



ANALISIS DE RIESGOS POR DESLIZAMIENTOS. CONTRIBUCION A PARTIR DEL ESTUDIO DE LA MIGRACION DE LOS RADIOELEMENTOS NATURALES (I).

Jorge Luis Chang B, Valia Suárez Leyva, Enrique Castellanos A., Kenya Núñez C. y Jesús Moreira M.

Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, s/n. San Miguel del Padrón, Ciudad Habana. E- mail: chang@igp.minbas.cu, valia@igp.minbas.cu, castellanos@igp.minbas.cu, kenya@igp.minbas.cu, moreira@igp.minbas.cu

RESUMEN

Este trabajo pretende contribuir al estudio y predicción de los escenarios favorables para la ocurrencia de deslizamientos, a partir de la utilización de los datos γ -espectrométricos aéreos, teniendo como premisas las bondades en cuanto a rapidez en la respuesta y el costo – beneficio que esta técnica remota exhibe como herramienta complementaria. La posible identificación de los sitios potencialmente favorables para la ocurrencia de los mencionados fenómenos, a partir del análisis de los datos gamma espectrométricos, vendría dado por el análisis de la distribución espacial de los radioelementos naturales en el medio. De aquí que el aprovechamiento de las Bases de Datos geofísicas regionales, permita la racionalización de numerosos recursos y la optimización de los resultados en breve tiempo, con una rápida aproximación en la identificación de sitios propensos a la ocurrencia de tales fenómenos.

A partir de esta primera experiencia, se pretende establecer una metodología que permita extender la aplicación de los datos γ -espectrométricos como una herramienta de bajo costo en el rápido reconocimiento de dichos escenarios, una vez que sea integrado a plataformas SIG (Sistema de Información Geográfico), para su fácil manipulación.

Como conclusiones se establecen las premisas necesarias para la utilización de los mapas de concentraciones de los radioelementos como información complementaria en la predicción de zonas de ocurrencia de deslizamientos.

ABSTRACT

This work intends to be a contribution to the study and prediction of the potential areas for the occurrence of landslides with the use of the airborne γ -spectrometry data. Taking into account as premises, the kindness referent to speed in the answer and the cost–benefit ratio, which this remote technique exhibits as a complementary tool. The possible identification of the potentially favorable places for the landslide occurrence, from the gamma-spectrometry data analysis, would be given by the analysis of the spatial distribution of natural radioelements in the environment. Therefore, the use of the regional geophysical databases, allow the resources rationalization and the optimization



of the results in a short time, with a quick approach in the identification of places that tend to the occurrence of such phenomena.

From this first experience, it is intended to establish a methodology that allows to extend the application of the data γ -spectrometry data like a tool of low cost in the quick recognition of this susceptible areas, once it is involved into a SIG (Geographical Information System), platforms for its easy manipulation.

As conclusions the necessary premises settle down for the use of concentration maps of the radioelements, like complementary information in the prediction of areas of landslides occurrence.

INTRODUCCION

En los últimos años la identificación y estudio de los denominados "*Riesgos Geológicos*" ha devenido tarea de primer orden para aquellos gobiernos en cuya política se ha contemplado un programa para el conocimiento, estudio y conservación del medio ambiente natural de manera sostenible. Los desastres naturales provocados por deslizamientos constituyen, de tales riesgos, uno de los más dañinos al hombre, de aquí la importancia de su estudio y mitigación.

El desarrollo de un conjunto de disciplinas permitió un despegue rápido de las investigaciones en este sentido. De éstas, la Teledetección facilitó el reconocimiento de escenarios de riesgo por deslizamientos, a partir del análisis y la predicción de la inestabilidad de las pendientes. La información extraída de las técnicas remotas es mayormente relacionada a características geomorfológicas, condiciones de drenaje y tipos de suelos en las pendientes. El estudio de las variaciones en la composición litogeoquímica, texturas y formas en la cobertura, permite definir y estimar parámetros directamente vinculados a la ocurrencia de deslizamientos, en cambio, resulta difícil su valoración desde la superficie una vez que dichas características son expresión de parámetros no superficiales, propios tanto de las condiciones de los suelos y rocas, como de las aguas subterráneas.

Técnicas geofísicas aéreas pudiesen resultar una rápida y fácil herramienta en la posible identificación de los sitios potencialmente favorables para la ocurrencia de los mencionados fenómenos, a partir de la disponibilidad y manejo de dichos datos en un Sistema de Información Geográfica. Una de estas informaciones, la gamma espectrometría, es tratada a partir de una experiencia en la región del Valle de Caujerí, territorio donde ya existen documentados un número significativo de eventos.

Este trabajo tan sólo pretende abordar en una primera etapa, la fundamentación del empleo de los datos γ -espectrométricos y su utilidad en el rápido reconocimiento de los escenarios favorables para la ocurrencia de deslizamientos.



ANÁLISIS DE LOS FACTORES CAUSALES DE LOS DESLIZAMIENTOS Y SU IMPLICACION EN LA MIGRACION DE LOS RADIOELEMENTOS.

Factores causales de los deslizamientos.

Una serie de factores han sido identificados (Castellanos E, 2000) como las causales más significativas de los deslizamientos en la región del Valle de Caujerí:

- Los procesos avanzados de carsificación, los cuales facilitan los mecanismos de infiltración en las capas de calizas que suprayacen casi horizontalmente, los materiales terrígenos de la Fm. Maquey.
- La tectónica activa, que subdivide el área en diferentes bloques, a los que corresponden diferentes niveles freáticos de las aguas subterráneas, generando un desequilibrio por las diferencias de presiones hidrostáticas laterales.
- Las intensas precipitaciones constituyen otra causal de significativa influencia, al punto de resultar un factor disparador de dichos fenómenos naturales. La saturación de agua en los espacios intergranulares en las rocas provoca el debilitamiento de las condiciones estáticas de las fuerzas de fricción o agarre intergranular, y por ende el colapsamiento por deslizamiento de bloques o masas enteras.
- Finalmente, los movimientos sísmicos del sistema transcurrente de la falla Oriente, constituyen el segundo factor disparador de los deslizamientos naturales. Estos deslizamientos ocurren fundamentalmente por la activación de grietas y fallas debido a esfuerzos extensionales mayoritariamente.

De lo antes mencionado es posible inferir, como el factor de más notoria influencia en la ocurrencia de estos fenómenos, la acción directa o indirecta del agua y sus mecanismos de infiltración, escurrimiento y movilidad. En la Fig. No 1, obsérvese la situación geológica del área y la ilustración del mecanismo de infiltración.

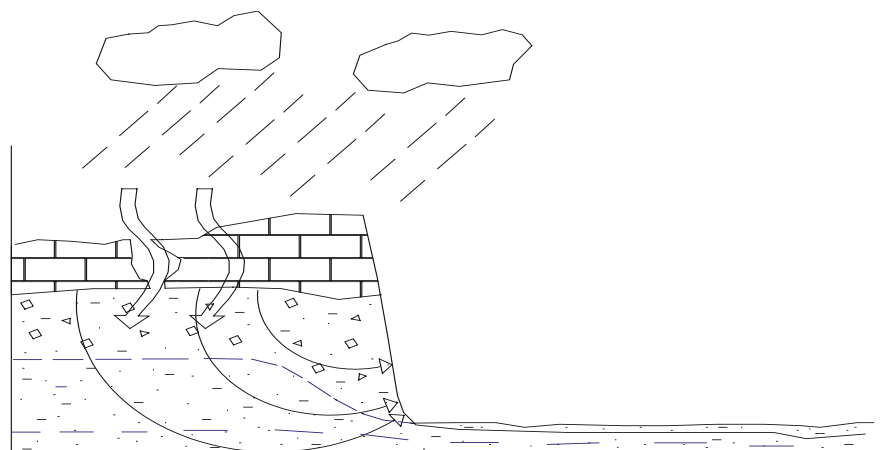


Fig. No 1. Esquema geológico simplificado de los taludes en el Valle de Caujerí, ilustrándose el mecanismo de infiltración y movimiento de las aguas subterráneas y de escurrimiento superficial.

La migración de los radioelementos e influencia de los factores causales.

Todos los factores causales anteriormente analizados ejercen de cierta manera, una influencia en la migración de los radioelementos naturales en el medio, presentando cada uno de ellos



particularidades en la aceleración de la migración geoquímica. En cambio, algunos son capaces de catalizar dichos procesos, dentro de los cuales el agua parece resultar el de mayor peso. Ya sea por infiltración directa o por escurrimiento superficial, la movilidad de los radioelementos $U_{(ra)}$, Th, y K aparece forzada o sometida por la acción mecánica de las corrientes de aguas subsuperficiales. Estas corrientes en gran medida, arrastran los elementos indicadores hacia los niveles bajos del relieve y zonas de escarpe abrupto, involucrando de esta forma el factor geomorfológico. De aquí que la conjugación de ambos factores propicie la creación de un ambiente favorable para la migración y el desplazamiento por lixiviación de las concentraciones anómalas de cada uno de los elementos en el medio. Tal como se ilustró en la Fig. No 1, el mecanismo de migración está mayoritariamente condicionado por la conjugación de estos dos elementos: las aguas (subterráneas y superficiales), y las características geomorfológicas.

DESPLAZAMIENTO DE LAS ANOMALIAS γ -ESPECTROMETRICAS Y LA PREDICCIÓN DE ESCENARIOS PARA LA OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTOS.

A los paquetes de rocas neogénicas de las formaciones Maquey y Yateras les son característicos de forma general altos contenidos tanto de $U_{(ra)}$, como de Th (Chang J.L. et al, 1992), en cambio justamente en el Valle de Caujerí existe una peculiar redistribución de las concentraciones de dichos radioelementos ya observada en otras localidades de la región (Chang J. L, 2002).

Como consecuencia de una peculiar situación geológica (Fig. No 2), donde se destacan la influencia de las características geomorfológicas y la acción de los mecanismos de infiltración de las aguas, las concentraciones del elemento $U_{(ra)}$ aparecen prácticamente "lavadas" de los casquetes carbonatados cársticos, ocupando las anomalías del citado elemento (Fig. No 3) una posición bien definida en los sedimentos del escarpe.

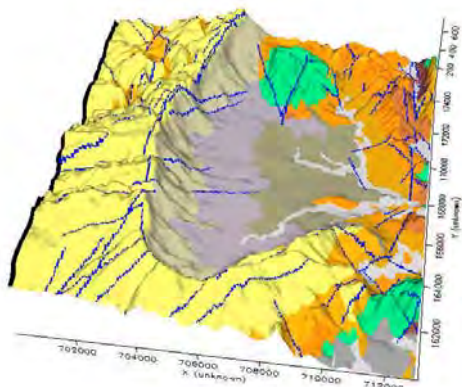


Fig. No 2. Mapa Geológico modificado del área (Núñez K, 2000) sobre un MED, mostrando los principales lineamientos tectónicos.

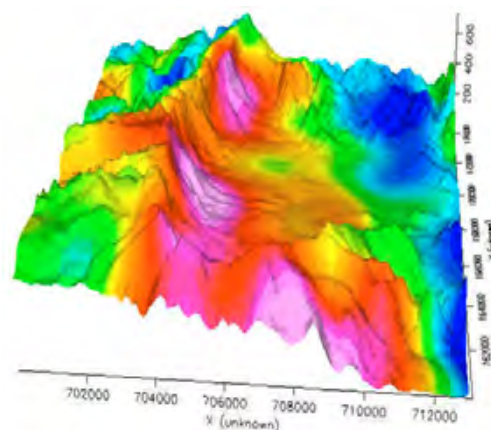


Fig. No 3. Mapa de concentraciones del elemento $U_{(ra)}$, sobre un MED. Obsérvese las altas concentraciones ocupando posición mayoritaria en los escarpes.

La alta movilidad del Uranio en terrenos carbonatados donde es típico la formación de suelos arcillosos está dada por su fácil disolución, con un comportamiento geoquímico que se ve favorecido por el accionar de las aguas. La existencia de un área más grande sobre las



mesetas carbonatadas provoca un régimen hidrodinámico de mayor energía y agresividad, por lo que el escurrimiento superficial propicia el desarrollo de formas subsuperficiales del carso: cavernas, dolinas, casimbas y embudos cárlicos; favoreciendo una mayor influencia de las aguas en la movilidad de los radioelementos en el medio.

Por su parte el elemento Thorio parece tener un comportamiento algo más aleatorio y menos sujeto a patrones geoquímicos o geomorfológicos al ocupar tanto posiciones bajas del relieve como zonas elevadas de gran pendiente; compárese las altas concentraciones de Th con el esquema de pendientes, (Fig. No 4 y 5). En cambio en otras localidades se han podido observar comportamientos similares al presentado por el elemento Uranio en el Valle de Caujerí, todo lo cual parece reducirse a factores tales como: diferencias en el grado de desarrollo geológico de cada área, diferencias en la dinámica de los mecanismos de infiltración y transportación de las aguas, influencia de los factores geomorfológicos, etc, por lo que la utilización del Thorio como elemento para el análisis de pendientes o escarpes propensos a deslizamientos, no debe descartarse.

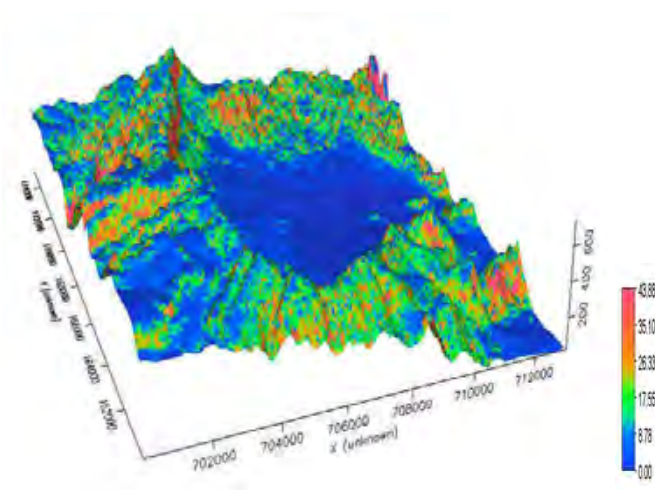


Fig. No 4. Composición de un Esquema de Pendientes (Castellanos E, 2000) sobre un Modelo de Elevación Digital del terreno. La escala de inclinación de las pendientes se muestra a la derecha de la figura.

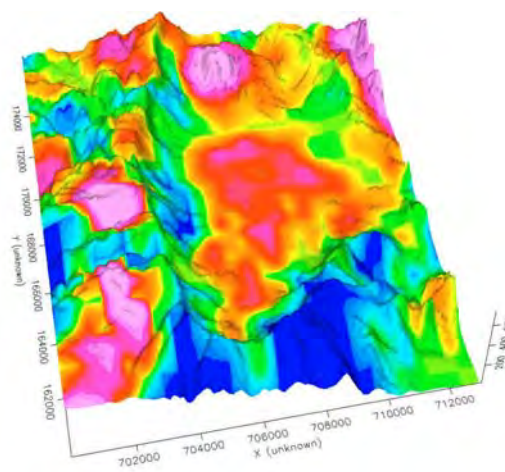


Fig. No 5. Mapa de concentraciones del elemento Th, sobre un Modelo de Elevación Digital del terreno.

Finalmente el elemento Potasio (K) aparece circunscrito a los límites interiores del Valle de Caujerí, sobre los sedimentos aluviales en el piso del valle, y sobre rocas vulcano-terrágenos, terrígeno - detríticas del Cretácico (emplazadas en una elevación al norte del área en forma de ventana erosiva), Fig. No 6. Esto parece indicar el aporte de las rocas del arco que infrayacen, y las que probablemente constituyan fuente u origen de dichas concentraciones, tal y como lo sugiere la ventana erosiva. Con relación al K es sumamente probable, que el aumento de las concentraciones de éste en las rocas detríticas ocurra en la medida en que aumenta en ellas los productos de la destrucción de las rocas magmáticas (Chang J.L. et al, 1992).

Algunos complejos además de sus elementos constituyentes, como factor de incidencias deben sus altos contenidos al espesor o potencia de sus sedimentos, como parece presentarse en la Cuenca de Guantánamo, mucho más al oeste del área o en el Valle de Caujerí. Sedimentos terrígeno carbonatados en el piso del Valle de Caujerí podrían funcionar como esponja donde



se precipiten geoquímicamente de igual forma elementos tales como el Potasio propiamente dicho y sus asociados (Ba, Pb, etc), resultante de cambios de Ph en los diferentes ambientes por los que pasan las aguas.

En determinadas circunstancias las condiciones geomorfológicas del área propician las acumulaciones e incrementos notorios de los contenidos de los radioelementos. A nuestro juicio, las acumulaciones anómalamente altas (hasta 3.0 % de K) registradas en el Valle de Caujerí podrían estar influenciadas además por el aporte y la acumulación de elementos indicadores o afines de Potasio, propiciado por un relieve negativo (depresión) y una fuerte red de drenaje como agente transportador, ilustrada de manera fehaciente en la figura No 6.

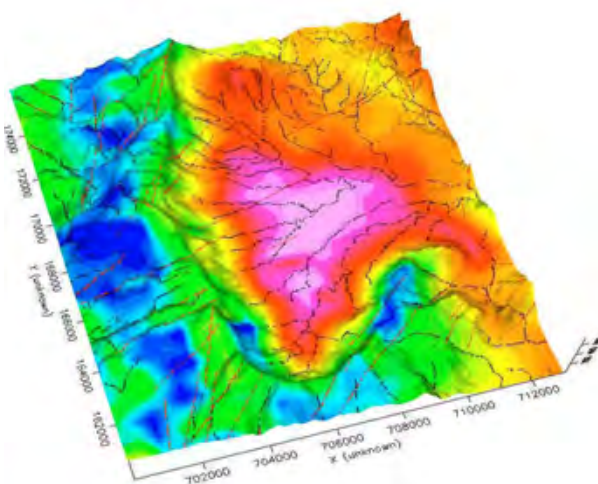


Fig. No 6. Mapa de concentraciones del elemento K, sobre un MED. Obsérvese las altas concentraciones ocupando una posición tanto a lo ancho del piso del Valle de Caujerí, como en las ventanas donde afloran las rocas vulcanógeno-terrágenas de la Fm Sierra del Purial.

Esta singular redistribución espacial de los radioelementos en el Valle de Caujerí, permite estimar una especie de desplazamiento en las anomalías γ -espectrométricas condicionada a la particular influencia de los factores geomorfológicos, representados mayoritariamente por superficies planas en forma de mesetas de amplitud variable y escarpes abruptos. A partir de esta distribución se infiere la existencia del fenómeno de *Anomalías desplazadas*, donde el movimiento de infiltración de las soluciones ascendentes o descendentes ocurre en una dirección cuyo ángulo las sitúa fuera de la posición vertical respecto al tipo de roca que da origen a la anomalía, según las define Lovering y Canney (1990).

Estas desviaciones del ángulo en el movimiento de infiltración de las soluciones como es natural son ocasionadas por la acción de las aguas subterráneas, facilitada en este caso por el desarrollo de procesos de carcificación favorecidos por la estratificación subhorizontal con buzamiento generalmente leve de los estratos hacia las márgenes del escarpe. A esto se adiciona la acción disolvente del agua fluvial y la erosión sub aérea de los sedimentos. En tanto, un sinnúmero de factores ejercen acción significativa sobre la movilidad de los elementos radiactivos naturales, definiendo ésta como la medida de la tendencia de un elemento al disolverse en la zona de intemperización y migrar desde los depósitos originales (Sansónov, 1987).



CONCLUSIONES

Un estudio preliminar de los escenarios favorables para la ocurrencia de deslizamientos sería posible a partir del análisis de los mapas γ -espectrométricos como herramienta adicional. La implementación en un SIG de un diseño para análisis de riesgos geológicos por deslizamientos podría contar con un nuevo nivel de datos, si considerásemos la identificación de anomalías γ -espectrométricas desplazadas como un elemento informativo de rápido acceso.

Hasta el presente la información geofísica dirigida al estudio de los deslizamientos como riesgo geológico sólo estuvo centrada en la delimitación de contrastes físico - mecánicos o geoelectrónicos de las rocas en las zonas de pendiente, a partir de la aplicación de algunas experiencias con técnicas eléctricas y registros sísmicos someros (McGuffey V y Modeer (Jr) V, 1999).

Estableciendo como premisa de la investigación y significando la circunscripción a sectores donde por analogía coinciden condiciones tales como: la litología productora de radioelementos, la geomorfología con las pendientes propicias para el transporte y la acumulación y las condiciones hidrogeológicas e hidrológicas como medio de transporte, podemos considerar la inclusión de la gamma espectrometría como complemento informativo en el tratamiento de escenarios vinculados a deslizamientos.

De esta experiencia, es posible entonces inferir la utilidad práctica del uso de los mapas de concentración de los radioelementos naturales como herramienta rápida de selección, la cual conjugada con la información aportada por otros datos (imágenes satelitales, datos fotogeológicos, datos geomorfológicos, tipos de suelos, etc) implementados en un SIG, constituyen una poderosa metodología para el análisis e identificación de los escenarios propicios a la ocurrencia de deslizamientos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Castellanos E. (2000): *"Design of a GIS-based System for Landslide Hazard Management. San Antonio del Sur, Cuba, case study"*. MsC Degree Thesis. ITC, The Netherlands. 108 pp.
- Chang J. L; y otros. (1992): *"Informe final del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en las provincias de Guantánamo, Santiago de Cuba y Holguín, Sector Guantánamo Sur"*. Archivo ONRM, La Habana.
- Chang J. L; y otros. (2002): *"Influencia de los rasgos geomorfológicos en la migración de los radioelementos naturales"*. Memorias del II Congreso Internacional de Geofísica, La Habana, Marzo del 2002.
- Lovering T. S; F. C. Canney; y otros. (1990): *"The Use of Geochemical Techniques and Methods in Prospecting for Uranium"*. The Geneva Series on the Peaceful uses of Atomic Energy. Chapter 14. U.S. Geological Survey.
- McGuffey V; Modeer (Jr). V; Turner K (1999): *"Subsurface Exploration" Chapter 10 in "Landslides. Investigation and Mitigation"*. Special Report 247. Transportation Research Board. National Research Council. Pp 230 – 277.
- Núñez K. (2000): *"Geology and Structural Characteristics of the San Antonio del Sur Area, Cuba, Using Data Integration Techniques"*. MsC Degree Thesis. ITC, The Netherlands. 80 pp.
- Portnov A. M. (1985): *"Specialization of Rocks Toward Potassium and Thorium in Relation to Mineralization"*. Central Research Institute for Geological Surveying, Moscow.
- Rankama K; Th. Sahama. (1962): *"Geochemistry"*. The University of Chicago Press. Chicago.
- Sansonov V. G. Y L. M. Sansonova. (1987): *"Migración de los elementos y la solución de los problemas hidrogeológicos"*. Editorial NEDRA. Moscú



INCIDENCIA DE FACTORES GEOMORFOLÓGICOS SOBRE LOS IMPACTOS AL MEDIO EN ZONAS LITORALES POR LA ACTIVIDAD PETROLÍFERA EN CUBA. I. LITORAL NORDESTE DE LA HABANA.

Dr. Orlando Álvarez Hernández, Dr. Miguel Díaz, Lic. Ramón Cruz e Ing. Julio Gómez.

Centro de Investigaciones del Petróleo. Washington # 169 esq. Churruca. Cerro, C. de La Habana. e-mail: oral@ceinpet.inf.cu

RESUMEN La actividad petrolífera (extracción, producción o transportación) en cualquier país ocasiona, o puede ocasionar graves perjuicios al medio cuando no se toman las medidas adecuadas para salvaguardar el mismo. Zonas altamente sensibles ante la presencia de la contaminación por hidrocarburos son aquellas relacionadas con marismas costeras, vegetación de manglar y poca energía de las olas. Dentro de los aspectos a analizar en el contexto de la protección del medio en 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. En el presente trabajo, y considerando los aspectos de la geomorfología de la zona de estudio, la limitación de recursos, así como la extensión de la zona costera (aproximadamente 50 Km), se determinó realizar el mapa del Índice de Sensibilidad Ambiental utilizando un método automatizado simplificado utilizando Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.) que permitió, grosso modo, obtener las características geomorfológicas y energéticas principales relacionadas con la clasificación de ARPEL. **Se presentan los mapas del Modelo Digital del Terreno de la zona, el de pendientes, el del Fetch de la zona litoral, modelos sombreados que permiten analizar las principales características geomorfológicas de la zona y el Mapa del Índice de Sensibilidad Ambiental de la zona de estudio ante derrames de hidrocarburos.**

ABSTRACT The oil activity in any country causes, or it can cause serious damages to the environment when they don't take the appropriate measures to safeguard the same one. Highly sensitive areas before the presence of the contamination for hydrocarbons are those related with coastal swamps, swamp vegetation and little energy of the waves. Inside the aspects to analyze in the context of the protection of the environment in the oil industry, one of the most important is the related with the spills of hydrocarbons, for which Indexes of Environmental Sensibility have been proposed 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. Presently work, and whereas clause the aspects of the geomorphology of the study area, the limitation of resources, as well as the extension of the coastal area (approximately 50 Km), it was determined to carry out the map of the Index of Environmental Sensibility using a simplified automated method using Geographical Information Systems (G.I.S.) that allowed to obtain the geomorphologic characteristics and energy related with the classification of ARPEL. The maps of the Digital Elevation Model of the area, slopes and the Fetch of the coast area are presented, so that shady models that allow to analyze the main geomorphologic characteristics of the area and the Map of the Index of Environmental Sensibility of the study area for hydrocarbons spills.

