, realiza las mediciones de forma continua.

Radiestesia electrónica ó digital. Es la práctica que utiliza los aparatos eléctrico – electrónicos para el registro, tales como electroscopios, galvanómetros, electrocardiógrafos, encefalógrafos, multímetros, gaussímetros y otros; y que, por lo general, realiza las mediciones de forma discreta (2).

Campo lito-energético ó litocampo. Es el halo energético que existe alrededor de una especie mineral originado por esta. Es su campo de influencia o acción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los principales instrumentos y materiales utilizados para la ejecución de este trabajo fueron:

- Dos varillas en L.
- Un multímetro marca con anillos en cada electrodo.
- Una brújula
- Una cinta métrica
- Una computadora Pentium 4

La metodología empleada fue la realización de dos procedimientos distintos para la medición de la señal radiestésica: la medición radiestésica clásica con varillas en L y conjuntamente con ella, la medición electrónica con el multímetro.

Antes de realizar las mediciones, con la brújula fueron determinadas las direcciones de los cuatro puntos cardinales por cuyas direcciones, posteriormente, se iban a realizar las mediciones con respecto a un punto fijo de la superficie del suelo donde, sobre una silla de madera, se colocarían los minerales que se iban a medir.

Una vez ubicado el mineral sobre la silla, dos operadores, uno con las varillas y otro con el multímetro, caminaron conjuntamente hacia el mineral según las direcciones azimutales. En cada dirección azimutal utilizada para medir (sur – norte y este – oeste) se ubicó la cinta métrica con respecto al mineral y que, al cerrarse o abrirse las varillas al entrar o salir del campo del mineral respectivamente, nos señalaron la magnitud en metro de los radios de dicho campo. Con el multímetro con anillos en los electrodos (para que la presión de los dedos no influyera sobre las mediciones), se tomaron 5 mediciones: 1) afuera y antes de entrar en el campo del mineral; 2) en la entrada del campo, coincidiendo con el cierre de varillas; 3) sobre el propio mineral; 4) en la salida del campo, coincidiendo con la apertura de varillas y 5) afuer y después de salir del campo del mineral. Estas mediciones se llevaron a cabo entre las 9 a.m. y las 12 m. durante dos días.

A partir de la base de datos registrada con estas mediciones se confeccionó la tabla con las magnitudes de las mismas, así como los gráficos de cada una de ellas.