Introducción

La actividad petrolífera (extracción, producción o transportación) en cualquier país ocasiona, o puede ocasionar graves perjuicios al ambiente cuando no se toman las medidas adecuadas para salvaguardar el mismo. Zonas altamente sensibles ante la presencia de la contaminación por hidrocarburos son aquellas relacionadas con marismas costeras, vegetación de manglar y poca energía de las olas. La Resolución 168/95 y la Ley del Medio Ambiente establecen, en Cuba, la obligatoriedad de realizar



estudios ambientales en las zonas de desarrollo industrial. Es en este contexto, y a solicitud de CUPET, que se plantea y aprueba la realización de una investigación en el Centro de Investigaciones del Petróleo (Ceinpet) relacionada con el impacto ambiental ocasionado por la actividad petrolífera en Cuba y sus soluciones tecnológicas, de la cual este trabajo es un resultado parcial.

Características geomorfológicas generales.

En la zona predominan las pequeñas alturas estructurales - tectónicas de tipo anticlinales y monoclinales del período Neógeno - Cuaternario, encontrando cerca de las costas superficies cársicas sin clasificación y más al Sur, carso cónico y de cúpulas, así como aparecen formas de relieve tectónico - estructurales representadas por bordes tectónicos y fallas. Hacia el Este, hasta llegar a la bahía de Matanzas, encontramos llanuras abrasivas - denudativas del Cuaternario, mientras al Oeste hay llanuras abrasivas y abrasivas - denudativas diseccionadas del mismo período (Cañas, P. e Ysalgué, S.; Mapa Geomorfología, ICGC, 1978).

Las formas de relieve de las costas son del tipo abrasivo - cársicas, con el escarpe del borde de la plataforma muy cercano a las costas, al igual que el pie del borde del Talud insular (Cañas, P. e Ysalgué, S.; Mapa Geomorfología, ICGC, 1978). Este tramo costero presenta extensiones acantiladas rocosas, de poca altura, interrumpidas por playas y vegetación de manglar parcialmente transformado.

La costa está bordeada por un estrecho bajo rocoso, a menos de 10 m de profundidad. En esta zona marina los corredores de navegación de gran calado aparecen cercanos a la línea costera, pues las profundidades notables se localizan más próximas a la misma.

Dentro de los aspectos a analizar, uno de los más importantes es el relacionado con los derrames de hidrocarburos, para lo cual han sido propuestos los Índices de Sensibilidad Ambiental para 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. Este tipo de clasificación requiere de una caracterización de la geomorfología de la zona, detalles relacionados con la estratigrafía, la vegetación y detalles del tipo de paisaje a una escala detallada de trabajo de campo (escala 1 : 500 hasta 1 : 2000), que generalmente no están disponibles para áreas extensas.

Otro aspecto a considerar es la cantidad y tipo de información disponible, así como los propósitos para los cuales se confeccionará el mapa de Índice de Sensibilidad. Se plantea que un mapa estratégico global a una escala aproximada de 1 : 1 000 000 podría utilizarse durante un derrame para localizar áreas generales de población, rutas de tráfico de embarcaciones y recursos importantes (Wotherspoon, P., *et al.*, Guía Ambiental No. 16 de ARPEL, 1997). Mapas más detallados y específicos para escalas aproximadas de 1 : 10 000 son útiles para desarrollar estrategias de respuesta para derrames menores o cuando un gran derrame se aproxima a la costa.

Sin embargo, la escala a utilizar para la confección de mapas de sensibilidad ambiental estará en dependencia, fundamentalmente, de la disponibilidad de datos necesarios para su confección a una escala de trabajo dada, por la necesidad de detalles en ciertas áreas y del modo en que se utilizará la información.

En el presente trabajo, y considerando los aspectos de la geomorfología de la zona de estudio, la limitación de recursos, así como la extensión de la zona costera (aproximadamente 50 Km), se determinó realizar el mapa del Índice de Sensibilidad Ambiental utilizando un método automatizado simplificado utilizando Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.) que nos permitió, grosso modo, obtener las características geomorfológicas y energéticas principales relacionadas con la clasificación de ARPEL.

Materiales y Métodos

Un índice de la geomorfología de la zona costera viene dada por la curvatura, que es la medida de la razón de cambio del ángulo de inclinación de los planos laterales de la línea de un perfil definido por la



superficie a lo largo de una dirección específica. La curvatura se reporta como el valor absoluto de la razón de cambio y es, por lo tanto, un número positivo.

La fórmula matemática para la curvatura direccional de una superficie $f(x,y)$ en una dirección definida \underline{S} está dada por (Schwartz, 1974):

$$K_S = (\text{Mod}(d^2f/ds^2)) / (1 + (df/ds)^2)^{3/2}$$

Se utilizó el mapa digital de la República de Cuba a escala 1: 250 000 confeccionado por la Agencia de Cartografía Digital de GeoCuba La Habana (1999), se generó un mapa de la zona a escala 1: 75 000 que sirvió de base cartográfica general para el presente informe (Figura 1), el cual brinda la ubicación de las principales poblaciones, carreteras y caminos, tipos principales de vegetación, ríos, etc.

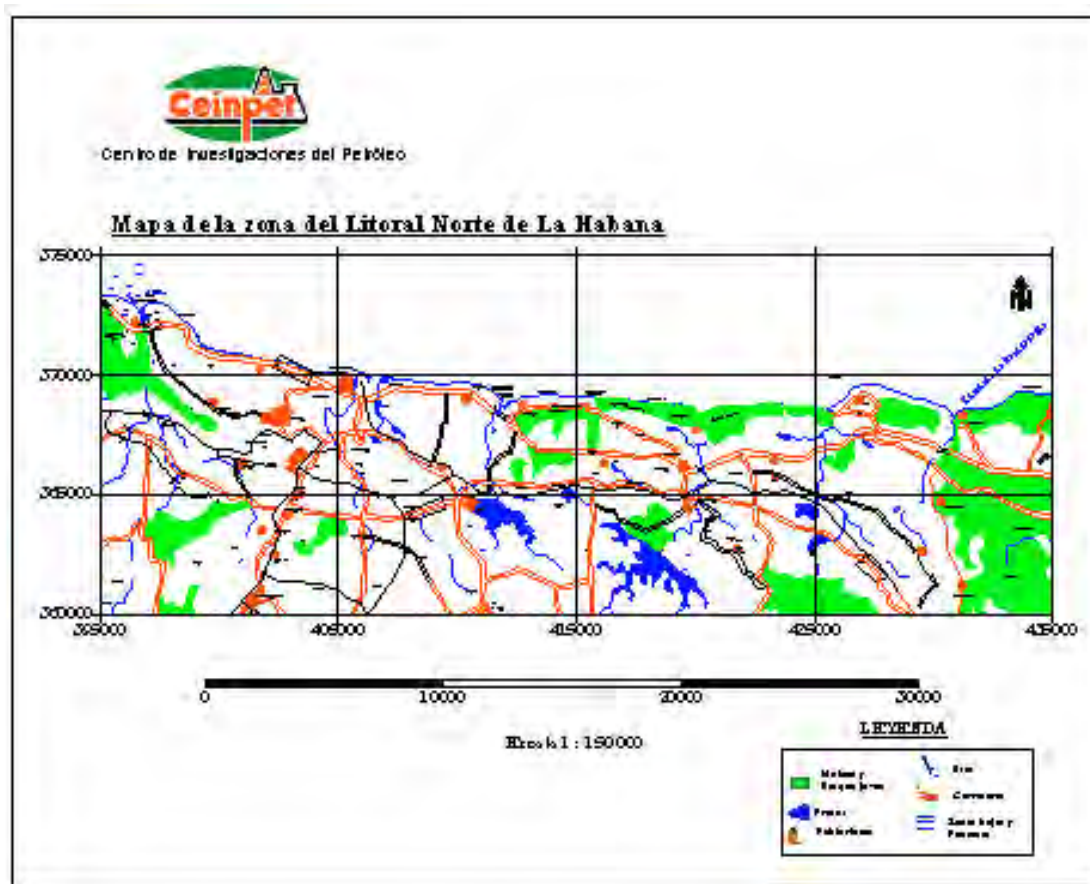


Figura 1. Mapa base de la zona del litoral Norte de La Habana.

Resultados y Discusión

En el caso que nos ocupa, al obtener la curvatura direccional para la dirección Norte se pueden observar, perfectamente, los acantilados rocosos existentes en la zona (Fig. 2). Esta característica de la geomorfología de la zona nos permitirá analizar los índices de sensibilidad ambiental en caso de derrames de petróleo.

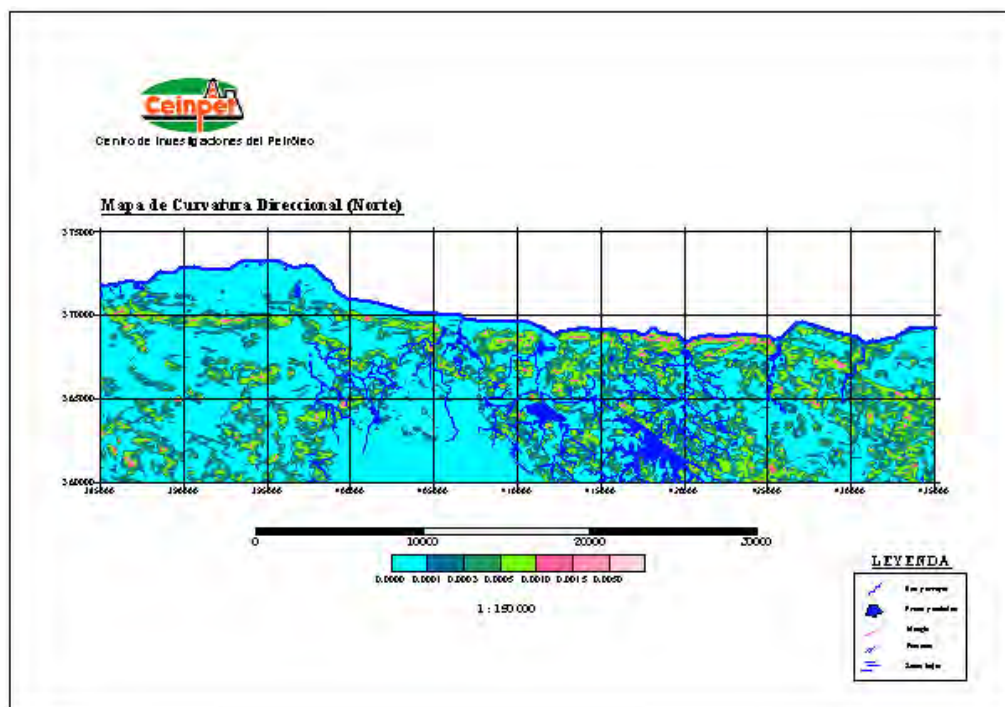


Fig. 2. Mapa de la razón de cambio direccional (Curvatura) en la dirección Norte.

Utilizando la información disponible de relieve (fichero ASCII) en la misma escala, con valores de X y Y en el Sistema de coordenadas Cuba Norte en la Proyección Cónica Conforme de Lambert y valores de Z en metros, se confeccionó el modelo digital de elevación de la zona (Fig. 3) que permitió obtener modelos sombreados de la misma (Fig. 4), así como la dirección y el ángulo de las pendientes.

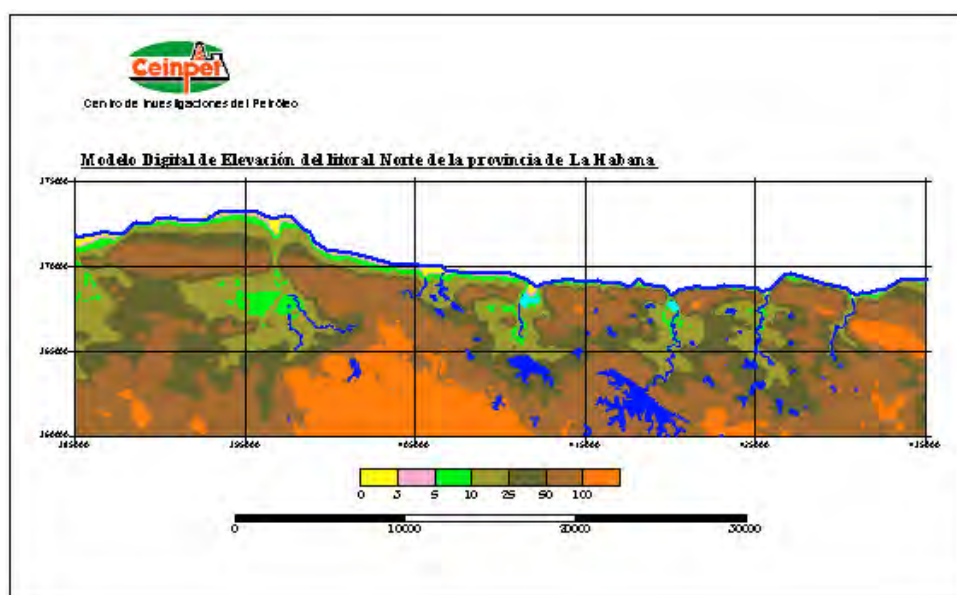
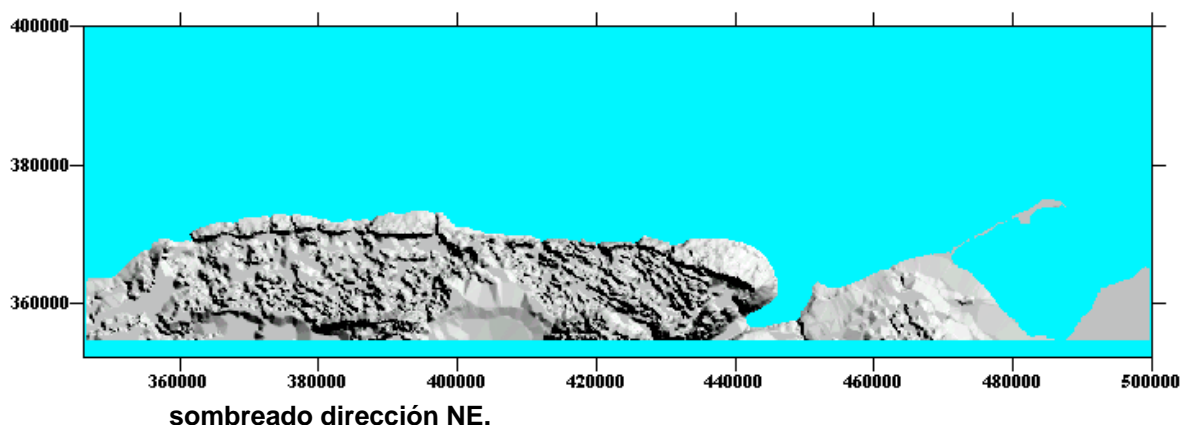


Figura 3. Modelo Digital de Elevación de la zona del litoral Norte de La Habana.



De igual forma, y conociendo que la exposición a la energía de las olas es uno de los factores que afectan la vulnerabilidad de la ribera, asignándose bajos valores del índice de sensibilidad ambiental a altos niveles de energía de olas, debido a que la fuerza del rompiente promueve la limpieza natural y por lo tanto tiende a disminuir el tiempo de residencia del hidrocarburo, se analizó el "Fetch" que correspondería a la zona litoral considerando para ello la definición de Fetch (Fig. 5).



Fig. 5. Gráfico para la explicación del Fetch

siendo:

La Ventana del Fetch, el ángulo máximo de fetches de viento que afectan una ribera.

La Distancia de Fetch, la distancia desde la ribera a la recalada más cercana ocupando una porción importante de la ventana del fetch. La exposición a diferentes niveles de energía de olas puede estimarse de acuerdo a la tabla 1:



Tabla 1. Energía de las olas a partir de las componentes del Fetch

Distancia de "Fetch"	Ventana del "Fetch"			
	< 45°	45° - 120°	120° - 180°	> 180°
< 5 km	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA
5 - 10 km	BAJA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
10 - 50 km	MEDIA	MEDIA	ALTA	ALTA
> 50 km	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA

Entonces, y debido a que la distancia desde cualquier parte de la costa de la zona objeto de estudio a la recalada más cercana es siempre superior a 50 km, la energía debido a las olas generadas por el viento es alta, correspondiéndole por lo tanto, un índice de sensibilidad baja, excepto en algunas zonas correspondientes a desembocaduras de los ríos.

Se realizó un análisis por zonas de las distancias de fetch y las ventanas correspondientes, confeccionándose un mapa preliminar del I.S.A. considerando solamente el fetch, el cual se puede apreciar en el mapa de la figura 6.

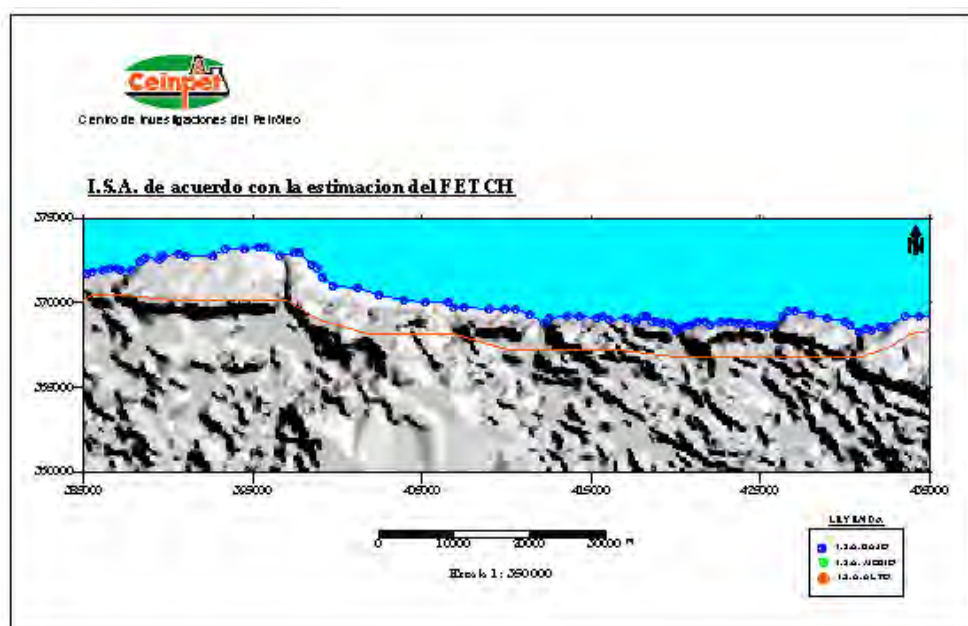


Fig. 6.
Mapa de I.S.A.
considerando el
Fetch, de la zona
del litoral Norte de
La Habana.

Para la determinación del I.S.A. se agruparon las alturas de las costas, las pendientes y los valores de energía de las olas de viento en tres categorías cada una, como se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2. Categorías para las componentes de determinación del ISA

CATEGORÍA	ALTURA (m)	PENDIENTE (°)	FETCH
1	$H < 5$	$P < 5$	ALTA ENERGIA
2	$5 \leq H \leq 10$	$5 \leq P \leq 30$	ENERGIA MEDIA
3	$H > 10$	$P > 30$	BAJA ENERGIA

Para la obtención del Índice de Sensibilidad Ambiental de la zona, se tuvo en consideración que los organismos biológicos no son muy abundantes en ambientes de alta energía de olas, así como el hecho de que las corrientes de costa afuera creadas por la refracción/reflexión de las olas empujan el petróleo derramado lejos de la costa y minimizan sus efectos, por lo cual se tomó el índice del fetch como factor principal.



Se obtuvieron tres ficheros con valores X, Y y Z a partir del modelo digital de elevación, del mapa de pendientes y del mapa preliminar del I.S.A. de acuerdo al fetch, con valores de X y Y cada 100 metros, así como un programa que permitió determinar el Índice de Sensibilidad Ambiental. El fichero resultante fue interpolado utilizando el sistema Surfer 7.0 y se obtuvo el mapa del Índice de Sensibilidad Ambiental de toda la zona, el cual se muestra en la figura 7 de manera general y finalmente, utilizando el mapa base de la zona objeto de estudio se confeccionó un mapa del Índice de Sensibilidad Ambiental incluyendo una serie de aspectos cartográficos imprescindibles, modificando los colores para que no existieran confusiones con los bosques y que se muestra en la figura 8.

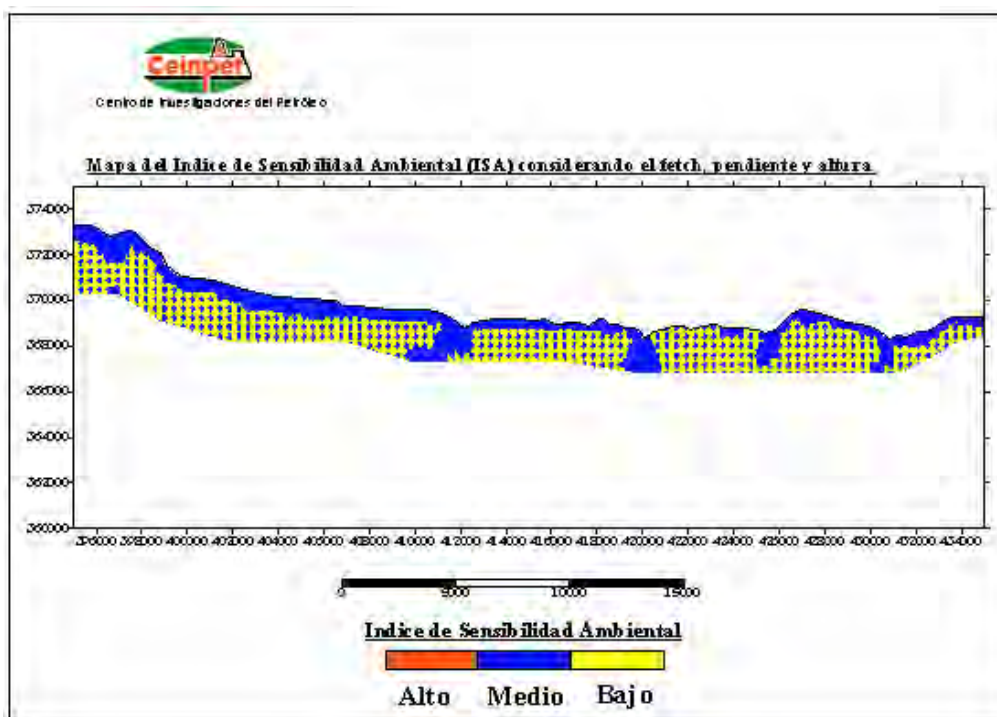


Figura 7. Mapa de I.S.A. considerando el Fetch, pendiente y altura, de la zona del litoral Norte de La Habana.

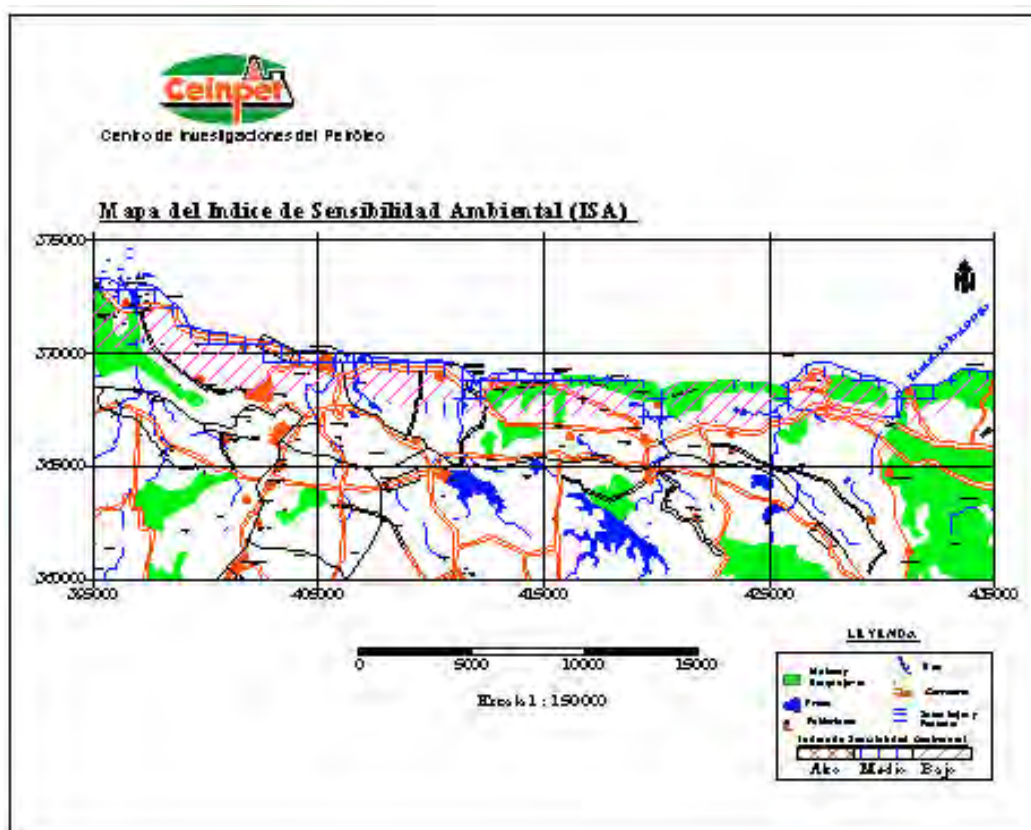


Figura 8. Mapa de Índice de Sensibilidad Ambiental de la zona del litoral Norte de La Habana.

Se observa que a lo largo de la costa no existe ninguna zona en la cual el Índice de Sensibilidad Ambiental sea categorizado como Alto, mientras que solamente en las lomas de Canasí es donde aparecen zonas con I.S.A. Bajo en la costa, apareciendo además en la zona de acantilados. Este resultado coincide con el análisis que se había realizado anteriormente considerando las características de la geomorfología de la zona, donde predominan los acantilados rocosos, existiendo zonas con playas de arenas de grano grueso a medio.

Conclusiones

- La zona del litoral Nordeste de la provincia La Habana se caracteriza por presentar extensiones acantiladas rocosas, de poca altura, interrumpidas por playas y vegetación de manglar parcialmente transformado.
- La obtención de la curvatura direccional permite determinar la existencia de acantilados rocosos en la zona. Esta característica de la geomorfología de la zona se utiliza para analizar los índices de sensibilidad ambiental en caso de derrames de petróleo.
- Se demostró que con la confección del Modelo Digital de Elevación (MDE) de la zona y el mapa de pendientes se puede determinar, conjuntamente con el fetch correspondiente, un Índice de Sensibilidad Ambiental, lo cual es una nueva metodología para la obtención de éstos, al tiempo que se constituye en un instrumento para la realización de la cartografía de los mismos de forma automatizada.
- No existe ninguna zona en la cual el Índice de Sensibilidad Ambiental sea categorizado como Alto, mientras que solamente en las lomas de Canasí es donde aparecen zonas con I.S.A. Bajo en la costa, apareciendo además, en la zona de acantilados.



Bibliografía

Agencia de Cartografía Digital (1999): Mapa Digital de la República de Cuba a escala 1: 250 000.

Cañas, P. y S. Ysalgué (1978): Mapa GEOMORFOLOGÍA, ATLAS DE CUBA, I.C.G.C.

Schwartz, A. (1974), Calculus and Analytic Geometry, 3rd edition, Holt, Rinehart, and Winston, New York, 1140 pp.

Wotherspoon, P., D. Marks, L. Solsberg y E. West (1997): "Guía para el desarrollo de mapas de sensibilidad ambiental para la planificación y respuesta ante derrames de hidrocarburos. Guía Ambiental No. 16. ARPEL, 88 pp.



INCIDENCIA DE FACTORES GEOMORFOLÓGICOS SOBRE LOS IMPACTOS AL MEDIO EN ZONAS LITORALES POR LA ACTIVIDAD PETROLÍFERA EN CUBA. I. LITORAL NORDESTE DE LA HABANA.

Dr. Orlando Alvarez Hernández, Dr. Miguel Díaz, Lic. Ramón Cruz e Ing. Julio Gómez.

Centro de Investigaciones del Petróleo. Washington # 169 esq.Churruca. Cerro, C. de La Habana. e-mail: oral@ceinpet.inf.cu

RESUMEN

La actividad petrolífera (extracción, producción o transportación) en cualquier país ocasiona, o puede ocasionar graves perjuicios al medio cuando no se toman las medidas adecuadas para salvaguardar el mismo. Zonas altamente sensibles ante la presencia de la contaminación por hidrocarburos son aquellas relacionadas con marismas costeras, vegetación de manglar y poca energía de las olas.

Dentro de los aspectos a analizar en el contexto de la protección del medio en 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.

De igual forma, y conociendo que la exposición a la energía de las olas es uno de los factores que afectan la vulnerabilidad de la ribera, asignándose bajos valores del índice de sensibilidad ambiental a altos niveles de energía de olas, debido a que la fuerza del rompiente promueve la limpieza natural y por lo tanto tiende a disminuir el tiempo de residencia del hidrocarburo, se analizó el "Fetch" que correspondería a la zona.

En el presente trabajo, y considerando los aspectos de la geomorfología de la zona de estudio, la limitación de recursos, así como la extensión de la zona costera (aproximadamente 50 Km), se determinó realizar el mapa del Índice de Sensibilidad Ambiental utilizando un método automatizado simplificado utilizando Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.) que permitió, grosso modo, obtener las características geomorfológicas y energéticas principales relacionadas con la clasificación de ARPEL.

Se presentan los mapas del Modelo Digital del Terreno de la zona, el de pendientes, el del Fetch de la zona litoral, modelos sombreados que permiten analizar las principales características geomorfológicas de la zona y el Mapa del Índice de Sensibilidad Ambiental de la zona de estudio ante derrames de hidrocarburos.



IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS GEÓLOGO-GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA DE SANTIAGO DE CUBA.

M.S.C. Ing. Julio Antonio del Puerto Sánchez⁽¹⁾, M.S.C. Lic. Diego Ulloa López⁽²⁾.

(1) Oficina Nacional de Recursos Minerales, Ave. Salvador Allende #666 / Soledad y Oquendo. Centro Habana. Ciudad de La Habana. Cuba. C.P. 10300. Email: julio@onrm.minbas.cu

(2) GEOCUBA. Investigación y Consultoría). Calle 4 / 3era y 3era A. Playa. Ciudad de La Habana. Cuba. C. P. 10100. Email: drul@geocuba.cu

RESUMEN

La investigación constituye uno de los resultados alcanzados por diversas ramas de las Geociencias, para el análisis del peligro, riesgo y la vulnerabilidad de la ciudad de Santiago de Cuba. Desde hace muchos años, ha existido la preocupación y el interés, por determinar los efectos negativos que afectan al medio ambiente. Si a través de los procesos dinámicos del relieve, se originan los peligros naturales y se puede reconocer como se distribuyen los procesos dinámicos del relieve, entonces mediante la caracterización geólogo –geomorfológica general es posible inferir uno o varios peligros potenciales, originados por los procesos geomorfológicos que tienen lugar en el territorio, y de esta forma identificar los peligros naturales potenciales que afectan el área de estudio. El objetivo de esta investigación es obtener la distribución espacial de los peligros naturales y la clasificación del territorio a partir de la predominancia de los tipos de peligros que pueden llegar a ocurrir en determinados sectores del mismo. En la investigación se realizó el análisis de la información documentaria, procesamiento y análisis digital, obtención del mapa geomorfológico general y la obtención del mapa tipológico de los peligros y el mapa de regionalización de los peligros. Los resultados obtenidos son: El Mapa Tipológico de Peligros y de Regionalización. A modo de conclusión se puede afirmar que la identificación de los peligros naturales, en este sector, es determinada mediante la caracterización y zonificación de los peligros, así como la clasificación tipológica de los peligros geólogo–geomorfológicos de la Cuenca de Santiago de Cuba.

ABSTRACT

The investigation constitutes one of the results reached by diverse branches of the Geosciences, for the analysis of the hazards, risk and the vulnerability of the city of Santiago from Cuba. For many years, it has existed the concern and the interest, to determine the negative effects that affect to the environment. If through the dynamic process of the relief, they originate the natural hazards and you can recognize like the dynamic processes of the relief are distributed, then by means of the characterization geologist – geomorphological general it is possible to infer one or several potential hazards, originated by the process geomorphological that take place in the territory, and this way to identify the hazards natural potentials that affect the study area. The objective of this investigation is to obtain the space distribution of the natural hazards and the classification of the territory starting from the predominance of the types of hazards that you they can end up happening in certain sectors of the same one. In the investigation she/he was carried out the analysis of the documental information, prosecution and digital analysis, obtaining of the map general geomorphological and the obtaining of the tipological map of the hazards and the map of hazards regionalization. The obtained results are: The Tipological Map of Hazards and Regionalization. By way of conclusion one can affirm that the identification of the natural Hazards, in this sector, it is determined by means of the characterization and zonificación of the Hazards, as well as the tipological classification of the hazards geologist-geomorphologicals of the Cuenca of Santiago from Cuba.



Introducción

En la actualidad, el número de desastres naturales ha aumentado con respecto a la década del 60, incrementándose el impacto medioambiental y en particular la vulnerabilidad de las ciudades, ya que muchas de ellas, están ubicadas en zonas donde ocurren eventos naturales peligrosos.

El incremento de los desastres naturales, sublima la importancia del análisis de las amenazas, como una de las fases más relevantes, del control de los desastres naturales. La prevención de los mismos, mediante el estudio de los factores condicionantes, su probabilidad de ocurrencia, acciones naturales y humanas que los desencadenan, constituyen elementos insoslayables, en este análisis.

La adopción de una estrategia de mitigación de peligros, en los Planes de Mitigaciones, tiene implicaciones sobre la planificación territorial.

La elaboración de Planes de Contingencias, contribuye al ahorro económico, y a la preservación de vidas humanas.

Los procesos naturales, dan lugar a diversos tipos de peligros, que son identificados y representados cartográficamente, mediante los Mapas de Peligros.

La Modelación Cartográfica de los Peligros, es una excelente ayuda en los trabajos de mitigación, y es una herramienta analítica, para evaluar la vulnerabilidad y el riesgo, especialmente cuando se combina con la cartografía de las instalaciones críticas. Proporciona una base más equitativa, para asignar fondos a la planificación de desastres; estimula el uso de procedimientos de emergencia, en materia de preparación, respuesta y recuperación, pues resultan ser más eficientes e integrados; promueve la creación de acuerdos cooperativos, para involucrar a todos los sectores de la sociedad.

Es de vital importancia, la acción directa del pueblo, en conjunto con todos los factores del país.

En nuestro país, se desarrollan programas nacionales, Científico-Técnicos especiales, con el objetivo, de perfeccionar las medidas del Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil para la protección de la economía y la población. Apoyados directamente por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).

Se conoce, que la Región Oriental de Cuba, puede considerarse como una zona de alto riesgo geólogo-geomorfológico.

En la zona de Santiago de Cuba, se han descrito amenazas naturales, relacionadas con procesos de deslizamientos, sismos, inundaciones, penetraciones del mar, e inducidas que son provocadas por la erosión, debido a la deforestación del lugar. Las amenazas provocan la susceptibilidad, en algunas zonas cercanas al lugar.

Debido entre otros factores, a la localización de la ciudad de Santiago de Cuba, que es considerada, el segundo enclave de importancia en el país, la caracterización, zonificación y evaluación de los peligros naturales en la cuenca de Santiago, es una de las soluciones de vital importancia.



El objetivo de esta investigación es la identificación de los peligros, realizada mediante la caracterización geólogo-geomorfológica del territorio.

Si a través de los procesos dinámicos del relieve, se originan los peligros naturales y se puede reconocer como se distribuyen los procesos dinámicos del relieve, entonces mediante la caracterización geólogo –geomorfológica general es posible inferir uno o varios peligros potenciales, originados por los procesos geomorfológicos que tienen lugar en el territorio, y de esta forma identificar los peligros naturales potenciales que afectan el área de estudio.

Los principales resultados aportados en el proceso investigativo lo constituyen, la Tabla de regionalización de los Procesos geólogos-geomorfológicos clasificados en peligrosos o no, según el desarrollo de estos procesos. El Mapa Geomorfológico general a escala 1: 25 000, Mapa Tipológico de los Peligros a escala 1: 25 000 y el Mapa de Regionalización de los peligros a escala 1: 25 000, procesados en formato digital mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica, con el cual queda caracterizado el territorio de la Cuenca de Santiago de Cuba, se ha realizado un análisis de los peligros potenciales que inciden en el territorio.

Para realizar los estudios de Peligros, se han analizado diversas metodologías, dentro de las cuales se pueden mencionar:

Western, 1998, Arango, 1999. Ha definido una clasificación, de acuerdo al concepto de amenaza geológica. Brabb, 1985, y Anderberg, 1997.

Principios, materiales y métodos asumidos en los estudios de peligro, de la cuenca de Santiago de Cuba.

❖ Principios

Considerando, que todavía no quedan claros, los conceptos y definiciones de los Peligros y Riesgos, por parte de numerosos investigadores, Instituciones y además el Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil de Cuba, no define un concepto único. Se ha decidido aceptar el concepto de Peligro y Riesgo, del Centro de Ecología y Salud de México, 1998. Sin embargo, la teoría del peligro está referida necesariamente, a la vida del hombre, en tal sentido se debe aceptar que está enmarcada, directamente dentro de la relación: Naturaleza – Sociedad. Por tanto, la identificación de los procesos naturales evaluados como peligrosos, constituiría sólo el 50 %, sino se conoce las implicaciones que estos procesos, pueden tener sobre la sociedad, o sea el daño que puedan causar, el cual posteriormente podría ser evaluado probabilísticamente como un riesgo. Esto implica que entre Peligro y Riesgo, resulta necesario un paso intermedio, en el cual se clasifiquen las consecuencias resultantes, de la ocurrencia efectiva de un proceso natural peligroso.

La explicación anterior, está representada por la Figura No 1: Esquema de la relación entre el Peligro - Daño – Riesgo.

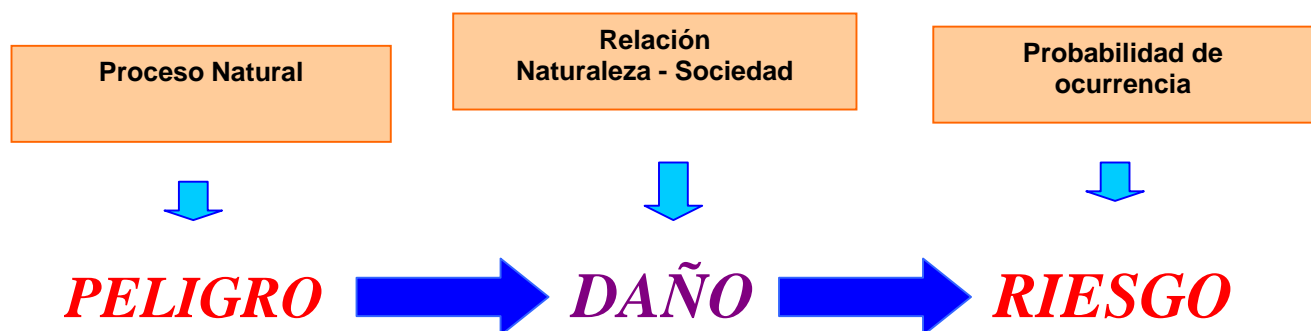


Figura No 1: Esquema de la relación entre el Peligro - Daño – Riesgo.

- ❖ **Daño:** Se define como la capacidad potencial de ocurrencia de consecuencias adversas, sobre la sociedad, la economía y la población, están dadas por el suceso efectivo de un proceso geomorfológico evaluado como peligroso, relación directa con el uso actual o potencial del territorio, Ulloa y del Puerto, 2002.

El Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil de Cuba, plantea como primer paso, que se realice “ **la identificación de cada uno de los posibles peligros**”.

Entonces el problema de la investigación consiste en: ¿ **Cómo identificar los peligros naturales de la Cuenca de Santiago de Cuba?**

Se supone, que la “ **identificación** ” de los peligros es posible, mediante la caracterización y zonificación de los peligros en el geoespacio, ver en la figura 2.

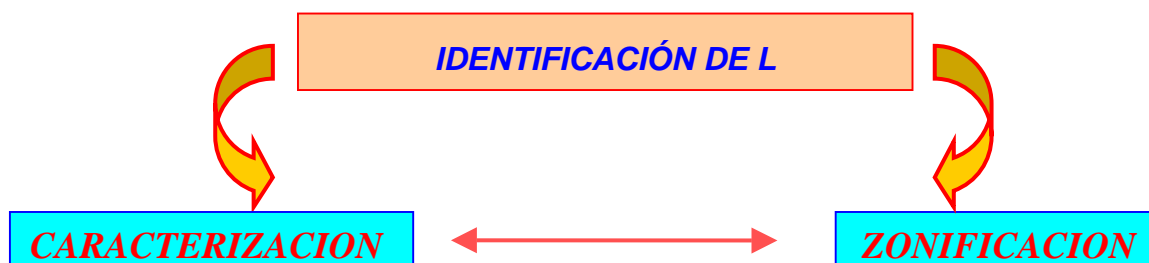


Figura No 2: Esquema de la Síntesis metodológica determinada a partir del concepto de Peligro.

Si a través de los procesos dinámicos del relieve, se originan los peligros naturales y se puede reconocer como se distribuyen los procesos dinámicos del relieve, entonces mediante la caracterización geólogo –geomorfológica general es posible inferir uno o varios peligros potenciales, originados por los procesos geomorfológicos que tienen lugar en el territorio, y de esta forma identificar los peligros naturales potenciales que afectan el área de estudio, con lo cual se cumple la primera etapa, que consiste en la identificación de los peligros.

Por tanto, la identificación de los peligros naturales de la Cuenca de Santiago de Cuba, se obtiene a través de la caracterización y zonificación de los peligros, mediante la caracterización geólogo-geomorfológica general del territorio.



El objetivo de esta investigación, es la identificación de los peligros, realizada mediante la caracterización geólogo-geomorfológica del territorio, con lo cual quedaría demostrada la hipótesis de partida.

El cuerpo de la investigación quedó estructurado en cuatro etapas las cuales fueron:

Etapla 1. Análisis de la información documentaria, Análisis de la fotointerpretación y los trabajos de levantamientos de campo.

Etapla 2. Procesamiento y Análisis digital: Digitalización de las bases topográficas, bases geológicas, datos de campo y análisis morfométrico mediante SIG.

Etapla 3. Obtención del Mapa Geomorfológico general.

Etapla 4. Obtención del Mapa Tipológico de los Peligros y el Mapa de Regionalización de los Peligros.

ETAPA No 1: Análisis de Partida

❖ Análisis de la información documentaria:

En la primera etapa, se analizaron diversas fuentes de información sobre la temática de los peligros naturales. En el caso particular de Cuba, se cuenta con numerosas investigaciones realizadas en la cuenca de Santiago de Cuba, y áreas próximas a la misma, donde diversos autores tienen diferentes conceptos y definiciones sobre los peligros y riesgos naturales.

ETAPA No 2. Procesamiento y análisis digital de las bases de datos:

❖ **Digitalización de las bases topográficas:** El procesamiento geoinformático, de la información cartográfica consistió, en la entrada por digitalización de las planchetas de levantamiento, de los planos a escala 1:25 000, con lo cual se confeccionó, el modelo digital de elevación de la zona de estudio. La entrada de los datos planimétricos y altimétricos, se efectuó con Auto CAD – 2000, asignándole después, los atributos de altura absoluta a las curvas, y a los puntos notables. Esta información fue almacenada, en la extensión DXF, la cual se transformó posteriormente, en una base de datos que se importó a SURFER 7.0 y ARCVIEW 3.2, para llevar a cabo, el posterior análisis geólogo – geomorfológico mediante la “Modelación Espacial”.

ETAPA No 3. Obtención del Mapa Geomorfológico:

Para la caracterización geólogo-geomorfológica del territorio, se tuvo en consideración, los criterios de Spiridonov, 1990. Para la obtención del mapa geomorfológico, primeramente se realizó el análisis de toda la data graficada, con el objetivo de utilizar primeramente la información brindada a través del modelo digital de elevación que serviría como base, para efectuar posteriormente la superposición los mapas temáticos elaborados inicialmente.

En este mapa, se caracterizan cuatro zonas geomorfológicas, atendiendo a la génesis y morfometría del relieve, así como los elementos de forma, para la elaboración de este mapa se empleó el SURFER 7.0.



Antes de elaborar la leyenda del Mapa Geomorfológico, fue necesario realizar un estudio, de las principales tendencias actuales del mapeo geomorfológico.

ETAPA No 4: Obtención del Mapa Tipológico de los Peligros y del Mapa de Regionalización de los Peligros: (Ver figura 3 y 4)

❖ **Obtención del Mapa Tipológico de los Peligros:**

Durante el análisis de los procesos geólogo - geomorfológicos y la dinámica actual del relieve, se identifican los peligros, atendiendo a la clasificación de los procesos naturales en peligrosos o no, los cuales presentan un gran desarrollo. De acuerdo con la intensidad de algunos de ellos, que se representan, debido a la relación que presentan con los procesos geólogo – geomorfológicos que dan origen, a diversos procesos, teniendo en cuenta algunos factores específicos como la altimetría, el ángulo de inclinación de las pendientes, las características geológicas, entre otros.

❖ **Obtención del Mapa de Regionalización de los Peligros:**

Después de haber determinado la dinámica de los procesos geólogo-geomorfológicos, evaluados como peligros, se determinaron cuales eran los daños que podían causar estos peligros, así como la distribución de estos en una extensión areal, la cual se fue caracterizada de acuerdo a diferentes factores como: La geología, altimetría, geomorfología, etcétera, un grupo de peligros se observaban en más de una región, debido al desarrollo de éstos en las regiones y a la variación de los factores evaluados.

En la Cuenca de Santiago de Cuba se identificaron un total de 9 tipos de Peligros, que por su desarrollo han logrado predominar en una región o lugar determinado. Los peligros identificados en la región, son los siguientes:

-Peligro por caídas de piedras, Peligro por desmoronamientos de detritos, Peligro por deslizamientos de tierras, Peligro por Corrimientos de bloques, Peligro por Desprendimientos de bloques, Peligro por derrumbes de la costa abrasiva, Peligro por deflucción, Peligro por desplome y asentamiento por carsificación, Peligro por inundación,

Conclusiones

1. No existe un criterio unificado, sobre el concepto de peligro, y las metodologías existentes no están preparadas, para identificar los diferentes tipos de peligros naturales, que puedan afectar un sector regional de la superficie terrestre, ni explotar sistemáticamente los datos extraídos de la superficie terrestre.
2. La identificación de los peligros naturales, de un sector de la superficie terrestre, pueden ser ejecutadas, mediante la caracterización y zonificación de los peligros, por procesos geólogos-geomorfológicos que afectan a la región.
3. La metodología utilizada, resultó apropiada para la identificación de los peligros de la Cuenca de Santiago de Cuba.
4. Las tres grandes unidades morfoestructurales se encuentran a su vez, ampliamente seccionadas neotectonicamente, al menos tres grandes generaciones de fallamientos, las han dividido en diferentes microbloques, con un particular desarrollo morfoescultural bien diferenciado por la génesis y la dinámica actual del relieve.



5. Se considera como una conclusión de este trabajo, la clasificación tipológica de los peligros geólogo – geomorfológicos de la Cuenca de Santiago de Cuba.
6. Se identificaron como peligrosos, 9 tipos de procesos geólogos- geomorfológicos presentes en el área de estudio, que pueden ocasionar diferentes daños.
7. Los peligros geólogos–geomorfológicos en dependencia del uso, pueden influir de formas diferentes, que han sido denominadas daños en la presente investigación.
8. El área de estudio ha sido clasificada en cinco regiones, atendiendo a los diferentes tipos de peligros, que pueden ocurrir en el territorio.
9. El daño quedó definido como: La capacidad potencial de ocurrencia, de consecuencias adversas sobre la sociedad, la economía y la población, están dadas por el suceso efectivo de un proceso geomorfológico, evaluado como peligroso, constituye relación directa, con el uso actual o potencial del territorio.

Bibliografía.

- Anderberg, M. R, (1997): Cluster Analysis for Applications(New York: Academic Press)
- Arango. E. D, (1996):" Geodinámica de la Región de Santiago de Cuba, en el límite de las placas: Caribeña y Norteamericana". Tesis en oposición al grado académico de Maestro en Ciencias Geológicas, México 73 pp (inédito).
- Brabb, E.E, (Toronto, 1985): "Innovative Approaches to Landslide Hazard and Risk Mapping" in IV International Symposium on Landslides, vol. 1 pp. 307-323.
- Centro Panamericano de Ecología humana y salud, Metepec, México, (1998): Evaluación y manejo de riesgos: Sistemas para la toma de decisiones.
- Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil de Cuba: Indicación No 1 Sobre los Conceptos de Peligro, Riesgo y Vulnerabilidad de desastres, 1998.
- López Ulloa, r. d, y Sánchez del puerto, A. J: Caracterización geólogo – geomorfológica, antesala de los Peligros Naturales. Taller de Peligro, Riesgo y Vulnerabilidad(Inédito). UNAICC, 2002.
- Spirídinov, A. I, (1990). Tomo I y II: Principios de la Metodología de Investigación de campo y Mapeo Geomorfológico.

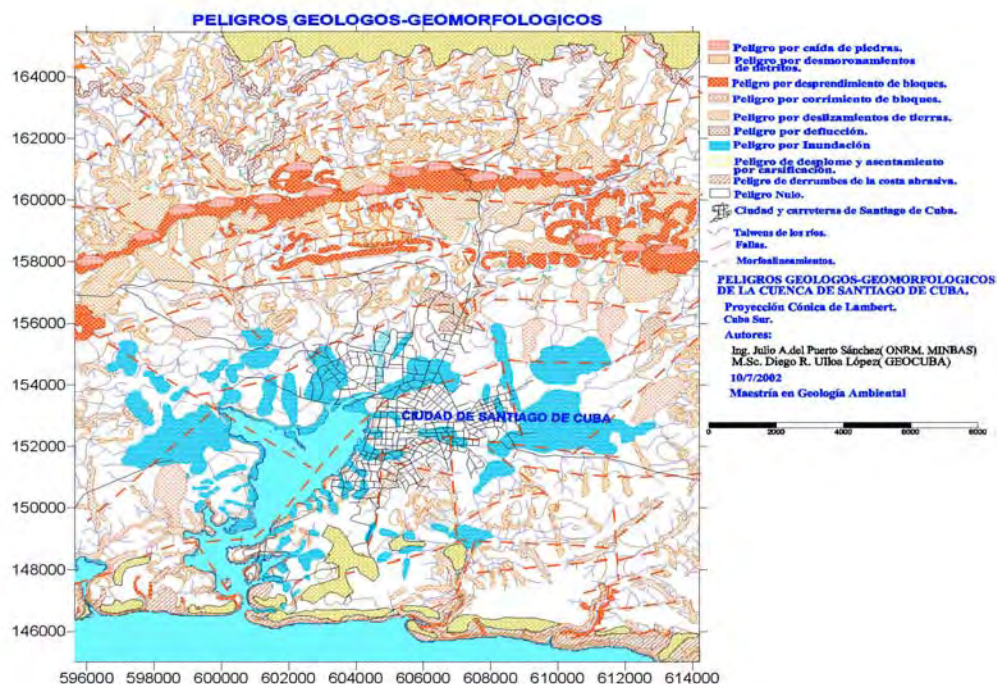


Figura No 3. Mapa Tipológico de los peligros geólogos-geomorfológicos de la Cuenca de Santiago de Cuba.