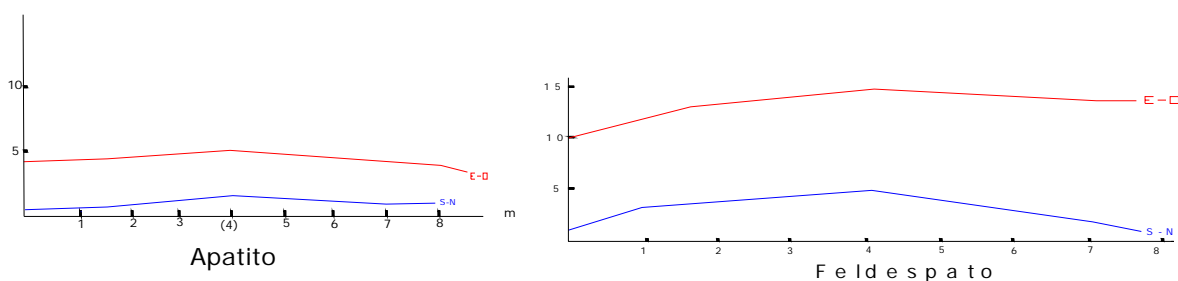
RESULTADOS

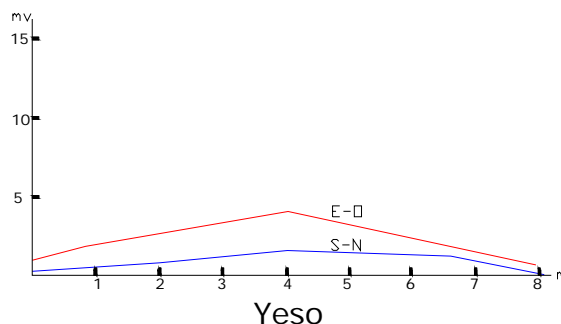
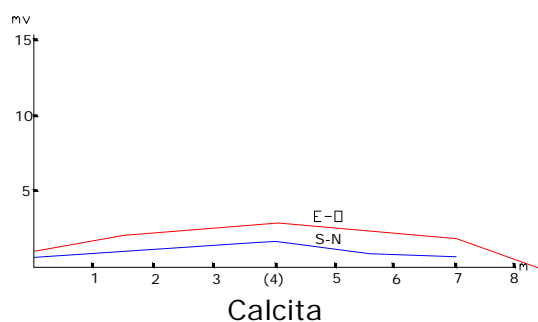
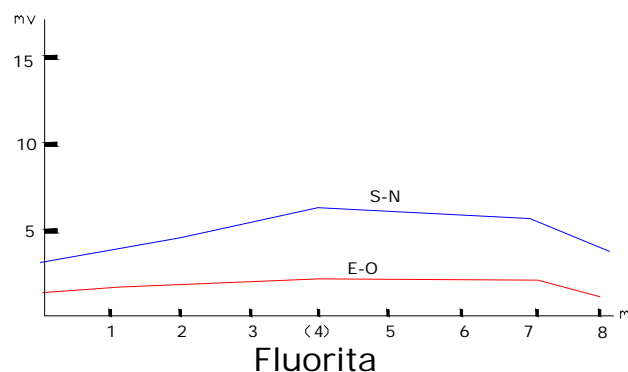
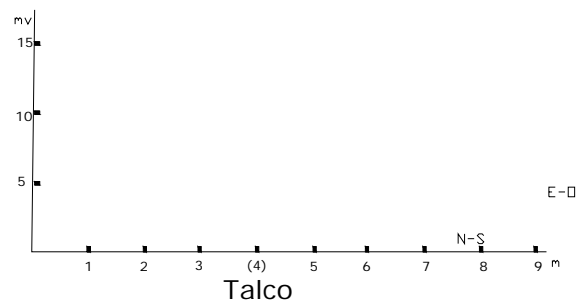
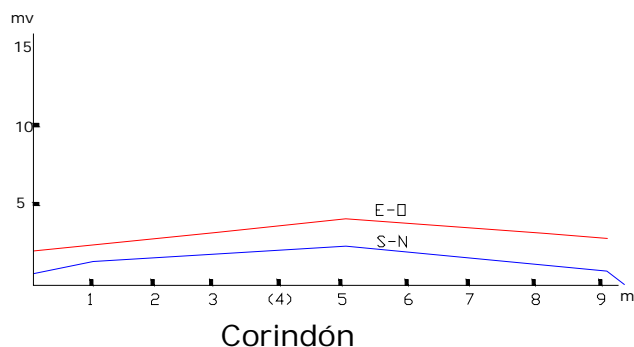
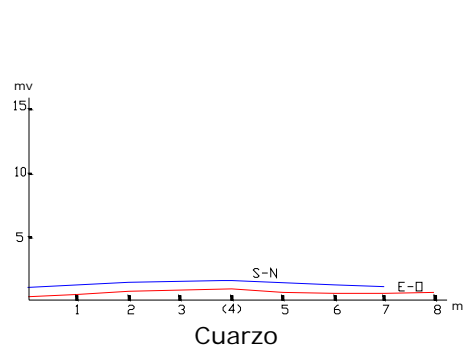
Los resultados de las mediciones se exponen en la siguiente tabla:

Tabla I. Mediciones radiestésicas analógicas y digitales en especies minerales

<i>Mineral</i>	<i>Direcciones</i>	<i>Mediciones Clásicas (m)</i>		<i>Mediciones Electrónicas (mv)</i>				
<i>Talco</i>	Sur-Norte	1,5	2,0	1,1	1,6	1,8	1,2	0,7
	Este-Oeste	3,0	3,6	6,0	7,0	8,0	7,0	5,0
<i>Yeso</i>	Sur-Norte	2,0	2,5	0,2	0,7	1,5	0,9	0,5
	Este-Oeste	3,2	3,9	1,0	2,0	4,0	1,0	1,0
<i>Calcita</i>	Sur-Norte	0,5	1,5	0,6	1,6	1,7	1,1	0,9
	Este-Oeste	2,5	3,0	1,0	2,0	3,0	2,0	0,0
<i>Fluorita</i>	Sur-Norte	2,4	3,0	3,0	4,0	6,2	5,0	4,0
	Este-Oeste	2,9	3,2	1,3	1,7	1,9	1,4	1,2
<i>Apatito</i>	Sur-Norte	2,5	3,0	0,4	0,5	1,6	0,4	0,4
	Este-Oeste	2,4	4,2	4,0	4,4	4,6	3,5	3,2
<i>Feldespato</i>	Sur-Norte	3,4	3,0	0,8	3,1	4,6	1,2	0,9
	Este-Oeste	2,5	3,0	10,0	13,0	14,0	13,0	13,0
<i>Cuarzo</i>	Sur-Norte	2,1	2,1	1,1	1,3	1,5	1,3	1,0
	Este-Oeste	2,5	3,0	0,2	0,6	0,7	0,23	0,2
<i>Corindón</i>	Sur-Norte	4,0	4,2	0,5	1,4	3,0	1,8	1,0
	Este-Oeste	2,3	3,3	2,0	3,0	4,0	3,0	3,0

Los resultados se expresaron en coordenadas cartesianas de la siguiente manera:





DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Del análisis de la tabla y gráficos se constata que:

- Tanto en las mediciones clásicas, como en las electrónicas, en la mayoría de los casos (6 de 8), se observa una mayor longitud de los radios del campo litoenergético de cada mineral por la dirección este- oeste que por la dirección sur- norte.
- En 7 de los 8 casos se observa que la longitud del litoradio Norte es mayor que la del litoradio Sur y que la del litoradio Oeste, en todos los casos, es mayor que la longitud del litoradio Este.
- No se observa ninguna gradación litoenergética en relación con la escala de dureza relativa mde Mohs

CONCLUSIONES

- En todos los casos y en todas las direcciones se constata que hay una coincidencia entre el movimiento de las varillas y el cambio de la magnitud del potencial en el multímetro. Así, durante el cierre de las varillas al entrar en el campo litoenergético del mineral y al acercarse al mismo, el potencial eléctrico humano aumenta, al mismo tiempo que al alejarse de él y salir de su campo al abrirse las varillas, dicho potencial disminuye.
- Al observarse una mayor longitud de los radios del campo litoenergético de cada mineral por la dirección este- oeste que por la dirección sur- norte, se considera que esta es una constatación del efecto este - oeste en ambos tipos de mediciones.
- No se constató ninguna gradación litoenergética de los minerales según la escala de dureza relativa.
- Al demostrarse el cambio del potencial eléctrico humano al estar en contacto con el litocampo del mineral, se concluye que esto puede constituir un indicio serio y abrir una nueva línea de investigación para un estudio litoterapéutico más minucioso y detallado de cómo puede influir una especie mineral en una enfermedad dada, sobre la base del cambio del biopotencial provocado por el mineral.

BIBLIOGRAFÍA

- de Kersaint Jean Pol "Como Practicar la Radiestesia", 1997. Ediciones EDAF S.A. Madrid, España. ISBN 84-414-0174-8.
- Ponce Seoane N. "Radiestesia Analógica y Radiestesia Digital". 2006. Revista Gea, No. 53.