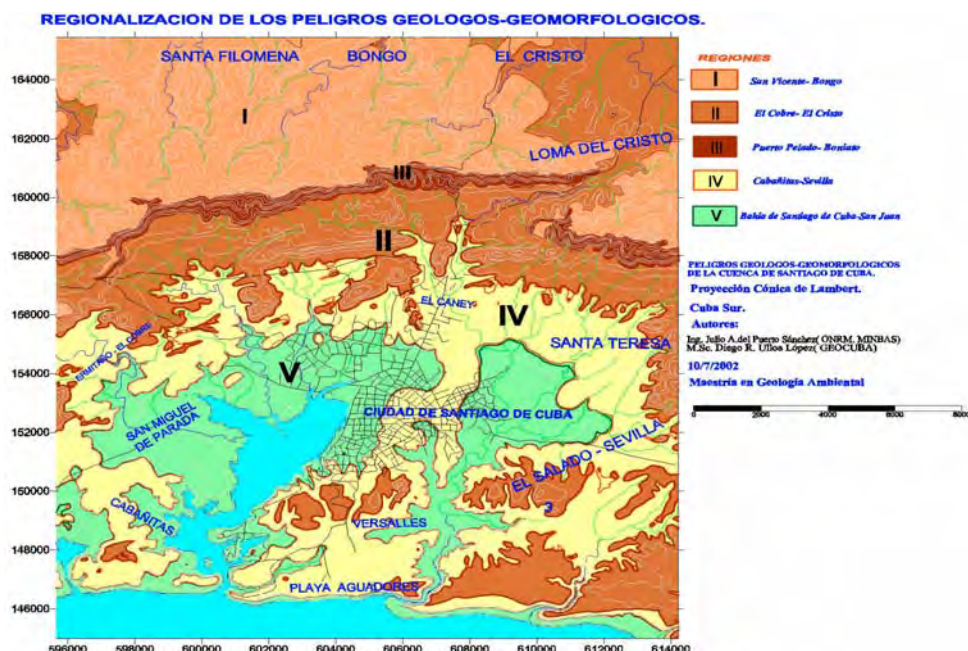


Figura No 4. Mapa de Regionalización de los peligros geólogos-geomorfológicos de la Cuenca de Santiago de Cuba.



LOS PELIGROS NATURALES EN CAYO LARGO, VARADERO Y SANTA LUCIA.

Carlos Sacasas León

Departamento de Geociencias. Facultad de Ingeniería Civil. ISPJAE.

Calle 24 # 378 (altos), entre 23 y 21. Vedado. Ciudad Habana.

e-mail: cs1@civil.ispjae.edu.cu

RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos en los estudios de los peligros naturales llevados a cabo por la Consultoría Ambiental GEMA como parte de los Estudios de Riesgos de Desastres en el proceso inversionista para 7 instalaciones enclavadas en esos tres polos turísticos. Se realizan observaciones de campo, análisis de mapas topográficos y geológicos y fotos aéreas realizándose el procesamiento y presentación de la información con la utilización de software especializados. En todos los casos se realiza el análisis de la información que aporta un SIG para el análisis de varios indicadores de peligro tomando como base la data histórica de huracanes que han afectado el territorio nacional desde 1886.

ABSTRACT

The results obtained in the studies of the natural hazards carried out by the Consultancy Environmental GEMA like part of the Studies of Risks of Disasters in the process investor for 7 facilities located in those three tourist poles. They are carried out field observations, analysis of topographical and geologic maps and air pictures being carried out the prosecution and presentation of the information with the specialized software use. In all the cases it is carried out the analysis of the information that a GIS contributes for the analysis of several indicators of danger taking like dates about historical hurricanes that have affected the national territory from 1886.

Introducción

La Consultoría Ambiental GEMA-CETA mediante su Grupo de Estudios de Desastres ha realizado varios estudios de los Peligros Naturales en diversos sitios del territorio nacional. Los polos turísticos de Santa Lucía, Varadero y Cayo Largo del Sur tienen una alta prioridad en el proceso inversionista, sin embargo, son territorios de un alto grado de susceptibilidad a los efectos de eventos naturales de alta peligrosidad como es el caso de los ciclones tropicales, las inundaciones costeras y pluviales así como otros eventos de carácter geológico. La descripción de estos fenómenos tienen importancia para aumentar el grado de información relacionado con estos territorios.

Materiales y Métodos

En todos los casos descritos se utilizó el procedimiento de estudiar la información geológica, cartográfica y meteorológica disponible. Se realizaron visitas de comprobación y muestreo. En todos los casos se utilizó un Proyecto de desarrollo de un Sistema de Información Geográfica para valorar el grado de peligrosidad por los huracanes. También fueron utilizados varios software tales como el SURFER y herramientas de algunos SIG como el Idrisi y el ArcView. Se confeccionó el Modelo Digital del Terreno tomando como base la información cartográfica 1:25



000 y 1:10 000 de los territorios. Para Cayo Largo del Sur se pudo procesar la imagen satelital y las fotos aéreas.

Resultados y Discusión

Los Peligros Naturales en Cayo Largo del Sur

Cayo Largo se encuentra ubicado al Sur de la región Occidental de la Isla de Cuba y pertenece al Municipio Especial Isla de la Juventud. Forma parte del Archipiélago de los Canarreos, el cual se extiende desde la cayería de San Felipe, al Este de la Isla de la Juventud, hasta Cayo Guano del Este, al Sur de la Bahía de Cochinos, en la Península de Zapata. Está rodeado al Norte por las aguas del Golfo de Batabanó y al Sur por el Mar Caribe. Cayo Largo del Sur se orienta en dirección Sudoeste - Noreste con un área aproximada de 38 km^2 y un ancho que fluctúa entre 0,5 y 5 km. Las características anteriores lo exponen a diversos peligros naturales fundamentalmente de carácter meteorológico. En particular queremos resaltar algunos elementos físico geográficos que requieren de un cuidadoso análisis para extraer cualquier conclusión en el estudio de los peligros. En este sentido incluiremos los siguientes factores:

1. Las bajas profundidades de las aguas del Golfo de Batabanó. Aquí prevalecen condiciones de mares tranquilos la mayor parte del año con una dinámica exógena muy atenuada predominando los procesos de acumulación, especialmente de material arcilloso calcáreo y turba.
2. Las aguas profundas que bañan el sector Sur del Cayo con una fuerte pendiente del fondo marino que se expresa a sólo unos metros de la costa en la parte occidental y a algunos kilómetros en su porción oriental. La orientación del cayo en dirección Suroeste – Noreste hace que en su parte más Occidental sea casi paralelo al abrupto talud del fondo submarino que cae hacia el Mar Caribe. Su ubicación al borde de este talud expone la costa Sur al embate directo del mar abierto, imponiendo al medio litoral de esta parte una dinámica muy diferente a la que impera en la costa Norte. En la costa meridional la acción del oleaje y las corrientes son mucho más energéticas, donde predominan los procesos erosivos y una alta movilidad del medio marino.
3. Una extensa cadena de cayos del archipiélago al Oeste y algunos al Este los cuales pueden ser barreras protectoras del oleaje y los vientos en situaciones particulares.
4. Algunas barreras de arrecifes coralinos que se encuentran al Sur del cayo y se extienden en dirección Este comenzando en la cota batimétrica – 5 m para continuar en su mayor extensión siguiendo la cota –10 m. También es posible encontrarlos al Sur y Sur Oeste de Punta Mal Tiempo también a esas profundidades. Estos arrecifes pueden ser elementos disipadores de la energía del oleaje.
5. Se encuentra al Oeste del meridiano 80^0 en la llamada Zona Occidental de Vientos Máximos de Cuba. El análisis de la data histórica de los ciclones tropicales que han afectado el territorio nacional desde 1886 hasta el 2001 indica que el cayo se encuentra en una posición geográfica que ha sido azotada por una importante cantidad de eventos incluyendo de categoría 4 en la Escala Saffir-Simpson.
6. La presencia de lagunas interiores semiabiertas y cerradas. Están presentes fundamentalmente en el sector Norte del Cayo. Sus orillas están pobladas por espesas



vegetaciones de mangles de distintas variedades (mangle rojo, mangle prieto y Yana). Este ecosistema realiza una función amortiguadora del efecto del oleaje proveniente en este caso del Golfo de Batabanó. No obstante también se puede producir la sobre elevación de sus aguas a causa de los ciclones tropicales y en el caso fundamentalmente de las lagunas cerradas se pueden producir desbordamientos por intensas lluvias las cuales también pueden estar asociadas a dichos ciclones tropicales u otros eventos extremos.

Para un estudio más particular de esta situación en el Cayo se analizó la data histórica referente a las trayectorias de todos los ciclones tropicales que han afectado al territorio nacional desde 1886 y evaluada en un Sistema de Información Geográfica elaborado por el autor. Los principales resultados se muestran a continuación.

Huracanes con trayectorias a menos de 110 Km de Cayo Largo.

Los huracanes que en un radio de 110 Km alrededor del Cayo lo han afectado son 18. En la Tabla I se muestra por categoría el número de eventos, la velocidad máxima del huracán de esa categoría que afectó al cayo y finalmente el año en que se produjo la última afectación y en la Tabla II el resumen de dichos eventos.

TABLA I

Categoría (Saffer-Simpson)	Número	Velocidad máxima (Km/h)	Ultimo año
C 1	5	138	1979
C 2	7	167	1996
C3	4	185	1958
C 4	2	241	2001

TABLA II

Nombre	Categoría	Velocidad (Km/h)	Año	Mes
T 1896_1	C 1	138	1896	julio
T1886_7	C 2	158	1886	septiembre
Tdat2	C 2	158	1886	septiembre
T1887_11	C 1	120	1887	octubre
T1888_4	C 2	158	1888	septiembre
T1894_3	C 2	158	1894	septiembre
T1909_5	C 3	185	1909	agosto
T1917_3	C 3	185	1917	septiembre
T1926_10	C 3	185	1926	octubre
T1933_18	C 2	167	1933	octubre
T1948_7	C 2	167	1948	septiembre
T1950easy	C 1	129	1950	septiembre
T1952fox	C 4	241	1952	octubre
T1958ella	C 3	185	1958	septiembre
T1964hilda	C 1	129	1964	septiembre
T1979frederic	C 1	129	1979	septiembre
T1996Lili	C 2	158	1996	octubre
T2001michelle	C 4	222	2001	noviembre



Como puede observarse de la **Tabla II** el mes de mayor peligro fue septiembre con 10 seguido del mes de octubre con 5 así como noviembre, agosto y julio con 1. Además de las afectaciones por huracanes, Cayo Largo del Sur ha sido afectado por 14 Tormentas Tropicales cuyo centro pasó a menos de 110 Km del cayo. Son 14 eventos con velocidades entre 55 y 110 Km/h de los cuales 5 en octubre, 4 en septiembre, 3 en agosto y 1 en julio y noviembre.

Del análisis de la información ya presentada se puede concluir que el mes de septiembre es en general el más peligroso con 14 eventos (huracanes y Tormentas Tropicales) seguido del mes de octubre con 10, a continuación agosto con 4 y julio y noviembre con 2 cada uno.

En la consulta al Sistema de Información Geográfica se obtienen velocidades medias de 120 Km/h que comparado con todo el territorio nacional es el 83 % del máximo valor registrado. Otros indicadores de gran importancia también calculados son la Frecuencia de ocurrencia de un Ciclón Tropical en 50 años que se eleva a la cifra de 14 a 15 eventos. También obtuvimos la probabilidad que un evento ciclónico que afecte a Cuba lo haga de tal manera que afecte a Cayo Largo es de 0,19 – 0,20. Se calcula el calor del Peligro que es un Índice complejo definido por el autor cuyo máximo valor para el Territorio Nacional es 100 y se obtiene vinculando el producto de las Velocidades medias por la Probabilidad frecuencial. Este indicador vincula en un solo valor el nivel de peligro que presenta un territorio tanto por las velocidades de los vientos que ha registrado como por la probabilidad de que se presentes estos eventos extremos. El valor característico en el cayo que es superior a 50 refleja que nos encontramos en un área de Peligros ligeramente superior al valor medio.

Contaminación de las aguas subterráneas.

El agua subterránea se encuentra en grave peligro de contaminación o pérdida total, por dos razones; la primera, por el alto coeficiente de infiltración vertical y la poca profundidad a que yace el agua, y la segunda, se relaciona con el peligro constante de salinización que pudiera causar la sobre explotación del acuífero. Este peligro se encuentra latente en casi todo el cayo donde las condiciones del acuífero tiene características similares pero puede ser disminuido e incluso eliminado si se cumplen las reglamentaciones establecidas en el cayo para evitar la sobreexplotación o la contaminación directa del acuífero. En el caso de la contaminación directa, pueden existir situaciones de origen natural, como es el caso de las fuertes penetraciones del mar que pudieran ocurrir aunque en estos casos un adecuado plan de mantenimiento del acuífero puede resolver la situación.

Sismicidad.

La zona del Archipiélago de los Canarreos no ha sido afectada directamente por movimientos sísmicos de importancia. El 16 de diciembre de 1982 un sismo con epicentro en Jagüey Grande, al Norte de Cayo largo en la Isla de Cuba, alcanzó en Cayo Largo, una intensidad no superior a 3 grados MSK (Atlas Nacional de Cuba, 1986).

Los pronósticos para 1 000 años (Atlas Nacional, 1986) arrojan una posibilidad de recurrencia no superior a los 5 grados MSK, por lo que no se requiere de medidas antisísmicas especiales. Por otra parte, según el mapa de intensidades Máximas registradas (Chuy, 1999), el cayo se encuentra en la zona de menores intensidades (menores de 5 escala MSK).

De acuerdo al informe realizado por CONAM, la Zona de Origen de Terremotos más peligrosa para el cayo es la zona de Cayman que puede producir sismos hasta de magnitud 8 en la escala de Richter. Sin embargo al estar esta zona a unos 300 Km. y por las características del patrón de atenuación de las ondas presente en la región sus efectos no deben tenerse en cuenta para actividades de proyectos. Para perfiles de suelo tipo S2 (suelo medio) las



isoaceleraciones horizontales máximas para un tiempo de viada útil de las instalaciones de 50 años y con una no excedencia del 85 % no superarían el 4 % de la gravedad.

Riesgo de incendios.

En áreas muy cercanas a las parcelas en construcción o ya construidas, se encuentran pequeños bosques de casuarinas, algunos de los cuales han sido talados, pero en ambos casos se observa que el suelo se encuentra cubierto por un colchón de acículas decíduas perennes de casuarina. En época de sequía estas zonas son altamente susceptibles a la ocurrencia de un incendio forestal el cual puede propagarse hacia toda el área boscosa.

Estudio de los peligros naturales. Península de Hicacos

La Península de Hicacos es la porción más latitudinal de la Isla de Cuba, se extiende en dirección casi Sudoeste al Nordeste al Norte de la Provincia de Matanzas. Perteneció al Municipio Varadero y en la misma se encuentra enclavado el pueblo de igual nombre. Se caracteriza por las excelentes playas que cubren toda su costa norte conocidas genéricamente en Cuba y en el mundo como las Playas de Varadero. Es el principal Polo Turístico de los denominados de Sol y Playa en Cuba y en el Caribe. La arena de sus playas se caracteriza por la blancura y su fina y uniforme granulometría. La batimetría de la costa norte muestra pendientes muy suaves hasta que se presenta el borde del talud a partir del cual las profundidades se hacen mayores. La costa sur se caracteriza por tener sectores fangosos, se observa el mangle como vegetación típica de las costas bajas. Limita en este caso con la Bahía de Cárdenas que es un cuerpo de agua con profundidades entre 2 y 5 metros.

Dentro de los peligros de origen natural, son los meteorológicos y en particular los ciclones tropicales los que más afectaciones han provocado. Sus afectaciones están dadas por los efectos directos que pueden provocar sus fuertes vientos pero también por las inundaciones. Estas inundaciones pueden ser provocadas por las lluvias asociadas a estos eventos y a las inundaciones costeras provocadas por las mareas de tormenta y embate en general de las aguas marinas.

La Península de Hicacos, y por tanto el área de estudio ha sido afectada desde 1886 hasta el año 2001 por 36 Ciclones Tropicales de los cuales 24 han sido huracanes. Algunos de estos eventos afectaron con mayor o menor intensidad la península si tomamos en consideración su categoría y distancia al eje de la trayectoria. Promediando los efectos de ambos factores, la velocidad media de los vientos sentidos en la zona ha sido de 107 Km/h. Esta velocidad, si la comparamos con las intensidades de vientos sufridas por todo el territorio nacional a causa de los eventos que correspondientemente los afectaron, tiene un valor normalizado de 53 de un máximo de 100 (Indicador adimensional).

Del análisis estadístico realizado obtuvimos que si tomamos en consideración todos los ciclones tropicales que afectaron el país en el período de tiempo señalado, la península es afectada con una probabilidad de 0,21. Comparativamente con el resto del territorio nacional, donde el lugar de mayor probabilidad alcanza el valor de 0.36, significa el 58 % de ese valor extremo.

Tomando en cuenta los parámetros anteriormente determinados se procedió a calcular el Índice Complejo que denominamos Peligro y que responde a la acción conjunta de las intensidades de vientos que ha sufrido el lugar y la probabilidad frecuencial de que sea afectado, siendo su valor 53 de un máximo de 100. Todos los parámetros calculados indican que la Península de Hicacos está ligeramente por encima de los indicadores promedios que expresan el grado de peligrosidad ante los ciclones tropicales si lo comparamos con el resto del territorio nacional. En

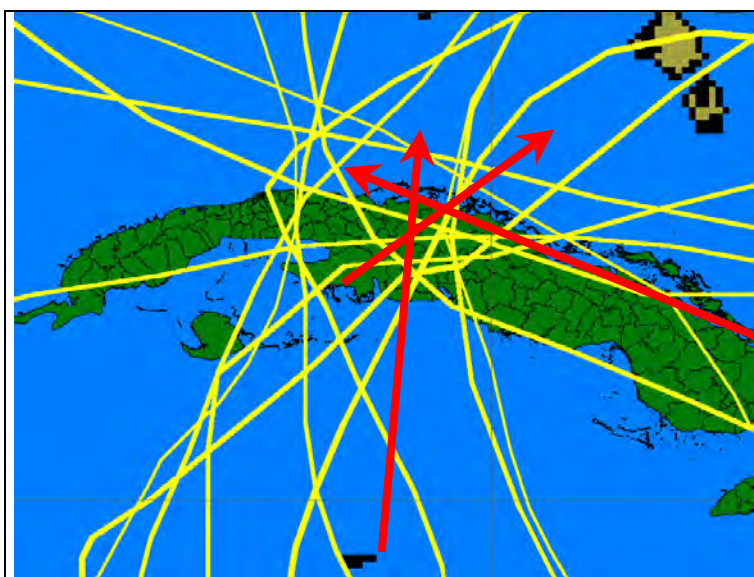


la Tabla III mostramos un resumen de los 14 huracanes que afectaron la península en un radio máximo de 110 km.

TABLA III. Huracanes que han afectado Varadero en una radio máximo de 110 Km

NOMBRE	Categoría	Velocidad (km/h)	Año	Mes
T1886_5	C 1	149	1886	agosto
T1886_6	C 1	149	1886	agosto
T1888_4	C 2	158	1888	septiembre
T1894_3	C 2	158	1894	septiembre
T1926_10	C 3	185	1926	octubre
T1933_11	C 2	158	1933	septiembre
T1933_18	C 2	167	1933	octubre
T1935_4	C 3	185	1935	septiembre
T1948_7	C 2	167	1948	septiembre
T1950easy	C 1	129	1950	septiembre
T1952fox	C 4	241	1952	octubre
T1985kate	C 2	167	1985	noviembre
T2001michelle	C 4	222	2001	noviembre
T1996Lili	C 2	158	1996	octubre

De la tabla anterior se puede observar que el mes más peligroso es octubre seguido del mes de septiembre. Entre ambos se contabiliza el 71 % de los huracanes. Como se puede apreciar, huracanes Categoría 2 han sido los que con mayor frecuencia han afectado pero los Categoría 3 y 4 se presentan en una alta proporción (28 %).



En la Figura 1 se muestran las trayectorias presentadas en la Tabla III. Se indican las direcciones promedio más frecuentes.

FIGURA 1. Trayectorias de los huracanes que afectaron Varadero.

Peligro de Penetraciones del mar y otras inundaciones.

Las penetraciones mas fuerte que se ha datado es la ocurrida durante el Ciclón Kate, que tuvo vientos sostenidos de 162 km/h. Al estudiar la vulnerabilidad a las inundaciones costeras del



sector correspondiente a las Parcelas Taino procedimos a modelar el supuesto de la ocurrencia de inundaciones hasta los 1.5 m y hasta 3.0 m.

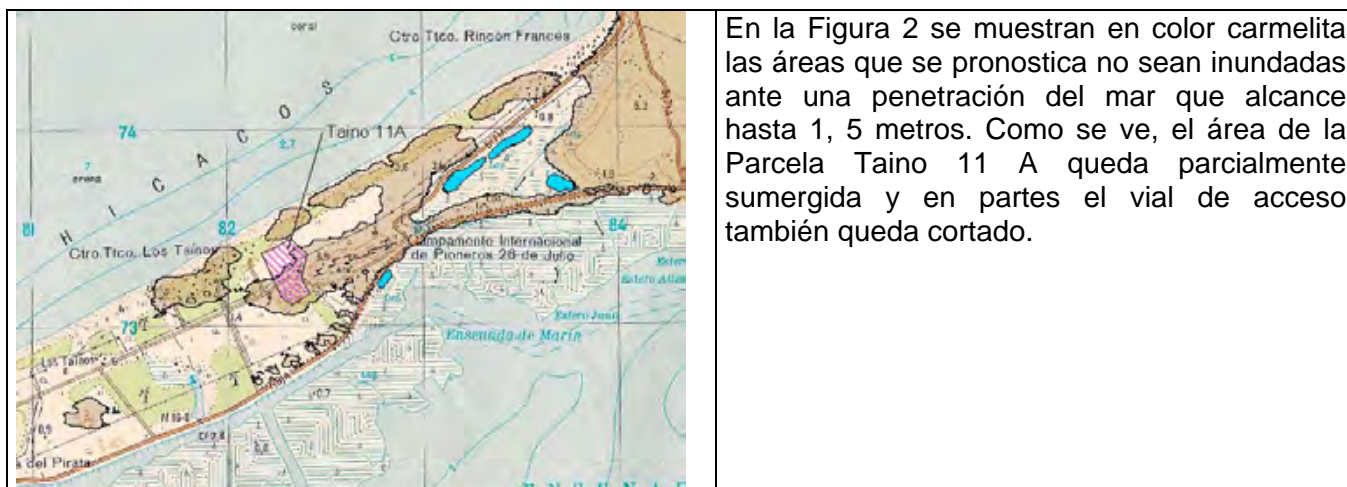


FIGURA 2. Areas inundadas por penetración del mar hasta la cotas 1,5 metros.

Del estudio cartográfico se observan algunos elementos de interés:

- La altura de los viales como máximo es de 2 metros aunque en el caso del Vial del Sur el sector Oeste tiene sólo alturas de 1 metro sobre el nivel del mar.
- Las tierras bajas del Sur, cubiertas de manglares, incluso el Canal de Chapelín y el dragado que al mismo se le ha realizado establecen un factor que contribuye a la disipación de la acción del oleaje correspondiente a la Bahía de Cárdenas.
- En la zona sólo existen áreas con alturas superiores a los tres metros en la zona correspondiente al actual Gran Hotel donde existen elementos geomorfológicos aislados de rocas calcáreas.
- Las lagunas existentes están vinculadas entre sí y en general con todas las áreas pantanosas y de mangles del sur de la península.

Si estas sobre – elevaciones son provenientes de la costa norte de la península existe la protección de las dunas pero estas sólo en algunos puntos tienen alturas superiores a los tres metros estando su altura media alrededor de los 2.5 m aunque estas penetraciones son menos probables si nos basamos en la información histórica. No obstante, no son imposibles de ocurrir dada la posición geográfica y el carácter de los eventos meteorológicos extremos que pueden producirse. Las inundaciones marinas provenientes de la costa sur son más probables. En este caso, la lejanía de la costa y la presencia de los manglares en las zonas bajas, hace que el embate por el oleaje del mar sea atenuado. No obstante, las sobre - elevaciones del mar que pueden producirse en la Bahía de Cárdenas afectarán directamente esta parte de la península.

Vulnerabilidad de la Península de Hicacos a eventos sísmicos.

La información histórica disponible reporta la ocurrencia de varios eventos sísmicos en la provincia de Matanzas, aunque el más importante fue el ocurrido el 18 de diciembre de 1982 con una intensidad máxima de VI grados en la escala MSK con epicentro en las localidades de Torriente - Jagüey Grande.



En el Informe sobre la sismicidad ocurrida en el municipio Varadero el día 7 de octubre de 2000. (CENAI) se hace un análisis particular de los dos sismos ocurridos el 7 de octubre de 2000 que fueron perceptibles en la Península de Hicacos con Intensidades de III grados y V grados en la Escala MSK siendo sus Magnitudes de 2.7 y 2.8 en la Escala de Richter. Sus epicentros estuvieron localizados en los 23.18 grados de Latitud Norte y los 81.24 grados de Longitud Oeste y a una profundidad de 3.0 km. En la localidad de Santa Marta se reportó perceptible el segundo con IV grados MSK. Estos fueron los eventos perceptibles 12 y 13 del año 2000.

El área de mayor perceptibilidad fue el barrio conocido como Cueva del Muerto, en la zona de Santa Marta - Hotel Kawama al sur de la península, con una intensidad de V grados en la escala MSK. También fue perceptible en el resto de Santa Marta y Varadero desde el Hotel Punta Arenas hasta las inmediaciones del Hotel Internacional con Intensidades de IV y III grados en la escala MSK. En resumen puede decirse que la actividad sísmica de la península ha sido históricamente baja pero la ocurrencia de algunos eventos perceptibles recientes con un carácter un tanto local hace que no deba ignorarse en los planes contra catástrofes la ocurrencia de un sismo de mayor intensidad, así como conocer el nivel de resistencia antisísmica de las instalaciones ya construidas.

Polo de Playa Santa Lucía. Camagüey.

El área analizada se encuentra en la Playa Santa Lucía al norte de la ciudad de Camagüey. Es de interés el sector correspondiente a la Punta de Prácticos que limita al este el Canal de la Boca (entrada a la Bahía de Nuevitas). Es en este sector donde se encuentra la Laguna El Real la cual es bordeada al sur por un vial y al norte por las instalaciones y la Playa Santa Lucía. Al Este de la Laguna se encuentran las instalaciones de la Salina y al oeste el caserío de La Boca.



FIGURA 4. Area de inundación de la Laguna El Real.

Tomando en consideración la información disponible de las máximas precipitaciones registradas en la zona en 24 horas, se tomó este dato como entrada para una simulación mediante un modelo que posibilitara el cálculo de la inundación esperada en la laguna ante precipitaciones



similares determinándose las áreas afectadas por las posibles inundaciones como se muestra en la Figura 4. Para la modelación se confeccionó el Modo Digital del Terreno y utilizando Software tales como el Surfer y el Idrisi3.2 se evaluó la cuenca visual desde los límites de la laguna. El área correspondiente a esa cuenca visual es la que corresponde con el área posible de aportar aguas superficiales producto de las precipitaciones.

Se estimó el coeficiente de infiltración para evaluar el volumen de agua que podía infiltrarse y por tanto evaluar el potencial de agua de escorrentía.

Conclusiones

1. Cayo Largo del Sur es muy susceptible a los efectos de los ciclones tropicales, las penetraciones del mar y efectos directos del mar. Es un sector de altos índices de peligro.
2. La Península de Hicacos es muy susceptible a las penetraciones del mar en su costa sur. Los ciclones tropicales afectan con indicadores medios en comparación con el resto del territorio.
3. Santa Lucía por ser un territorio muy bajo y tener varias lagunas interiores es susceptible a la ocurrencia de inundaciones de origen pluvial.

Bibliografía.

- Atlas Nacional de Cuba. (1986). Academia de Ciencias de Cuba.
- Chuy, J. (2001) Macrosísmica de Cuba y su Aplicación en los Estimados de Peligrosidad Sísmica. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas
- Informe sobre la sismicidad ocurrida en el municipio Varadero el día 7 de octubre de 2000. (CENAIIS).
Nota informativa No. 12. CENAIIS. 8 de octubre de 2000.
- Sacasas, C y Cols (1996). "Estudio Línea Base Ambiental Playa Paraíso_Ensenada de Guanahacabibes, Bucanero II, Playa Blanca I y Playa Blanca II. Cayo Largo del Sur". Consultoría GEMA.
- Sacasas, C. (2001). Estudio de los Peligros Naturales Playa Santa Lucía. Camagüey. Grupo Estudios de Desastres. Consultoría GEMA-CETA.
- Sacasas, C. (2001). Mapas de Peligro y Trayectorias de Ciclones Tropicales en Cuba según información histórica periodo 1886-2001. Aplicación SIG. Informe circulación limitada GEMA.
- Sacasas, C. (2002). Estudio de los Peligros Naturales Península de Hicacos y Cayo Largo del Sur. Grupo Estudios de Desastres. Consultoría GEMA-CETA.
- Sacasas, C. y Cols. (2001). "Estudio de Impacto Ambiental remodelación Hotel Pelicano, Cayo Largo del Sur". Consultoría GEMA. Informe circulación limitada GEMA.
- Vega, R. Y cols. (2000). "Evaluación de los fenómenos naturales que afectan la zona de Cayo Largo del Sur". División CONAM. Consultores Ambientales Inversiones Ganma S.A.



ESCENARIOS DE PELIGROS MULTIPLES EN LA CUENCA ARIGUANABO. PROV. LA HABANA.

Jorge Olivera Acosta, Joel Villariño, Mario Guerra, Efrén Jaimez.

(1)Departamento de Estudios Geoambientales, Instituto de Geofísica y Astronomía, Calle 212 # 2906 e/ 29 y 31, La Lisa, CP 11600, La Habana, Cuba; fax: (537) 33-9497, e-mail: yoyi@iga.cu

RESUMEN

La Cuenca Ariguanabo constituye uno de los relieves cársicos más importantes de la provincia de la Habana. Por su carácter carsificado en el territorio se presentan importantes peligros naturales y antrópicos que afectan la calidad del agua y por ende a población del territorio. Los peligros más importantes que se han detectado son los geológicos, representados por las condiciones intrínsecas de las rocas carbonatadas carsificadas, como son la infiltración cársica y problemas físico-geológicos de inestabilidad del macizo (subsidencia y procesos clásticos) así como problemas de agrietamiento local o regional, representados por abundantes alineamientos del relieve y fallas geológicas). A pesar del carácter cársico del territorio se detectan problemas de inundaciones que ocurren en antiguos cauces fluviales y en la zona de inundación de la paleolaguna de Ariguanabo. En el trabajo se presenta, el mapa de escenarios de peligros múltiples del área y se describen sus características y se asocian los peligros naturales con los de contaminación antrópica caracterizándose su relación ambiental.

Adstract.

The Ariguanabo basin constitutes one of the more important kárstic reliefs of the country of the Habana. For its kárstic character in the territory important natural dangers and man-made they are presented that affect the population of the territory. The most important dangers that have been detected are the geologic ones, represented by the intrinsic conditions of the carbonated kárstic rocks, like they are the infiltration kárstic and physical-geological problems of uncertainty of the solid one (subsidence and clástico processes) as well as, problems of local or regional cracking , represented for abundant alignments of the relief and geological falls).

In spite of the kárstic character of the territory problems of floods are detected, that happen in old fluvial beds and in the area of flood of the paleolaguna of Ariguanabo. The map of scenarios of multiple dangers of the area is presented in this work and its characteristics are described. The natural dangers are related with those of man-made pollutions, being characterized its environmental relationship.

Introducción

La Cuenca Hidrográfica Ariguanabo, tiene una gran importancia desde el punto de vista económico social, de salud, cultural, recreativo y urbanístico. En ella se asientan los Municipios de San Antonio de los Baños, Bejucal, Bauta y Caimito.

Se ubica en la porción Centro Oeste de la provincia de la Habana, siendo el centro de la divisoria de las aguas del territorio, con una extensión superficial de 191.63 Km², de los cuales 82 Km² representan el área de alimentación a las fuentes de abasto. Con un



volumen anual de extracción alrededor de 155 millones de m³ de agua, posee comunicación subterránea con la cuenca hidrográfica Vento-Almendares y con la Cuenca subterránea Sur, lo que la hace una de las principales fuentes para el abasto de agua de las provincias habaneras.

Sin embargo la cuenca, presenta una situación ambiental crítica debido a la contaminación de sus aguas por el vertimiento de residuales industriales y urbanos sin tratamiento o deficientemente tratados (Leslie Molerio, 2001), los cuales ligados a su composición litológica predominantemente carbonatada le confieren una alta vulnerabilidad al avance de la contaminación y por ende la pérdida de la calidad del agua para su consumo, sumado a esto existen problemas relacionados con la erosión de suelos, peligros por inundación, desprendimientos de masas de rocas, peligros tectónicos, inadecuado manejo y deforestación.

Materiales y Métodos.

Para la ejecución del trabajo se emplearon una serie de materiales que sirvieron de base para la confección del mismo entre las que podemos mencionar, Fotos aéreas, planchetas topográficas a escala 1: 25 000, base de datos en formato Excel de fuentes contaminantes, la cual fue confeccionada en base a la información levantada en cada municipio que forma parte de la cuenca. Además se utilizaron una serie de mapas temáticos en formato digital (mapa geológico, mapa geomorfológico, mapa de suelos, mapa ingeniero geológico, mapa Hipsométrico) unidos al empleo de un sistema de información Geográfico (SIG), el cual permitió el desarrollo y ejecución de los trabajos.

Se empleó como SIG, el MapInfo, V. 5.5, en el cual se desarrollaron los análisis topológicos (Modelo Digital de Elevación del Terreno, y la determinación de la Pendiente) para los análisis de fenómenos como la erosión, deslizamientos, desprendimientos de rocas, fenómenos relacionados a procesos denudativos, etc. De todos los mapas se extrajo la información útil de acuerdo a los objetivos trazados, al final se elaboró el mapa de Escenarios de Peligros Múltiples por la superposición del procesamiento de los mapas anteriormente mencionados.

Resultados y Discusión.

Escenario de Peligros en el área de la Cuenca y su periferia.

En el mapa de Escenario de Peligros (Olivera Acosta J, 2002) se reflejan todas las fuentes que constituyan potencialmente un peligro tanto natural como antrópico (existencia de fuentes de contaminación) que puedan ocasionar daños a la vida humana.

En el área de la cuenca y en sus alrededores se reconocen los siguientes peligros naturales y sus escenarios.

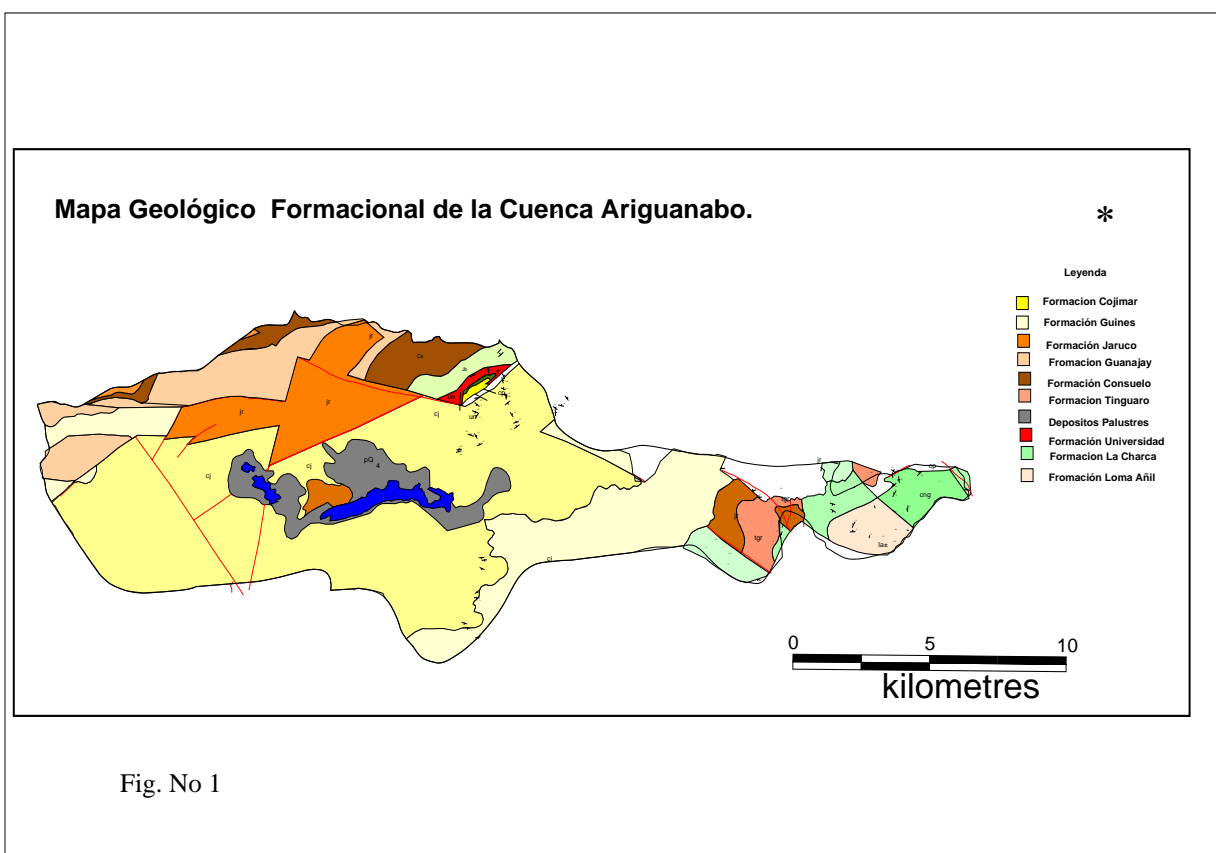
Peligros Geológicos

Desde el punto de vista Geológico los procesos geológicos que afectan a la cuenca y adquieren gran notoriedad son los procesos cársticos, El desarrollo del mismo condiciona



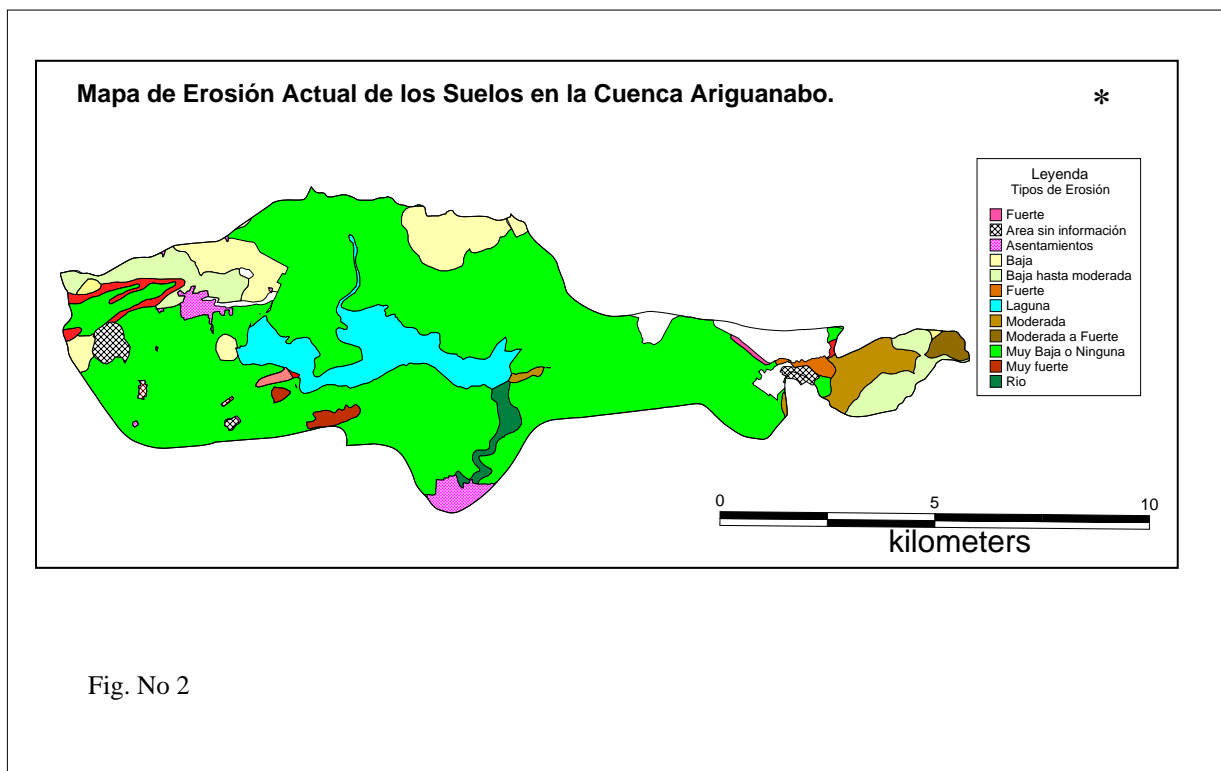
a su vez, el desarrollo de determinados peligros geológicos, entre los cuales se pueden citar la posibilidad de zonas de hundimiento por derrumbe del techo de cavernas, disminución de las propiedades ingeniero-constructivas de los macizos rocosos (Alcalde Orpi, J. 2000), en general, al reducirse las cualidades de resistencia de las rocas existe una mayor vulnerabilidad de los acuíferos ante la presencia de focos contaminantes.

Otro fenómeno importante esta relacionado con la posibilidad de ocurrencia de deslizamientos y derrumbes moderados de las laderas de algunas elevaciones con fuerte pendiente, en cuya constitución geológica participan rocas arcillosas, margas y calizas. También la presencia en el área de la cuenca de rocas arcillosas con baja permeabilidad pueden condicionar la aparición de fenómenos de inundaciones.



Peligros de ocurrencia de procesos exógenos.

Esta estructura como peligro principal presenta el de la erosión, que aunque es de débil a moderada para el área de la cuenca es el factor principal modelador del relieve, las variaciones del relieve ocurren por la acción que ejercen los procesos denudativos sobre el relieve como parte de su propia evolución, por lo que la probabilidad de ocurrencia es episódica y en tiempos geológicos. Fenómenos de este tipo solo adquieren gran notoriedad en el área de la meseta de anafe y el la parte Noreste del municipio Bejucal, donde están asociados a pendientes mayores a 20 grados y el nivel de erosión es muy fuerte.



Peligros relacionados a procesos geomorfológicos.

- Relacionados con los Procesos denudativos (eluviales – deluviales) y en los escarpes (meseta de anafe y área Noreste de bejuca).
- Relacionados con el Escurrimiento superficial de avenida
- Relacionados con los Procesos de erosión fluvial estacional y episódica
- Relacionados con las Inundaciones en los planos de inundación y zona del lecho mayor de los ríos y en la Laguna de Ariguanabo.
- Relacionados con los Procesos fluviales, interiores y en la desembocadura de los ríos
- Relacionados con los procesos erosivos denudativos fluviales en el relieve no cárstico.
- Peligros cársticos hidrológicos subterráneos en especial relacionados con el cauce subterráneo del río San Antonio y sus cavernas asociadas, cuya circulación subterránea comunica a la cuenca Ariguanabo con cuenca sur de la Habana.
- Peligros por la acción de los procesos cársticos relacionados con la presencia de litologías carbonatadas y sus combinaciones. En especial relacionados con la formación Guines.

Ocurrencia de fenómenos Físico-Geológicos.

Peligros por Deslizamientos y desprendimientos



- Se localizan en la zona de la Mesa de Anafe, donde se pueden producir derrumbes de grandes masas de roca, en las pendientes naturales o artificiales que se han generado durante la explotación de las canteras que aquí se localizan. Otros fenómenos como fuertes lluvias o movimientos sísmicos pudieran tener un efecto disparador en el desarrollo de los fenómenos citados.
- Zonas de pendientes del terreno superiores a 20 grados que se desarrollan en la parte Noreste del municipio Bejucal. Donde ocurre fenómenos fuerte de erosión de los suelos.

Peligros por Hundimientos en carso:

En la región se destaca el carso como fenómeno principal, que se desarrolla en mas del 80% del área del territorio. Este fenómeno asociado a las rocas carbonatadas muestra ciertas particularidades según los tipos de roca. En particular estos fenómenos pueden ser, del tipo de infiltración (los cuales aceleran la evacuación de contaminantes al acuífero) y el derrumbes de los techos de las cavernas.

- Este fenómeno se puede localizar en la zona de la Mesa de Anafe, donde se pueden producir derrumbes de grandes masas de roca.
- Desarrollo de cavernas muchas de ellas situadas dentro del área de la cuenca que adquieren un gran desarrollo en la parte sur del municipio Bauta, Caimito (Hernández I. 2001), parte centro del Municipio San Antonio y en las rocas carbonatadas en el municipio Bejucal donde aparecen distribuidas al Norte y al Sur de forma irregular.

Peligros de inundaciones.

La ocurrencia de inundaciones no es el resultado de la acción aislada de algunos de los elementos del medio natural o socioeconómico, al contrario, su aparición siempre está condicionada a la combinación de dos o más de ellos entre los que podemos mencionar: el factor Climatológico, y el Antrópico.

La inundaciones ocurren en los planos de inundación de los principales ríos, en particular ocurren en la zona de la cuenca de Ariguanabo, y en los paleocauces del río San Antonio y de los ríos cársicos de la llanura sur de la provincia de la Habana (Guerra M. 2000). Las localidades donde ocurren estos se mencionan a continuación.

- Textilera Ariguanabo, situada en la zona de inundación de la laguna del mismo nombre.
- Reparto Belica en el poblado de Bauta, por la intervención de factores antrópicos donde se desarrolla una zona de laguna natural que provoca la obstrucción del drenaje natural.
- zonas de inundación en el área de Tumba Cuatro y Ceiba del Agua en el municipio Caimito.



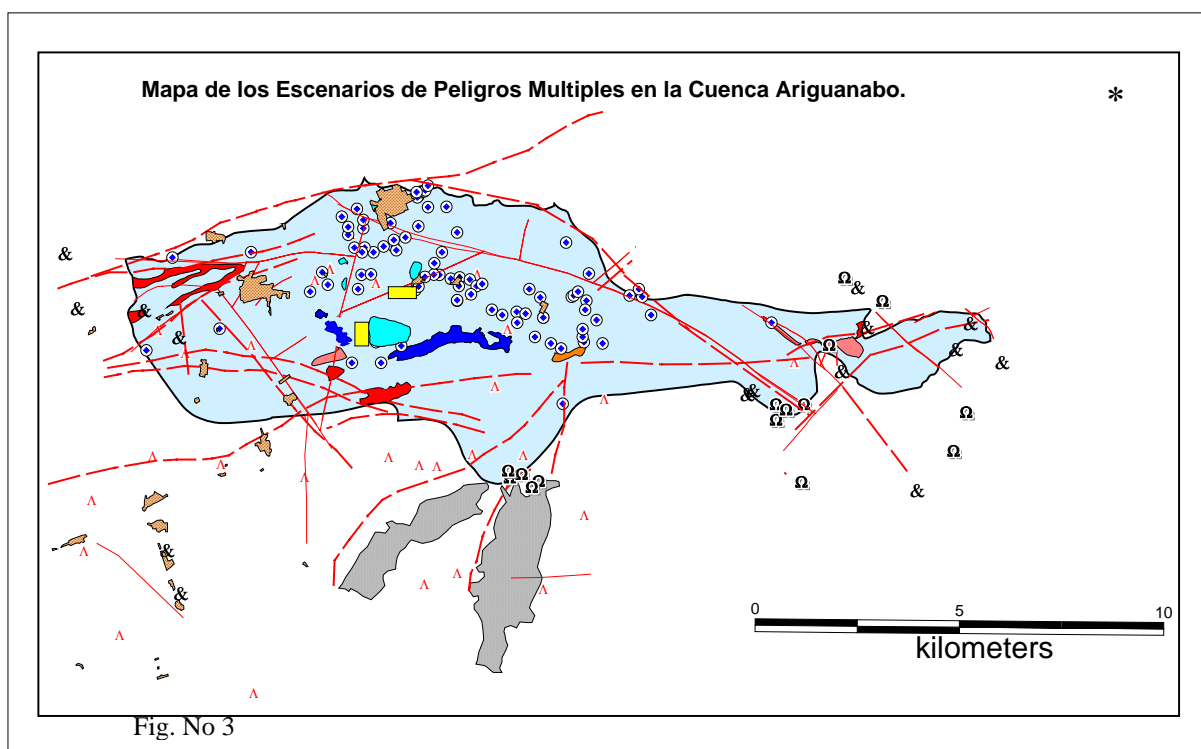
- Peligros por inundación de tipo lineal relacionado con los cauces de la red de drenaje y con el relieve desmembrado y ondulado asociado a estos ríos.
- Peligros por inundaciones de tipo areal relacionados con el río San Antonio y sus planos de inundación

Otro de los fenómenos que llama la atención en el territorio es la acumulación de aguas superficiales en lagunas interiores, que si bien no se considera como empantanamiento, sí condiciona este proceso muy localmente y en épocas de fuertes lluvias. Este proceso está asociado mayormente a la impermeabilidad de los sedimentos de cobertura y el poco drenaje superficial existente (zona de la laguna Ariguanabo).

Peligros por rellenos de superficies carsicas

Este fenómeno ocurre en el municipio teniendo dos causas fundamentales una natural donde se acumulan sedimentos cuaternarios y otra antrópica a causa del relleno de cavidades. De esta manera, los asentamientos desiguales de las cimentaciones sobre estas bases pueden significar un aspecto muy desfavorable a la estabilidad de las obras constructivas.

La acción antrópica desarrollada en algunas áreas, han provocado la colmatación o relleno de sumideros naturales del escurrimiento superficial, originándose por este motivo zonas de inundación como por ejemplo en el área de Tumba Cuatro y Ceiba del Agua en el Municipio Caimito .





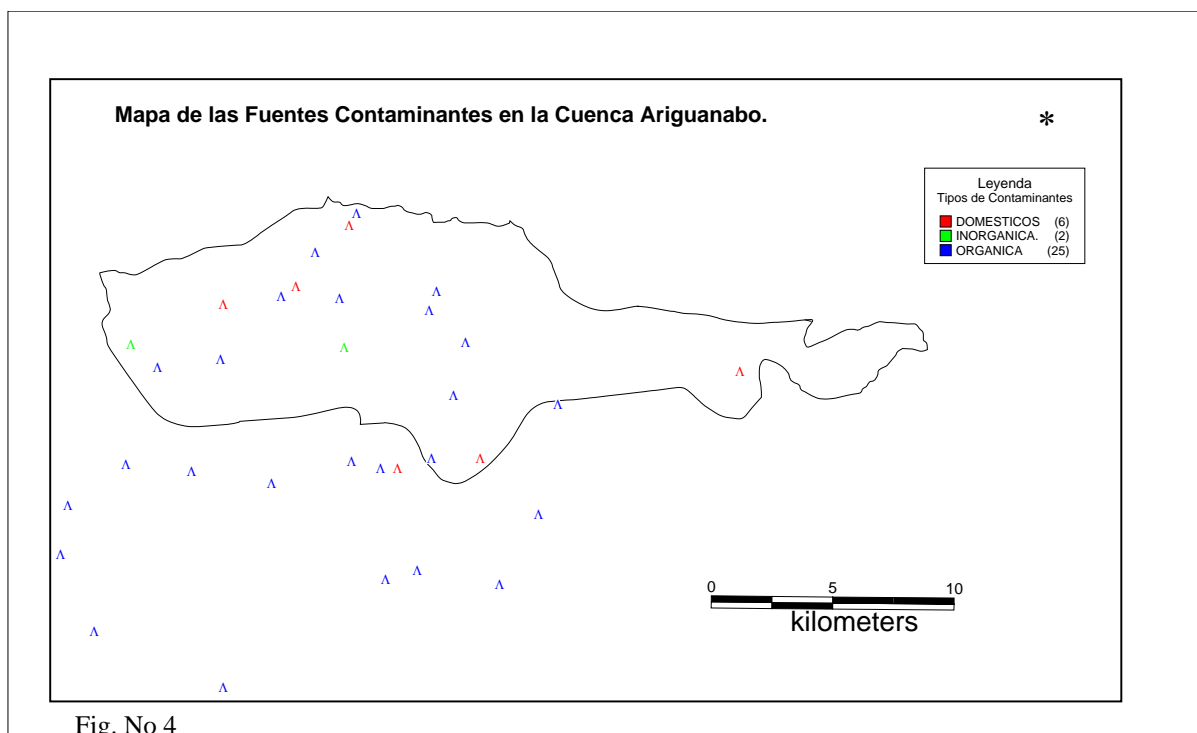
Peligros Antrópicos.

Vertimientos de Industrias, Centros de Investigación, Producción y Servicios.

Importantes centros industriales como la Textilera Ariguanabo, la Pasteurizadora Balkán, la Planta de Pienso Liquido Quebrada del Yuro, la Fábrica de Carburo y Acetileno, la Fábrica de Levadura Habana, varias empresas agropecuarias en las que se destacan Cítrico Ceiba, Tabacalera Lázaro Peña, Pecuaria Ariguanabo y los Naranjos, Centros porcinos, Centros de Investigación Científica, como BIOCEN, CENPALAB, el Instituto del Arroz, y la Escuela Internacional de Cine y Televisión, planta de tratamiento de residuales, planta de fregado y engrases del municipio Bejucal, Lavandería las delicias, áreas urbanas, entre otros, vierten los residuales sin ningún tratamiento a la cuenca.

La existencia de los microvertederos se comportan como promedio en los Municipios en una cifra de cuatro microvertederos siendo el Municipio de San Antonio de los Baños el de mayor promedio de proliferación de microvertederos. La Existencia de estos trae consigo la proliferación de vectores y la exposición sistemática de la población a los mismos, pudiendo ser estos causas del desencadenamiento de enfermedades altamente riesgosas para la salud humana, como es el caso de la leptospirosis.

En el sur del municipio Caimito la utilización de fertilizantes en las plantaciones de cítricos ha provocado graves problemas de contaminación en las aguas subterráneas de esta región, creando un impacto ambiental severo, que afecta a los pobladores de esa zona. Asimismo, la acción antrópica desarrollada en algunas áreas, han provocado la colmatación o relleno de sumideros naturales del escurrimiento superficial, originándose por este motivo zonas de inundación como por ejemplo en el área de Tumba Cuatro y Ceiba del Agua .





La explotación de canteras constituye uno de los problemas ambientales que presenta la Cuenca Ariguanabo, la cual se concentra fundamentalmente en la Mesa de Anafe en el Municipio Caimito, destinada a la explotación de rocas calizas para la industria de materiales de la construcción, fundamentalmente en el establecimiento Cantera Anafe 3, donde existe un ritmo de extracción del mineral mayor a 1 000 t/m³ por día, originando una degradación total del suelo, la flora y la fauna en el lugar, creando un impacto ambiental en casi un 60 % de su territorio.

En el resto de la Cuenca existen huellas de la actividad minera pero no se encuentran en actividad sino como depósitos de reserva o en estado de abandono.

Contaminación de los suelos

Otro problema generalizado lo constituye los suelos contaminados desde el punto de vista del mal manejo y disposición de los desechos sólidos urbanos, los que se han incrementado en los últimos tiempos debido a un vertiginoso aumento de las ventas de tiendas en área de divisas (las cuales embalsan mercancías en jabas o bolsas de nylon no degradables) así como debido a un incremento de los llamados vertederos de período especial, todo lo cual provoca numerosas afectaciones en los horizontes superiores de algunas áreas con suelos agrícolas, donde la basura doméstica se entremezcla con la capa arable de los mismos y se producen además lixiviados de impactos aún no estudiados en la microflora del suelo.

Otro problema de contaminación de los suelos del territorio lo constituyen los desechos de albañales (debido fundamentalmente a la inexistencia de una adecuada red de alcantarillado). Así como la alteración de las propiedades físico-química de los mismos por el abuso excesivo de fertilizantes nitrogenados de uso agrícola, lo que ha contribuido en gran medida a la contaminación de las aguas por nitratos, amonios, nitritos, etc.

Conclusiones.

1. Las alteraciones y los índices de contaminación que se han observado en la Cuenca vienen dadas por alteraciones en las concentraciones de amonio, nitritos y bacterias, coliformes, estando la Cuenca evaluada con una contaminación media a intensa en ascenso.
2. Existe una marcada predominancia de los residuales de carácter orgánico, una de sus características es el elevado nivel de nitrógeno, ya sea orgánico o inorgánico. Como es sabido, el nitrógeno orgánico al descomponerse comienza la oxidación pasando al estado de amoníaco del cual pasa a nitrito y posteriormente a nitrato.
3. Las afectaciones al recurso agua están dadas por:
 - Uso excesivo de la fuente de abasto para el consumo humano y en los sistemas de riego.
 - Vertimiento de residuales crudos, sin ningún tipo de tratamiento o tratamiento diferente al manto freático.
 - Construcción indebida de fosa sépticas, llegando a perforar el fondo calizo.



- Deficiente sistema de acueducto y alcantarillado, por falta del mismo en comunidades y municipios cabeceras.
- Afectaciones a la flora, vegetación y a la fauna.

4- Los principales peligros a los que se exponen los habitantes de la localidad son:

- **Inundaciones.** (por modificaciones del drenaje natural, mal manejo del Relieve carsico (colmatación o rellenos de cavernas), eventos extremos, etc).
- **Contaminación.**(Vertimientos de industrias, contaminación del aire, Uso extensivo de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura, etc.)
- **Desprendimientos.**(pendientes abruptas, laboreos mineros ,etc)
- **Hundimientos en carso.** (Presencia de cavernas, furnias, etc)
- **Peligros biológicos** (existencia de centros de Investigación Científica, criaderos de animales, mal manejo de residuos sólidos urbanos, etc.)

5- Los elementos del medio físico o natural más impactados están vinculados todos con el insostenible desarrollo socioeconómico del territorio, que ha provocado que en las últimas décadas los mismos se hayan convertido en sumidero de residuos sólidos, químicos, orgánicos y albañales no tratados y altamente agresivos.

Bibliografía.

- Alcalde Orpi, J. Et al (2000).** Diagnóstico Ambiental para el Municipio Bauta. IGA. Inédito. Ciudad de la Habana. Cuba
- Consejo de la Cuenca Hidrográfica (1998).** Diagnóstico de la situación Ambiental de la Cuenca Ariguanabo. Inédito. 89 pp.
- Hernández, I. (2001).** Diagnóstico Ambiental del Municipio Caimito. IGA. Inédito. Ciudad de La Habana. Cuba.
- Leslie Molerio, E Flores, et al (1996).** Esquema de circulación subterránea del río San Antonio de los Baños, Habana. Inédito.
- Leslie Moleiro, Mario guerra, et al (2001):** Protección ambiental y gestión integrada de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la cuenca Ariguanabo. IGA. Inédito. Ciudad de la Habana. Cuba.
- Mario Guerra (2000).** Estructura de la zona no saturada de la cuenca del Rio San Antonio. Inédito IGA.
- Roza M Leal (2001).** Procesos de Transporte de Masa en la zona no saturada del tercio inferior de la cuenca del río San Antonio. Tesis en opción al grado científico de master. Facultad de geografía. Universidad de la Habana.
- Olivera Acosta, J. Et al. (2002).** Conjunto de mapas temáticos para el análisis Ambiental en los Municipios Caimito-Bauta, Bejucal-San Antonio. IGA. Inédito. Ciudad de la Habana. Cuba. 150 pp.



EVALUACION DE LAS MULTIAMENAZAS NATURALES EN LAS COMUNIDADES DE MONTAÑA EN CUBA

Jerónimo L. Seisdedos Caballero y Tomás J. Chuy Rodríguez

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Calle 17 No. 61 e/ 4 y 6, Vista Alegre, Santiago de Cuba, CP 90 400, Cuba. C-Elect: jeronimo@cenais.ciges.inf.cu

RESUMEN

Se presenta un enfoque metodológico para evaluar los distintos riesgos naturales a que están sometidas las comunidades radicadas en la montaña o vinculadas a ellas por su ubicación natural, así como el impacto de éstos sobre el Medio Ambiente y la actividad antrópica circundante, con el objetivo de puntualizar anticipadamente las medidas preventivas y de mitigación, ante peligros naturales como sismos, tormentas tropicales, intensas lluvias, deslizamientos de tierra, inundaciones, penetración del mar, incendios, erosión y socavación del suelo, entre otros.

Este enfoque metodológico permite establecer el peligro potencial a que están sometidas estas comunidades; en particular, los relacionados con el uso de bases de datos adecuadas, de la comprobación y evaluación en el terreno y el uso de tecnologías y softwares de primer nivel, interrelacionados e integrados; posibilitando establecer en función de las manifestaciones locales de estas amenazas, políticas adecuadas de planificación y prevención.

Se presenta como estudio de caso, la investigación realizada en la comunidad de montaña La Bruja, con ubicación en la vertiente Sur de la Sierra Maestra, la que en la actualidad se desarrolla utilizando las recomendaciones presentadas a través de esta metodología.

ABSTRACT

A methodology to evaluate the different natural hazards over the communities located in the mountain or linked them by its natural location is presented, as well as the impact of these on the environment and the surrounding antropic activity, with the objective of remarking the preventive measures in advance and of mitigation, in front of natural hazards as earthquakes, storms tropical, intense rains, floods, penetration of the sea, fires, erosion and undercut of the floor, among others.

This methodology permit to obtain the potential hazard to that these communities are subjected to settle down; in particular, those related with the use of appropriate databases, the confirmation and evaluation in land, and the use of technologies and software of first level, interrelated and integrated; facilitating to settle down in function of the local manifestations of these threats, appropriate politicians of planning and prevention.

As a case of study, the investigation carried out in the mountain community La Bruja is presented. This community is located in the Sierra Maestra South slope and is the first at the present time where the recommendations using this methodology are developed.

Introducción

Durante los últimos decenios la comunidad internacional ha sentido una alarma creciente ante desastres que, por afectar a concentraciones cada vez mayores de población, han tendido a ser cada vez más destructivos. Aunque la respuesta de esta comunidad ha estado fundamentalmente orientada hacia medidas de ayuda, se ha llegado a la conclusión de que las consecuencias reales y potenciales de los desastres están adquiriendo tal gravedad y un alcance tal, que en lo sucesivo se debe prestar más atención a las actividades de planificación y de prevención.



De los desastres naturales, tienen una connotación especial los terremotos como uno de las amenazas naturales más significativas para la vida del hombre y sus bienes; los efectos secundarios que producen en el terreno, tales como hundimientos, deslizamientos de laderas, cambios en el régimen de las aguas subterráneas; constituyen también factores de temor y de impotencia. Si ha esto añadimos los efectos que producen los fenómenos hidrometeorológicos tales como huracanes, penetraciones del mar, inundaciones, entre otros, entonces y especialmente en las comunidades de montaña la vulnerabilidad ante estas amenazas naturales, sólo por las condiciones geográficas de sus ubicaciones, adquiere proporciones alarmantes. Todos estos factores actuando de forma individual o combinados, inciden más marcadamente en este tipo de comunidades que en otras formas de asentamientos humanos.

Es objetivo de este trabajo, la presentación de un Enfoque Metodológico para la realización de estudios locales de multiamenaza en las comunidades de montaña. Se proponen formas de utilización del conocimiento que se tiene actualmente sobre estos tipos de peligros naturales, para establecer el peligro potencial a que están sometidas, de utilización de bases de datos adecuadas, de comprobación y evaluación en el terreno, así como del uso de tecnologías y softwares de primer nivel, interrelacionados e integrados.

Para complementar y esclarecer la potencialidad de este Enfoque Metodológico, se presenta como Estudio de Caso, el de la comunidad de montaña La Bruja, en el municipio Guamá, en la vertiente Sur de la Sierra Maestra de la provincia Santiago de Cuba. En esta comunidad con la aplicación de este Enfoque Metodológico pudo proyectarse y planificarse adecuadamente el desarrollo perspectivo.

Principales amenazas naturales y método de trabajo

Las principales Amenazas a que están sometidas las comunidades de montaña son: condiciones Sismotectónicas y de Sismicidad, condiciones ingeniero – geológicas, erosión y socavación, deslizamientos, derrumbes, licuación, ciclones, huracanes e intensas lluvias, inundaciones, penetración del mar, vientos e incendios.

Método de trabajos de campo, entrevistas y evaluación de calas ingeniero – geológicas.

Se desarrollan el levantamiento geológico, la marcha ruta de Especialistas en los alrededores de la Comunidad para caracterizar el área, las entrevistas a los pobladores sobre desastres ocurridos o amenazas conocidas en la zona, el análisis de las fotos aéreas del territorio y la evaluación cuando se tienen, de calas ingeniero geológicas. Todas estas actividades constituyen el Método Primario de trabajo y análisis in situ, de las condiciones ambientales; de potenciales contaminaciones; de las condiciones ingeniero-geológicas y tectónicas; del arrastre, erosión y socavación, así como de efectos de terremotos, potencial licuación, deslizamientos y demás amenazas. Con esto se precisan los peligros a que están sometidas las comunidades.

Los datos de perforaciones de calas ingeniero – geológicas permiten estudiar las características de estabilidad de los suelos y taludes. La licuación de los suelos arenosos y limosos saturados puede valorarse por la composición granulométrica y por la metodología que ofrecen los métodos de Taiping et al y de Ishihara (Technical Commite, 1993), sobre la comparación del número de golpes de la cuchara Terzaghi y el número de golpes crítico calculado por su fórmula, en correspondencia con el Método Japonés de valoración geotécnica del suelo bajo las cargas sísmicas.



Se analiza complementariamente la tipología constructiva de las viviendas rurales y si tienen medidas de reforzamiento en función de fuertes vientos, lluvias extremas, inundaciones y sismos.

Método para la determinación del peligro sísmico.

Se evalúan las características de la sismicidad histórica e instrumental del territorio donde se encuentra la Comunidad y su cercanía a zonas activas, utilizando bases de datos adecuadas (CENAI, 2002; Chuy, 1999). Se consideran los efectos a esperar por la modelación de terremotos fuertes considerando las condiciones locales de atenuación de la intensidad sísmica, desde las principales zonas sismogénicas y teniendo en cuenta además, las características sismotectónicas de la región.

Se calculan los valores puntuales de peligrosidad sísmica utilizando el Programa SACUDIDA (Alvarez, 1995) en términos de aceleración horizontal e intensidad sísmica, así como los tiempos de recurrencia de diferentes magnitudes. Se consideran potenciales variaciones de los efectos por las características ingeniero – geológicas in situ y la presencia de estructuras tectónicas disyuntivas de menor orden.

Método para evaluar la vulnerabilidad a las inundaciones fluviales.

El método que se aplica para valorar las áreas inundables para cuencas hidrográficas de menos de 60 km² es el método racional (Dorticós, 1984), el cual permite determinar las áreas que se inundan para las distintas probabilidades de cálculo de las lluvias. Se hace el procesamiento de la lluvia mediante el programa para analizar las distribuciones teóricas de la lluvia AFMULTI (Cátedra, 2000). Los datos se someten además, al procesamiento estadístico para luego calcular las intensidades de las lluvias y los gastos máximos por el método racional (Dorticós, 1984). Las cotas de inundación en los ríos se calcula mediante el programa SECCION Y PENDIENTE de Chezy-Manning (Fernández y Maximova, 1980). Se utilizan los datos del INSMET sobre el paso de los ciclones y huracanes, por las distintas regiones del país, así como los datos históricos de lluvia y vientos, así como mapas cartográficos en las escalas adecuadas.

Método para la determinación de las áreas con peligro a las inundaciones costeras.

La altura que pueden alcanzar las olas frente al litoral costero en caso de tormentas tropicales, se calcula mediante una combinación de los métodos de Zenkovich - Andreyanov y de Bergen (Lamtadze, 1977).

En el caso de las mareas de tormenta o surgencias que ofrecen los ciclones y huracanes, se utiliza además, la tabla de clasificación de los ciclones tropicales mediante la escala de Saffir-Simpson y el trabajo realizado por el INSMET e IPF.

Método para determinar la peligrosidad de los taludes en las pendientes montañosas bajo las cargas sísmicas o en presencia de intensas lluvias.

El método de Siyahi y Ansal, modificado por Koppula (Technical Committee, 1993), es un método sencillo que se basa en un esquema geométrico de apoyo para el cálculo del factor de seguridad, utilizando las propiedades físico - mecánicas del suelo y de las rocas (cohesión, el ángulo de fricción interna y las densidades húmedas y saturadas. Permite conocer si bajo las cargas sísmicas o en presencia de un suelo saturado por fuertes lluvias ocurre o no, el fallo del



talud. Este método de cálculo es aplicado actualmente en Japón y los países de Europa para tales fines.

Valoración compleja de los métodos empleados.

Se confecciona un mapa resumen de riesgo a las multiamenazas, donde se recogen las áreas con peligro a las inundaciones costeras y fluviales, las zonas sísmicamente activas, las áreas con alto riesgo a los deslizamientos, a la socavación, licuación, etc., sobre la base de la interpretación compleja de los resultados parciales obtenidos. Se señalan adicionalmente las medidas preventivas que pueden tomarse para mitigar los efectos de las amenazas.

Caso de estudio comunidad la bruja

En la comunidad de montaña La Bruja se desarrolla el Proyecto Cultural Comunitario “Pájaro de la Bruja”, mediante el cual se prevee la construcción de 70 viviendas rurales, una escuela, una tienda y una plaza-parque monumento, logrando al mismo tiempo la mejora del ordenamiento del territorio adaptado a una topográfica abrupta, de fuertes pendientes. Esta comunidad está ubicada en el municipio Guama, de la provincia Santiago de Cuba. La principal vía de comunicación de este municipio es la carretera Granma, que lo atraviesa de Este a Oeste por todo el litoral y bordeando la Sierra Maestra, comunicando al municipio con la ciudad de Santiago de Cuba (Este) y con el municipio Pílon de la provincia Granma (Oeste), a Chivirico su cabecera municipal con las demás comunidades y estas últimas entre sí.

Por su ubicación geográfica, muy cercana a la principal Zona Sismogénica del Caribe (Bartlett-Caimán), su relieve de fuertes pendientes, su profundidad marina, su río de montaña y la ocurrencia de ciclones tropicales, hacen, que esta comunidad, sea una de las de mayor peligro, vulnerabilidad y riesgo a las multiamenazas naturales en el territorio nacional (**Figura 1**).

Peligro Sísmico de la zona de estudio.

En el municipio Guamá han sido registrados en los últimos 30 años alrededor de 1 000 eventos sísmicos por las Estaciones Sismológicas del Servicio Sismológico Nacional, como consecuencia de su cercanía a la estructura de Bartlett – Caimán. A esto se une el incremento de la cantidad de Estaciones desde 1986, por lo que la mayoría de los terremotos señalados son posteriores a esa fecha. El terremoto que en 1976 produjo una Intensidad Sísmica de 8.0 grados MSK en la localidad de Pílon (Chuy, 1999), provincia Granma, por su cercanía a este municipio afectó en particular, los taludes de la Carretera Granma, en la que produjo deslizamientos en varios tramos cercanos a la Comunidad La Bruja.

Es de destacar la ocurrencia de varias Series de Terremotos en este territorio, que han producido alarma en la población cuando varios de los sismos en cada Serie han sido perceptibles. Este tipo de actividad sísmica se caracteriza por una gran cantidad de eventos que ocurren en un tiempo relativamente breve, en los que se destacan varios de mayor magnitud, sin que se considere uno como principal propiamente. La perceptibilidad de éstos dependerá de la ubicación espacial de cada uno.

El valor de Peligro Sísmico se calcula teniendo en cuenta las principales Zonas Sismogénicas que pueden incidir sobre el territorio, los valores de Magnitud máxima que pueden alcanzar los Terremotos en cada una de ellas, la frecuencia con que ocurren los Sismos de diferente magnitud y la forma en que se amortiguan los efectos de Intensidad de cada Terremoto con la



distancia a partir del Epicentro. Este último parámetro se obtiene, considerando los Mapas de Isosistas confeccionados para los Terremotos perceptibles y fuertes.

Figura 1. Imágenes de la comunidad La Bruja y su entorno.

		
Acceso de entrada a la comunidad La Bruja.	Camino de entrada a la comunidad, fuerte socavacion.	La comunidad se asienta en las laderas de las montañas.
		
Deslizamiento en la vía que incomunica a la comunidad.	Deslizamiento en la vía, provocado por lluvia, próximo a la comunidad.	Deslizamientos en La Bruja, zona de fuerte tectonismo.

Los valores máximos de Aceleración Horizontal (A_{hmax} , cm/s^2) e Intensidad Sísmica (MSK), para un tiempo de vida útil t de las instalaciones de 50 años y una Probabilidad de no excedencia del 85 % (15 % de Probabilidad de Ocurrencia), para suelos medios, de la comunidad de La Bruja, son $323 cm/s^2$ y 8.5 grados MSK, respectivamente.

Deslizamientos, desprendimientos y caídas de rocas.

La comunidad de la Bruja está rodeada en su entorno por montañas de grandes alturas y fuertes pendientes. Los picos de las montañas vecinas, tienen alturas entre 268 a 341.5 metros sobre el nivel del mar, las pendientes son empinadas y fluctúan entre 25 y 45 grados. En estas condiciones, sólo se han podido construir las viviendas rurales en forma de terrazas, donde se hace un corte y relleno de la pendiente, sostenido por un muro de piedra. El laboreo se ha hecho más intenso mientras mayor ha sido la pendiente de la ladera y en proporción, la casa ha sido más aligerada en las zonas de mayor pendiente. En sentido general, se ha cuidado de no alterar el equilibrio ecológico de la naturaleza, conservando los árboles y no se excava a dejar la ladera expuesta, más bien se trata de rellenar. Donde la pendiente se ha dejado expuesta han aparecido los deslizamientos y los desprendimientos de grandes bloques. El factor más importante de crecimiento de la comunidad fue la construcción de la minihidroeléctrica y la electrificación del área. No se han podido construir viviendas en otras partes, en laderas



vecinas del Este y del Oeste, porque es muy frecuente las caídas de rocas desde las partes altas de estas montañas, catalizándose con los aguaceros.

Para calcular la estabilidad de los taludes en la comunidad de la Bruja, se procedió a la perforación de 3 calas ingenieros geológicas, por la ENIA 8 y se apoyó con un levantamiento geológico de toda el área de desarrollo de la comunidad. El número de perforaciones y su distribución, estuvo limitado por la falta de acceso a las áreas. De acuerdo al levantamiento geológico y las perforaciones realizadas en el área se encuentra emplazado en un intrusivo de composición media (porfirita andesítica) muy fracturado de edad Eoceno Medio – Superior, cubierto en las laderas de las pendientes, por una potente capa de eluvio de arcilla con gravas gravillas y grandes bloques de porfirita andesítica y tobas, de color rojiza. Las propiedades físico-mecánicas de este suelo y roca, se evaluaron para precisar este tipo de fenómeno.

Para valorar el nivel de riesgo de los taludes de la comunidad de La Bruja se utilizó el método propuesto por Siyahi y Ansal (Technical Commite, 1993). Este método asume que la superficie mas probable de falla es un arco de círculo y de acuerdo a las condiciones geotécnicas del suelo, la geometría de la superficie de falla y el Coeficiente de Sismicidad del área, se calcula el factor de seguridad.

De acuerdo al análisis realizado, en el área estudiada solo existe una zona favorable a la construcción de viviendas (Parcela 1) sin peligro a la ocurrencia de un deslizamiento que se localiza en los alrededores de la escuela, la bodega y es donde más viviendas rurales se han construido en la comunidad. No se incluyen como área de desarrollo las áreas de pendientes, en las cuales tienen que ser preservadas las condiciones naturales y evitar el laboreo y la tala de árboles, como un método de protección a las caídas de rocas y los deslizamientos. No se recomienda construir las viviendas que son amenazadas por el talud A-B (Figura 1) con alto riesgo a deslizarse en caso de un sismo fuerte, ni las que se encuentra en frente por estar a menos de 0.5H (altura del talud).

Licuación y arcillas expansivas.

El área con peligro a la ocurrencia del fenómeno de licuación bajo las cargas sísmicas es la aledaña al río, en la que se han desarrollado los suelos arenosos saturados; también esa es un área de una dinámica muy intensa, además de ser una zona de inundación. No se han ubicado viviendas en esta área. Por otra parte de acuerdo a los valores de plasticidad del eluvio de porfirita, que será el suelo donde se apoyaran las construcciones de viviendas, no presenta propiedades expansivas.

Socavación, erosión, arrastres y deposición por la dinámica del río.

En este municipio los ríos y una inmensa mayoría de los arroyos desembocan en el mar, en ellos se crean condiciones físico-químicas y dinámicas diferentes como consecuencia de la brusca disminución de la velocidad de la corriente, se produce una rápida deposición del material fragmentario que transporta el río; acumulándose en una extensa área una gran cantidad de sedimentos del tipo de cantos rodados, gravas, arenas y en menor cantidad, arcilla.

Otra de las condiciones dinámicas que se ha observado en el río del área, es que durante la ocurrencia de fenómenos climáticos extremos, se produce un fuerte oleaje, producido por la interacción en la desembocadura entre la corriente crecida del río y el oleaje del mar. En este caso se observa una lucha entre estas corrientes, produciéndose el remanso o aumento del nivel del agua río arriba e incluso la penetración de la ola hasta decenas de metros.



Las inundaciones ponen en movimiento grandes volúmenes de piedra, fango, árboles, etc., erosionando fuertemente las orillas, rellenando pozas y cambiando los cauces del río. Relacionado con esto se reporta las huellas de un gran deslizamiento de tierra ocurrido frente a donde se desarrolla la comunidad actualmente de La Bruja, producido probablemente por una lluvia extrema o por un fuerte sismo.

Debido a la dinámica tan intensa de los valles fluviales, erosión, denudación, arrastre, deposición inundación y los deslizamientos, existe una vulnerabilidad grande en los sistemas de abasto de agua, sistemas de hidroenergético y en las comunicaciones por carretera. Por otra parte, la principal vía de comunicación de la comunidad es la carretera Granma que la une con las demás comunidades y provincias, que está atravesada por todos los ríos y arroyos que desembocan al mar, tiene comúnmente interrupciones de la vía, al ocurrir las fuertes lluvias e inundarse, estos ríos.

Penetración del mar.

La altura de la ola depende de varios factores, ellos son:

- Longitud en que bate el viento sin encontrar obstáculo (Fetch).
- Velocidad del viento y su duración.
- De la profundidad de la zona costera (si es un mar profundo o no).

Para la comunidad de La Bruja, en el municipio Guamá se consideró un Fetch limitado por las barreras geográficas entre Cuba y Jamaica cuya distancia aproximada es de 187.5 km. Se analizó también el Fetch que pudieran producir los vientos del Suroeste (SW), cuya longitud es de aproximada 1 000 km pero prácticamente este último, con relación al primero produce el mismo oleaje.

Para el cálculo de la altura de la ola, en aguas profundas, en el municipio Guamá se utilizó la fórmula de Bergen (Lamtadze, 1977), la cual da valores bastantes aproximados con los obtenidos en las investigaciones de campo realizadas por el CENAI (2000). Para calcular la altura de las olas de resaca (h_o) por encima del nivel del agua tranquila en la costa se utilizó la ecuación de Dzhunkovski (Lamtadze, 1977).

De acuerdo al Mapa de Peligro por Surgencias de Ciclones Tropicales para la República de Cuba, confeccionado por el INSMET (PNUD-CUB/94/003), la valoración del peligro por surgencias en nuestra área por los ciclones es bajo (zona 4, sector 14). Concluyendo podemos decir que se deben prever fuertes inundaciones costeras con la cercanía de un huracán, al paso por el Sur de la comunidad o al acercarse en su dirección, como ocurrió con los ciclones Flora y Gilbert. Por lo que no deben construirse viviendas u otro objeto de obra en el litoral costero, en una cota por debajo de los 15 m con relación al nivel medio del mar.

Inundaciones.

El principal río que pasa o bordea a la comunidad es río La Bruja, el cual tiene su nacimiento en las inmediaciones de la Sierra Maestra, siendo un río de corto tramo, de gran velocidad por sus pendientes, desembocando al Mar Caribe.



Para obtener la intensidad de las lluvias máximas que pueden ocurrir en el área de estudio, fue sometida a pruebas de distribuciones teóricas de probabilidades la serie de lluvias máximas anuales para 24 horas del equipo pluviométrico “La Mula”, con vista a definir bien la lámina máxima de las lluvias para el 0.5, 1, 5, 10, 20 % de probabilidad de ocurrencia (período de retorno de 200, 100, 20, 10 y 5 años). Como resultado final se obtiene que la lluvia máxima diaria para el 1% de probabilidad es de 476.7 mm, su coeficiente de variabilidad es de 0,71 y el de asimetría es 2.71.

Las zonas de inundación fueron calculadas por el método racional (Dorticós, 1984), la zona que ocupa el hidropónico, se inunda para eventos a esperar con una probabilidad del 1 %, es decir una vez en 100 años. La última vez que fue ocupada por el agua fue cuando el ciclón Flora. El área que ocupa la actual caseta de la minihidroeléctrica, la nave de la carnicería y venta de productos agrícolas y el camino se inunda con una probabilidad del 5% es decir una vez en 20 años. La ubicación de las viviendas que se pretende construir están aseguradas para probabilidades del 1 %.

Para el caso de paso de huracanes por el Sur de la comunidad y con mayor efecto cuando penetran en tierra y el ojo del huracán se encuentra a la derecha hasta distancia de 180 Km., pueden exacerbarse las inundaciones por efecto de remanso entre la penetración del mar y el agua del río. A mayor categoría del huracán, mayores alturas alcanzará el agua.

Pueden ocurrir inundaciones catastróficas para eventos ciclónicos con lluvias superiores a los 400mm en 24 horas o menos, debido a la catalización de grandes deslizamientos en las montañas, situación que se puso de manifiesto cuando el ciclón Flora.

Incendios.

Durante las investigaciones de campo realizadas por los investigadores del CENAI, se encontraron que una de las causas de los incendios en esta región, puede estar dada por la existencia de líneas eléctricas construidas sin normas técnicas (tendederas), las cuales consisten en postes contruidos con materiales inapropiados, a baja altura; así como que estos tendidos son de cable sin protección, que atraviesan los bosques a través de trochas mal realizadas y en las cuales, por no realizar actividades de mantenimiento, crecen los árboles quedando los cables por dentro de estos.

Esta situación favorece que por acción del viento se pongan en contacto los cables y hagan tierra provocando corto circuitos con chispazos, los que constituyen un peligro potencial, a lo que sumamos la intensa sequía a que están sometidos los campos en la Sierra Maestra por la carencia de lluvias en estos últimos años. Este fenómeno tiene una situación más crítica en la línea que va desde la minihidroeléctrica, atravesando por el bosque, buscando la comunidad de La Mula.

Vientos.

Los vientos no están bien estudiados y los daños que provocan son producto de su fuerza, con velocidades entre 50 y 90 km/h. En las entrevistas realizadas se reporta que son causantes de la destrucción de cubiertas (techos) aligeradas, caídas árboles, del tendido eléctrico y telefónico. Se reportan daños a lo largo de la franja costera de las viviendas rurales y edificaciones más expuestas a los vientos, sobre todo las que se encuentran ubicadas en pequeñas elevaciones y suaves valles sin vegetación tupida frente al mar.



Conclusiones.

La metodología que se propone para el estudio de multiamenazas en Comunidades de Montaña, constituye un material de consulta imprescindible para establecer la caracterización acorde a un desarrollo económico sostenible y en correspondencia con la necesidad de preservar la vida humana y nuestro patrimonio por parte de las diferentes organizaciones e instituciones que garantizan el proceso inversionista en el país. En particular, esto se evidencia en el desarrollo actual de la comunidad de montaña La Bruja.

Recomendaciones.

Recomendamos antes de hacer una nueva comunidad o reubicar viviendas en las montañas, realizar estudios de vulnerabilidad a las multiamenazas, (sismos, ciclones, huracanes, intensas lluvias, deslizamientos de tierra, penetración del mar, etc.), con la metodología propuesta, con el objetivo de elegir las áreas con menor nivel de riesgo.

Referencias bibliográficas.

- Alvarez, J.L., 1995. Sacudida. Versión 2.0. Un Programa para la estimación de la Peligrosidad Sísmica. Editorial Academia, La Habana.
- Cátedra de Hidrometeorología, 2000. Afrmulti. Proyecto de Análisis de frecuencia de crecidas. Universidad del Litoral, Argentina.
- Chuy, T. J., 1999. Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de Peligrosidad y Microzonación Sísmica. Tesis en opción al Grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del MES y del CENAI.
- Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas CENAI, 2002. Bases de Datos.
- Dorticós, P.L.. 1984. Consideración sobre el escurrimiento en pequeñas cuencas. Utilización del método racional en las condiciones de Cuba. Revista Voluntad Hidráulica No. 63. Ciudad de la Habana.
- Fernández, N., Maximova, O., 1980. Cálculo del gasto máximo de agua producido por la rotura en las presas de tierra y los niveles correspondientes aguas abajo. Revista Voluntad Hidráulica, No. 80.
- Lamtadze, V. D., 1977. Geología aplicada a la ingeniería geodinámica aplicada a la ingeniería. Editorial Pueblo y Educación. La Habana.
- Technical Commite for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, 1993. Manual for zonation on Seismic Geotechnical Hazards. The Japanese Society of Soil Mechanics and foundation Engineering.



APLICACIÓN DE LAS ZEOLITAS NATURALES EN EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD AMBIENTAL.

MSc. Martha Velázquez Garrido, Dr. Carlos R. González González, Ing. Blasa Delgado Díez, Lic. Fátima Bugallo Davis, Ing. Tania Rodríguez Fernández.

Centro de Investigaciones para la Industria Minero-Metalúrgica (CIPIMM) Varona 12028, km.1.5. Boyeros, e-mail cipimm@ip.minbas.cu

RESUMEN

La zeolita es un adsorbente natural muy versátil, importante en la protección del medio donde vivimos, trabajamos y nos desarrollamos, con alta capacidad de adsorción, intercambio iónico e hidratación reversible. Es muy empleada al igual que las Diatomeas, Attapulgitas, Sepiolitas, Bentonitas, etc en la absorción de productos tóxicos de diferentes fluidos, de las emanaciones a la atmósfera, enmendante de suelos. Desde hace más de medio siglo se emplea en diversas aplicaciones con un futuro prometedor.

La tendencia actual es el desarrollo de investigaciones dirigidas hacia el mejoramiento y/o modificación de las características de las zeolitas naturales que le permitan competir con ventaja por su disponibilidad y costo con las similares sintéticas, teniendo en cuenta su contribución al ahorro energético y conservación del medio para el futuro desarrollo sostenible.

En el trabajo se exponen los métodos, procedimientos y resultados logrados en la I+D de tecnologías y productos que permiten cumplir los parámetros de calidad del agua, residuales, mejoradores del suelo, descontaminación de sustancias tóxicas, desodorizantes y estabilizadores de la humedad. Las tecnologías son sencillas en el tratamiento y modificación de las zeolitas naturales tipo clinoptilolita y mordenita tales como:

- ◆ Tecnología de síntesis de membranas de ultra y microfiltración a partir de minerales.
- ◆ Tecnología de potabilización de agua mediante membranas de filtración.
- ◆ Tecnología de filtración y descontaminación de agua residual.
- ◆ Absorbentes especiales para la remoción de metales pesados.
- ◆ Productos de alto valor agregado enmendante del suelo y usos domésticos.
- ◆ Absorbente especial para la potabilización del agua.

ABSTRACT

Zeolite is a very versatile natural adsorbent that plays an important role in protecting the environment where we live, work and develop, due to its high adsorption capacity, ionic interchange and reversible hydration. It has many uses as other natural adsorbents like Diatomeas, Attapulgitite, Sepiolite, Bentonite, etc., to adsorb toxic and dangerous products from any kind of fluids, in spill control to the atmosphere, soil improvement. Zeolite has gained, with the wide applications range it has now a days, a very promising future.

Today, the trend is to develop the researches aiming to the improvement and/or modification of the natural zeolites characteristics that let them compete with advantages with the synthetic ones, due to their disposal and cost and taking into account its contribution to energy saving and environment conservation for a sustainable future development.

This paper gives the methods, proceedings and results achieved in the I+D technologies and products that suit the quality parameters for water and waste water, for soil improvement, toxic substances decontamination, deodorant products and moisture stabilizers. The technologies defined are simple, as the result of a serious work of treatment and modification of natural zeolites such as clinoptilolite and mordenite. These are the methods used:

- Synthesis technology of the ultra and microfiltration membrane from minerals.



- Technology to get drinking water through filtration with membranes.
- Technology of filtration and decontamination of wastewater.
- Special adsorbents to remove heavy metals.
- Soil improvement products with a high added value and domestic use.
- Special adsorbent for water decontamination.

INTRODUCCIÓN

El objetivo del trabajo es exponer en síntesis los resultados logrados con diferentes productos y tecnologías aplicando las zeolitas para la protección ambiental.

Es la acción del hombre en el desarrollo industrial y la modernización, la causa fundamental del deterioro del medio ambiente, la vida, la cultura, provocando un estado de amenaza a la supervivencia del propio hombre y del planeta, es hoy un imperativo para los científicos y creadores conjugar el desarrollo con los cuidados del medio y se garantice el equilibrio de la sostenibilidad.

En los recientes eventos internacionales sobre las investigaciones y aplicaciones de las zeolitas naturales, numerosos trabajos han reafirmado el papel de este sólido poroso como un eficiente material en las alternativas tecnológicas de tratamiento y descontaminación ambiental [3].

Las zeolitas naturales son Aluminosilicatos con propiedades fisico-químicas especiales, con una estructura cristalina microporosa, con gran facilidad para el intercambio catiónico, alta capacidad de absorción de gases, hidratación reversible y su propiedad de tamiz molecular[8].

En el importante lugar alcanzado por las zeolitas naturales en el control ambiental; mediante la eliminación de contaminantes, inciden además de su efectividad otros importantes factores que las hacen competitivas con las sintéticas como son:

- ♣ Disponibilidad de grandes volúmenes que permiten aplicaciones masivas.
- ♣ Bajo costo de explotación y extracción.
- ♣ Tecnologías de bajo costo para su acondicionamiento natural y/o modificada.
- ♣ Excelente estabilidad a los procesos químicos y térmicos que permite su reactivación y utilización en varios ciclos[5].

El nivel de producción de las zeolitas naturales a escala mundial está entre 3-4 millones de toneladas anuales. Cuba ocupa el segundo lugar como productor, cuenta con enormes reservas de alta pureza, factor muy positivo para diversificar sus usos y aplicaciones con el desarrollo de productos y tecnologías que mejoren la calidad de vida y eleven el valor agregado del mineral [4].

DESARROLLO

En el trabajo presentamos un resumen de los resultados logrados con el desarrollo de tecnologías y obtención de nuevos productos a partir del mineral zeolítico natural cubano del tipo Clinoptilolita -Mordenita, donde se definen parámetros que permiten la descontaminación de agua, aguas residuales, gases, sólidos, etc.



♦ **Tecnología de síntesis de membranas(M) de ultra y microfiltración a partir de zeolitas naturales.**

Debido al bajo costo y comportamiento satisfactorio de las *M* poliméricas, ellas han dominado el mercado para las separaciones comerciales. Las propiedades deseables de las *M* son típicamente una combinación de alta permeabilidad y selectividad de las especies y suficiente estabilidad mecánica.

La fabricación de *M* por el método cerámico o de sinterización se basa en la conversión de un sistema de partículas dispersas en un ente consolidado de cierta porosidad predeterminada. El procedimiento general de síntesis de *M* se compone de los siguientes pasos: deposición de la capa precursora, crecimiento de la capa, secado y quema. La calidad final de la *M* depende críticamente de la calidad del soporte, de la composición y estructura de la solución precursora, y de los detalles de los procesos de secado y calcinación, particularmente el secado [2]

Las *M* zeolíticas son de muy reciente desarrollo. Suzuki sintetizó por primera vez las *M* de zeolita NaA soportadas en sílice o alúmina y las aplicó a la separación de mezclas de $\text{CH}_4/\text{C}_2\text{H}_6/\text{C}_3\text{H}_8$ lográndose no sólo el efecto de tamiz molecular, sino también muy interesantes acciones catalíticas. Esta misma línea ha sido seguida por Myatt y col.

Los soportes de *MI* son mayormente de cerámicas porosas. Existe la tendencia moderna a fabricar soportes en bloques prefabricados celulares, y a crear materiales porosos que resistan medios agresivos y abruptos cambios de temperatura en base a cerámicas de alta alúmina, mullita-corindón, corindón, espinela-corindón y carburo de silicio[5]-

Etapas para obtener el soporte cerámico:

Preparación de pastas y propiedades en crudo, sinterización y propiedades de la masa quemada, conformación y bizcochado de discos de soporte, curación, quema y comprobación de los discos quemados.

Una vez desarrollado un soporte cerámico con características adecuadas para la síntesis de *MI* de *MF* y *UF*, el trabajo se encaminó hacia la creación de tecnologías de fabricación de estos dispositivos. A escala de laboratorio se abordaron tres esquemas de síntesis: a) Síntesis de zeolitas de alta sílice en el interior de los poros superficiales del soporte; b) Síntesis de sílice mesoporosa en el interior de dichos poros; c) Síntesis de *M* cerámicas de alta alúmina sobre la superficie del soporte.

Síntesis de membranas zeolíticas.

Para la síntesis de *M* de zeolitas se escogió el método que se basa en el transporte por fase de vapor, ya que en el mismo la síntesis de las zeolitas se produce *in-situ*, y no es difícil adaptarlo para que también la gelificación se produzca en el interior de los poros del soporte, lo cual es nuestro propósito[11] . En la figura 1 se presenta el esquema general de la síntesis de *M* zeolíticas aplicado y en la tabla I los resultados obtenidos con esta tecnología.



TABLA I. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS M SINTETIZADAS

N°	H:T:E ⁺	Dispersantes	Precursores	Mineral.	Δm (mg)	Permeabilidad $m^3/(m^2.h.bar)$	Espesor (μm)
Z9	1:1:1	sílica fumes	SS	Sí	30,9	0,277	0,018
Z10	1:1:1	"	"	amorfo	26,5	0,262	0,017
Z11	1:1:1	"	"	amorfo	49,9	0,121	0,015
Z12	1:1:0	"	"	FER+...	22,4	0,147	0,011
Z13	1:1:0	"	"	amorfo	34,5	0,060	0,009
Z14	1:1:1	"	"	FER+...	49,1	0,065	0,011
Z15	1:1:1	"	"	FER+...	41,8	0,050	0,009

* H:T:E = H₂O:Et₃N:EDA; ** SS= silicato de sodio; ***SA= sulfato de aluminio

En el desarrollo del proyecto se creó un software que ha extendido su utilidad a otras temáticas dentro del CIPIMM y puede cargarse en otros Centros con referencias de cualesquiera otros temas.

♣ Tecnología de potabilización de agua mediante membranas de filtración.

La tendencia actual de la purificación de aguas es la aplicación de tecnologías limpias y de punta capaces de aportar un agua de alta calidad para el consumo humano con el empleo mínimo de agentes químicos. La tecnología de membranas ofrece una flexibilidad considerable a la hora de diseñar procesos que posibiliten la minimización y el reciclado de desechos y la retención de bacterias, virus y otros microorganismos.

Los procesos de filtración por membranas se dividen en cuatro categorías, de acuerdo con sus puntos de corte. Estos son: Microfiltración (MF), Ultrafiltración (UF), Nanofiltración (NF) y Osmosis Inversa (OR). Los dos primeros procesos requieren una presión de servicio menor que 5 bar y son principalmente aconsejables para separaciones sólido/líquido y eliminación de partículas. La UF elimina partículas minerales, orgánicas y partículas biológicas equivalentes a algas, bacterias y virus. Unido con una adsorción sobre carbón activado en polvo (CAP), la UF puede también ser usada para eliminar moléculas orgánicas disueltas. [1]

El sistema de filtración consta de una columna cargada con zeolita natural, en una granulometría (-3+1 mm y -1+0.5 mm), que funciona como filtro mecánico y una pieza de acero inoxidable y teflón, donde se ubica la membrana. El agua entra a la columna por gravedad a una presión mínima de 1,8 bar en la cabeza del sistema.



TABLA II. Resultados de la caracterización de las muestras de agua.

Análisis Realizados	Valores promedios de los análisis realizados					
	AC-1	AF-1	M-COM ¹	AMC ²	AMBI ²	AMBI ²
Sólidos Totales (mg/l)	512	496	460	485	480	479
Sólidos T. Disueltos (mg/l)	494	488	460	460	451	465
Dureza (mg/l)	371	359.14	357.4	361	360	360
Cloruros (mg/l)	35	33.03	30	33.5	30.5	30
Sulfatos (mg/l)	17	6.56	5.3	6	6.2	6.2
Nitritos + Nitratos (mg/l)	5.16	1.01	0	0.35	0.6	0.6
pH	7.07	6.94	7.43	7.63	7.3	7.15
Fe	<0.034	<0.028	<0.027	<0.027	<0.027	<0.027
Cu	0.036	0.03	0.022	0.022	0.022	0.022
Mg (mg/l)	16.14	15.81	15	15	15	15
Na (mg/l)	6.02	5.93	5.48	5.4	5.6	5.6
Zn (mg/l)	1.55	1.47	1.15	1.2	1.35	1.2
Pb (mg/l)	<0.028	<2.8exp ⁻⁵	<2.8exp ⁻⁵	<2.8exp ⁻⁵	<2.8exp ⁻⁵	<2.8exp ⁻⁵
Coliformes Totales NMP/100ml	>1100	-	<2	<67	<2	<2

¹Membrana Comercial de la Fairey, ² Membranas sintetizadas por el CIPIMM.

De los resultados que aparecen en la tabla I, se puede notar que las membranas **AMBI² y AMBI² sintetizadas por el CIPIMM** compiten con la comercial comprada a la Firma Fairey (M-COM) que se usó como patrón, garantizaron una eliminación completa de coliformes y la reducción de todos los indicadores físico-químicos analizados en el agua. Los indicadores no-biológicos ya se encontraban por debajo del rango reportado por la Norma Cubana NC 93-02 / 85 para agua potable.

La membrana sintetizada (AMC), se nota que hay una mejoría tanto en los parámetros físico-químicos como en los biológicos, aunque no se logra la eliminación completa de los coliformes; donde incidió dificultades en: la síntesis de los materiales, en particular en la homogeneidad en la aplicación de los precursores en la membrana y en la determinación exacta de los poros de las membranas, hermeticidad en el housing para evitar la contaminación del filtrado y la ruptura de la membrana, provocada por la falta de junta en la unión del housing y la membrana.

La tecnología de microfiltración con membranas con presión de 2 bar sin el empleo de bombas, en combinación con el pretratamiento con zeolitas naturales, da una respuesta satisfactoria a la potabilización de aguas de pozo fuertemente contaminadas con patógenos, sin necesidad de añadir reactivos orgánicos para la desinfección.

♣ Tecnología de filtración y descontaminación de agua residual.

Los requerimientos actuales y futuros exigen aplicar tecnologías limpias que minimicen el efecto nocivo al medio de los reactivos químicos y la búsqueda de tratamiento de las aguas mediante técnicas que impliquen disminución o eliminación de agentes químicos y a su vez compitan por su costo y eficiencia.



Se logra el tratamiento del agua de piscina, mediante el uso de zeolitas naturales tratadas como lechos filtrantes en el proceso de filtración y tratamiento del agua y la recirculación de la misma a bajo costo.[7]

El control del proceso se siguió por la determinación de las características químico-físicas y microbiológicas del agua en distintos momentos. Los parámetros físico-químicos controlados fueron: pH, cloro residual, color, olor, turbidez, conductividad, etc y microbiológicos (NMPcol.tot/100ml), (NMP coli fec./100ml), (Conteo total coli/ml), (Pseudomonas) y Estafilococos fecales.

La tecnología desarrollada para el tratamiento del agua de piscina con lecho filtrante zeolítico responde a una patente y una marca "ACUOPUR", que reivindica:

- Estabilidad en la calidad del agua por un período mínimo de un año sin cambio de la misma.
- Disminución aproximadamente de 50 % el consumo del cloro en la desinfección.
- No- requerimiento del empleo de los agentes químicos como son el sulfato de cobre para las algas y el sulfato de aluminio para la eliminar la turbidez del agua.
- Garantiza tiempo de filtración muy superiores a los obtenidos por los lechos filtrantes convencionales.

Experiencias prácticas demostraron después de seis años de trabajo que las características del medio filtrante no cambiaron prácticamente y el grado de reposición del lecho zeolítico fue relativamente bajo.

Esta tecnología ofrece ventajas sobre el empleo de otros medios filtrantes convencionales, en cuanto a su costo durabilidad y eficiencia. Permite obtener una calidad del agua superior a otras técnicas de tratamiento.

La tecnología es flexible y puede implementarse en forma sencilla en instalaciones en operación que utilizan la tecnología convencional en el tratamiento del agua.

Como un resultado importante se logra un ahorro considerable de agua y de energía por concepto de no bombeo de agua, así como agentes químicos, disminuyendo el impacto al medio y a la salud del hombre.[9]

♣ **Absorbentes especiales para la remoción de metales pesados.**

La presencia de cationes de metales pesados en el agua crea problemas serios desde el punto de vista ambiental no sólo por sus efectos tóxicos sobre animales, plantas y la salud humana sino por los requerimientos específicos que debe presentar el agua para ser usada en determinados procesos industriales, por ejemplo la presencia de iones Mn y Fe en agua son censurables para el procesamiento de alimentos, en la producción de pulpa y papel, en las industrias de semiconductores y tubos de televisión, en la industria textil etc.

La remoción de metales pesados de las aguas de desechos generalmente se realiza por precipitación de los hidróxidos de metales con cal ó soda; pero esta práctica genera grandes cantidades de fangos cuya disposición es muy costosa y a menudo peligrosa, requiriendo tiempos muy grandes de sedimentación a pesar del uso de coagulantes.[10]

Entre los múltiples intercambiadores de cationes empleados en la remoción de metales pesados, las zeolitas y específicamente las zeolitas naturales como la Clinoptilolita, Fillipsita y la Chabazita son preferidas debido a su alta selectividad para los metales



pesados, dado su bajo costo en comparación con las resinas sintéticas de intercambio iónico.

Se definió la tecnología y el adsorbente especial base Clinoptilolita natural, por especialistas del CIPIMM, para la remoción de Ni, Mn y Fe, en soluciones residuales. Dicha tecnología comprende:

1^{era} Etapa: Modificación de las muestras de zeolita a su forma homoiónica sódica.

2^{da} Etapa: Impregnación de la zeolita homoiónica con Mn^{2+} empleando una solución de sales portadoras de manganeso.

3^{era} Etapa: Precipitación in situ de MnO_2 empleando una solución oxidante.

El adsorbente desarrollado incorpora a su superficie un nivel de manganeso de **a** 0,25 mmoles de Mn/g de adsorbente, donde más del 95 % del Mn^{2+} fue oxidado a MnO_2 . El mismo presenta estabilidad química y es regenerable y reutilizable una vez cumplido su ciclo de remoción de metales pesados Ni, Fe y Mn.

Esta tecnología junto al adsorbente es de gran utilidad en la protección ambiental por su efecto en la depuración de efluentes contentivos de dichos metales pesados, según podemos apreciar en el siguiente figura 3. (Adsorción de los metales en solución donde se lograron puntos de ruptura a los 200 Vs/Vz para el Ni y el Mn, en el caso del Fe se observó que al pasar 400 Vs/Vz no se había alcanzado el punto de ruptura debido posiblemente a problemas de oxidación y precipitación del mismo, el flujo de la solución en todos los casos fue de 25 Vs/Vz.h).

♣ **Productos de alto valor agregado enmendantes del suelo.**

Dentro de las aplicaciones masivas de las zeolitas naturales, está su empleo en la agricultura, donde países desarrollados como Japón, E. Unidos, China. Consumen miles de toneladas en el cultivo de vegetales y en el mejoramiento de suelos con resultados muy buenos

Cuba viene trabajando seriamente en esta línea desde la década del setenta, la cual hoy actualiza con la búsqueda de soluciones alternativas de bajo costo que empleen los recursos minerales disponibles en la obtención de fertilizantes minerales protectores del medio y eficientes en los cultivos que minimicen el uso de los químicos.

En el desarrollo de este trabajo se ha llegado a obtener a escala piloto un producto de alto valor agregado, que es capaz de actuar de forma favorable sobre aspectos negativos como son: la acidificación de los suelos, la compactación entre otros y además representa un producto mineral de alta eficiencia en la protección del medio ambiente, el cuál reúne las siguientes características:

- ✓ Mejora la evaporación y la salinización de los suelos.
- ✓ Compite por su efectividad como abono y por su elevado por ciento natural.
- ✓ Recupera el fósforo residual del suelo.
- ✓ Disuelve más del 80 % del fósforo de los minerales fosfóricos de baja y mediana ley.
- ✓ Ahorra prácticamente el 50 % de los abonos NPK.
- ✓ Constituye una solución efectiva para los déficit territoriales de fertilizantes.
- ✓ Es un excelente producto para países tropicales con escasas lluvias.
- ✓ Producto muy perspectivo para el eficaz desarrollo de las raíces y mejoramiento de césped.(Aplicable en campo de golf y fútbol) (ver fig. 4)



La tecnología de obtención es sencilla y permite obtener distintas formulaciones de NPK de acuerdo a las necesidades de suelos y cultivos, sin generar residuales. El producto desarrollado se le realizó registro de marca como ZEOFERT-P.

♣ **Absorbente especial para la potabilización del agua.**

El proceso de potabilización de agua en general contempla las etapas de Coagulación - Floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

Eficientes productos y la zeolita natural se han aplicado para la potabilización de agua y los resultados han sido escalados e introducidos en la práctica social con resultados satisfactorios: El producto, CLARIFLOC-A se utiliza con éxito como coagulante disminuyendo hasta el 40% del consumo $Al_2(SO)_4$.

El producto LITOFLOC en instalaciones para el tratamiento de agua, con un caudal de $1332 \text{ m}^3 / \text{h}$ para diferentes turbidez del agua cruda alcanzan una emoción M.O, mg/l (30 %) y turbidez $\text{mg SiO}_2 / \text{l}$ 68 % y el color en un 40 %.

La Zeolita como lecho filtrante, en una planta potabilizadora de agua con un caudal de 320 l/s, reporta resultados muy superiores a lo logrado con la arena como se observa a continuación :

parámetros	filtro zeolita	filtro arena
kg turbiedad remov/ciclo	407.5	384.5
Tiempo de Filtración, h	36.0	27.8
kg turbiedad remov/kgmf.	0.014	0.011
Remoc. de Turbiedad, %	41.9	37.4

Esta tecnología ofrece las siguientes ventajas respecto a las convencionales:

- Disminución de los reactivos químicos destinados al tratamiento de aguas.
- Mayor remoción de materia orgánica y elementos contaminantes
- Mejor olor y sabor del agua y disminución del contenido de patógenos.

♣ **Productos de usos domésticos.**

En la actualidad el avance en el conocimiento y aplicación de este versátil mineral ha llevado a posibilidad de 101 usos en diversas esferas. En los usos domésticos está presente su alto poder de adsorción y efecto sobre las sustancias tóxicas y control de olores desagradables ocasionados por la descomposición de productos y sustancias que posibilitan la eliminación de efectos nocivos al medio.

En la línea de diversificación de las aplicaciones de las zeolitas se han desarrollado los siguientes productos de aplicación doméstica:

- Producto GARDEN COLOR fertilizante ecológico base zeolita con macro y micronutrientes para macetas y jardinerías.



- Producto ZEODOR de acción descontaminante y controlador de la humedad para refrigerador y nevera.
- Producto CORAL, para lecho ecológico de peceras, transporte y criaderos de peces, descontaminante de amonio y acción bactericida.
- Producto DEOSEC, talco con acción antimicótica y desodorizante.
- Producto SMOKE SORB, para eliminar el olor y toxicidad de los cigarrillos .
- Producto CEROLOR ciento por ciento natural para descontaminar los zapatos.
- Producto desecante e indicador de humedad.
- Producto coloreado para uso como(cosméticos).
- Producto para filtros de refrigeradores.

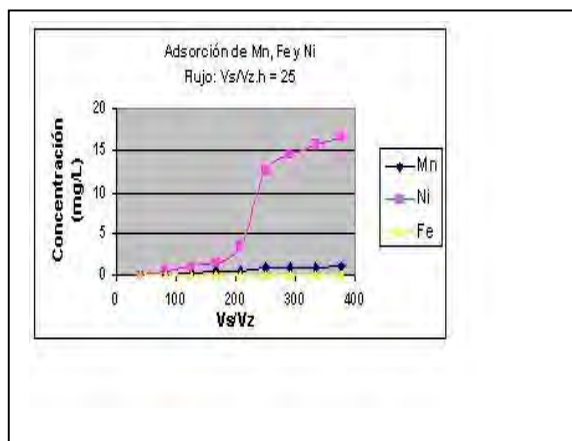
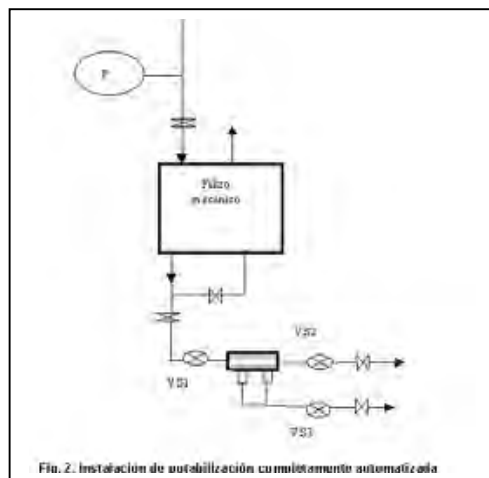
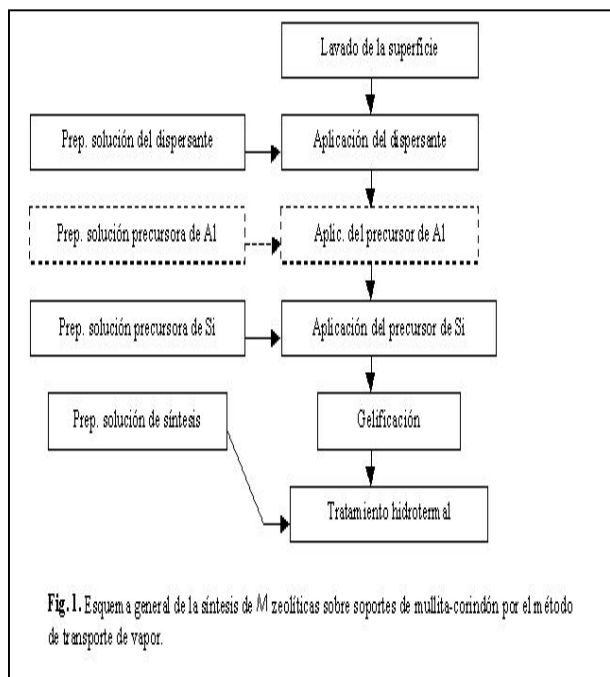
Estos productos han sido desarrollados mediante tecnologías sencillas, ofrecen belleza y confort al hogar y otras dependencias y protegen el medio ambiente contra las emanaciones tóxicas, los hongos provocados por la humedad y los olores desagradables, ayudan a la oxigenación del medio.

CONCLUSIONES

- Es factible la síntesis de M zeolíticas con adecuada permeabilidad y tamaño de poros, empleando como dispersante la sílica fumes y como precursor el silicato de sodio sobre soportes en forma de discos y tubulares de mullita-corrindón a escala de laboratorio y ampliada.
- Las tecnologías desarrolladas son sencillas y permiten obtener productos especiales de alto valor agregado para la aplicación en la protección ambiental a partir de las zeolitas naturales.

BIBLIOGRAFIA

1. Bhavé R.R. ,1991. *Inorganic Membrane, synthesis, characteristics and applications*, Chapman & Hall, 76 p.
2. Burggraaf, A.J., Cot L,1996. *Membrane Science and Technology Series, 4. Fundamentals of Inorganic Membrane Science and Technology*, Elsevier, Amsterdam, 57 p.
3. Gderouane E, et al.,1984. Zeolites Science and Technology, NATO, Vol E 80347, 135 p.
4. Giannettq G. et. al ,2000. Zeolitas, Características, Propiedades y Aplicaciones industriales. 303-331 p.
5. Raw Materials and Chemical Products Zeolites.,2000. Industrial Mineral No 381 p.21
6. Komarov V.S, 1988. *Struktura i poristost adsorbentov i katalizatorov*, Ed. Nauka i Tejnika, Misk, 22 p.
7. Márquez C.E. et. al.1998.Características físico-químicas y Comportamiento como medio filtrante de las zeolitas naturales cubanas.45-60 p.
8. MumptonF.A et al, 1997. Abstract Book of 4^{ta}Euroworkshop on Natural Zeolites Occurrence, Properties and Uses y 5thInt, Conf, Natural Zeolites, FEZA, Ischia, Italy. 73 p.
9. Norma cubana para las piscinas olímpicas,1985. NC- 9304. 1-10 p.
10. Parida, K.M.et al.,1981 Studies on MnO₂-I. Chemical composition, microestructure and other characteristics of some synthetic MnO₂ of various crystalline modifications: Electrochim. Acta 26, 435-443.p
11. Ueyama K ,Matsukata M., Nishiyama N, 1993. Synthesis of zeolites under vapor atmosphere: Effect of synthetic conditions on a zeolite structure, *Microporous Materials*, 1, 219-222 p.





ENVIRONMENTAL GEOLOGICAL MAPPING OF SOME HEAVY METALS CONTENT IN SOILS AND SEDIMENTS IN TWO HYDROLOGICAL SUB-BASINS IN MEXICO

Gilberto Hernández Silva¹ - Péter Scharek Hódi²

¹ Centro de Geociencias, Campus UNAM-Juriquilla, Qro. México, Juriquilla, Qro. C.P. 76230 Mexico, ghsilva@geociencias.unam.mx

² Regional Geology and Raw Materials Department, Geological Institute of Hungary H-1143 Budapest Stefania út 14 Hungary, scharek@mafi.hu

RESUMEN

The professional collaboration between the Center of Geosciences of the National Autonomous University of Mexico (UNAM) and the Geological Institute of Hungary (MAFI) began in the mid-1980's. During the project works, other researchers have been also incorporated from the Department of Hydrogeology and Engineering of University of Miskolc, Hungary.

The southern part of Guanajuato State is the principal agriculture zone of Central Mexico; and in its northern part (Guanajuato river sub-basin) exist some mines of gold and silver ores; in the region of the city of Leon (Turbio river sub-basin) there is a considerable lather industry. In consequence of mining and industrial activity, the waste waters flowing away without control and with a high content of some heavy metals that can threaten directly the aquifers. The study area was the hydrological basin concept, since it keeps a narrow relationship with the ecosystems and the hydrologic cycles; furthermore, there is an interdependence with the phenomena which occur within the basin. The area under study belongs to the Lerma-Chapala hydrological system and it covers an approximate area of 6000 km².

In our exposition we would like to present the results of the geological-pedological-environmental research achieved so far and to show the dispersion pattern of As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb and Zn in surficial soils and sediments of the two sub-basins, which proceed from both anthropological and geological sources. Field sampling was designed taking into account the geological, geomorphological, soils, drainage, engineering works and land use characteristics. There were 409 sampling sites which were digested in microwave oven; the concentrations of each of the elements studied were determined by atomic absorption spectrophotometry; As and Hg by hydro generator. In order to facilitate the interpretation of behavior from the dispersion of each element, 16 maps were compiled by using the GIS-ILWIS with kriging method. These maps confirmed the heterogeneous presence of each element without a recurrent pattern of dispersion, showing at the same time marginal areas with present problems of toxicity and potential risks for the environment. The processes of retention of elements within soils and sediments have varied through time and space, due to the fact that the entrance to the system has increased. This work attempts to show the contribution through the transport of bottom sediments from both Turbio and Guanajuato rivers in their movements towards the Lerma River.



VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN EN EL TERCIO INFERIOR DE LA CUENCA DEL RÍO SAN ANTONIO

Rosa María Leal Ramírez, Mario Guerra Oliva, Leslie Molerio León.

Departamento de Estudios Geoambientales, Instituto de Geofísica y Astronomía, Calle 212 # 2906 e/ 29 y 31, La Lisa, CP 11600, La Habana, Cuba; fax: (537) 33-9497, e-mail: rosa@iga.cu

RESUMEN

La cuenca Ariguanabo constituye una de las fuentes de abasto de Ciudad de la Habana. Su actual estado de contaminación hace necesario la realización de investigaciones hidrológicas, mediante la aplicación de métodos rápidos y económicos. En el presente trabajo se aplicaron los modelos determinísticos de simulación de las curvas de retención de humedad RETC y ADRIANA, en diferentes localidades asociadas al nivel de cavernamiento actual. Las variables estudiadas fueron: contenido de agua residual, contenido de agua saturada, conductividad hidráulica, presentándose las curvas de retención de humedad.

Como resultado de la investigación se han definido y caracterizado los procesos que controlan el transporte de masa en la zona no saturada, lo que permitió establecer una diferenciación del área, en relación con la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación.

El trabajo constituye una importante fuente de información, por profundizar en el conocimiento de un sector de la cuenca, el mismo tendrá aplicación directa en la ejecución de proyectos de protección ambiental y gestión integrada de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la cuenca Ariguanabo.

ABSTRACT

Ariguanabo the basin one of the sources of supply of City of the Havana constitutes. Their current state of contamination makes necessary the realization of hydrological investigations, by means of the application of quick and economic methods. Presently work the model deterministic of simulation of the curves of retention of humidity RETC and ADRIANA were applied, in different towns associated to the level of current cavernamiento of the basin. The studied variables were: content of residual water, content of saturated water, hydraulic conductivity, being presented the curves of retention of humidity.

As a result of the investigation they have been defined and characterized the processes that control the transport of mass in the not saturated area, what allowed to establish a differentiation of the area, in connection with the vulnerability of the aquifer to the contamination.

The work constitutes an important source of information, the same one will have direct application in the execution of projects of environmental protection and integrated administration of the resources superficial hydrological and undergrounds of the basin Ariguanabo.

Introducción

Hoy día se presenta la problemática de la contaminación de las aguas de la cuenca del río San Antonio, por vertimiento de residuales industriales y urbanos sin tratamiento o deficientemente tratados.

En relación con esta problemática ha sido realizada esta investigación en la zona inferior de la cuenca del río San Antonio, provincia La Habana (Ver Fig.1), localizada en los



alrededores del poblado de San Antonio de los Baños, al Sur de la Ciudad de La Habana, con el objetivo de identificar los procesos que controlan el transporte de masa, y de caracterizar el área en relación con la vulnerabilidad a la contaminación, teniendo en cuenta que la misma se ha desarrollado sobre rocas sedimentarias carbonatadas de la cobertura platafórmica, en particular calizas pertenecientes a las unidades estratigráficas: formación Cojimar de edad Mioceno Medio y a la formación Güines de edad Mioceno Medio Tardío.

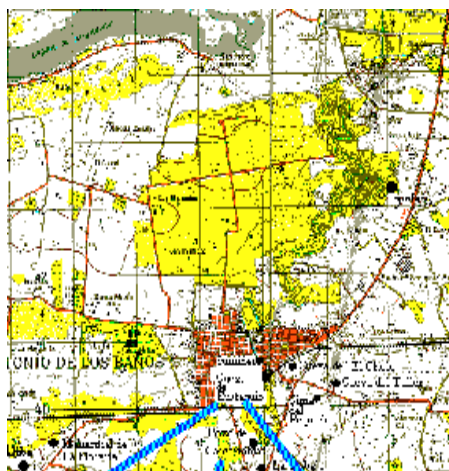


Fig.1 Esquema de Ubicación Geográfica.



Fig. 2 Contaminación del río San Antonio.

El trabajo que presentamos, constituye un resultado del proyecto Protección Ambiental y Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y Subterráneos de la Cuenca Ariguanabo. En el mismo brindamos el estudio de los procesos de transporte de masa en la ZNS de las cuevas Sumidero, El Cholo, Sima del Pequeño Padirác, El Taller y Eustaquio y una caracterización de las tres zonas diferenciadas en cuanto al grado de vulnerabilidad a la contaminación, lo cual ha sido mapificado a escala 1: 50 000.

Materiales y métodos

La metodología utilizada ha sido empleada en diferentes estudios hidrológicos realizados en otras regiones del país, por el Centro de Investigaciones de los Recursos Hidráulicos.

La investigación se inicia con la recopilación de la información existente, la misma tuvo como base, la utilización de los datos derivados de la implementación y corridas de los modelos (RETC y ADRIANA), además de contar con una base topográfica a escala 1:50 000, mapa de Suelos, mapa geomorfológico y el mapa geológico, los cuales fueron analizados de forma conjunta.

Resultados y discusión

Como salidas de los modelos se obtuvieron, los gráficos de las curvas de retención de la conductividad y difusividad, para cada una de las cuevas muestreadas.

Estos gráficos han permitido conocer para un instante dado el avance del frente de humedad desde la superficie del terreno hasta la zona saturada. A continuación se analizará el comportamiento de las curvas para cada cueva.



Cueva Sumidero

La curva de difusividad presenta un comportamiento ascendente. Con respecto a los valores de difusión ocurre que aumentan desde los primeros centímetros hasta el primer metro y luego se hace más lenta hasta tener un comportamiento casi estable de estos valores hacia el extremo final.

Con respecto a los valores de conductividad ocurre de manera similar, manifestándose el mismo tipo de curva e igual tendencia de estos valores hacia el extremo final.

Del análisis de los gráficos para la cueva Sumidero se puede afirmar que los procesos de volatilización, infiltración y degradación predominan sobre el retardo-adsorción, evidenciado en el valor de 0,007 de retención a una profundidad de 10 cm, el cual constituye uno de los valores más pequeños en el área de estudio.

Cueva El Cholo

Es característico que los valores de la difusividad presenten un comportamiento invariable entre el rango de 0.15 % hasta 0.28% de retención y posteriormente comienzan a ascender de forma brusca hasta alcanzar los 0.37%, y a partir de allí su tendencia es a la estabilidad.

Un aumento similar a la curva de difusividad presenta la curva de conductividad, aunque la tendencia al aumento de estos valores es mayor.

En ésta cueva ocurre que tanto los procesos de volatilización, infiltración como la degradación son más determinantes que los de retardo –adsorción, si se tiene en cuenta que en esta cueva tiene lugar a los 10 cm de espesor de la ZNS, el menor valor de retención (0, 002 %) del área.

Cueva Sima del Pequeño Padirác

Los valores de difusividad son constantes para una retención comprendida entre el 0.15 % y los 0.28 % de retención. A partir de aquí comienza un cambio brusco con tendencia a la estabilidad, al final de la curva, definida por valores de contenido de agua de alrededor del 40%.

La curva se manifiesta de forma similar a la anterior, presentando un mismo nivel de los valores de retención. Es característico que para los primeros 50 cm, existe un ligero aumento de los valores de retención, los cuales descienden de forma suave, manteniendo una tendencia a la disminución.

Esta cueva se distingue por el valor medio (0.01%) de retención en comparación con la mayoría de las cuevas. Esto ocurre a los 50 cm de espesor de la ZNS, lo que permite caracterizarla como reguladora del movimiento de los contaminantes porque predominan los procesos de retardo-adsorción y degradación sobre los restantes procesos que ocurren en la zona vadosa.



Cueva El Taller

La curva de difusividad comienza a manifestarse a partir de 0.15% de retención, siendo constante hasta los 2,7% y a partir de este valor comienza a ascender gradualmente hasta estabilizar nuevamente a los 0.39 %.

El gráfico de la conductividad tiene un desarrollo ascendente, se inicia en el valor 0.15% de retención y crece gradualmente hasta 0.43%. Es significativo la constancia que presenta la curva en su comienzo desde 0.15 a 0.25% de retención.

En la cueva El Taller el comportamiento de la ZNS es similar al de la cueva Sima del Pequeño Padirác, a los 50 cm de profundidad ocurre el mayor valor de retención (0,01 %), provocando un lento movimiento de los contaminantes hacia la zona saturada del acuífero.

Cueva de Eustaquio

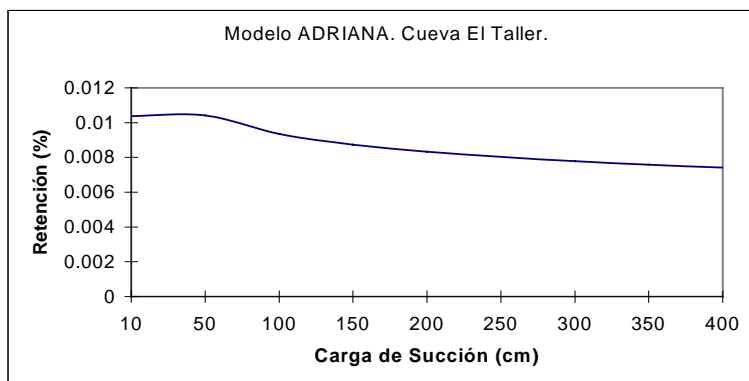
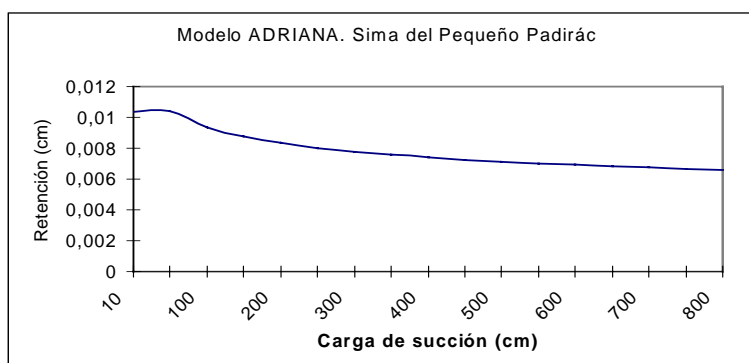
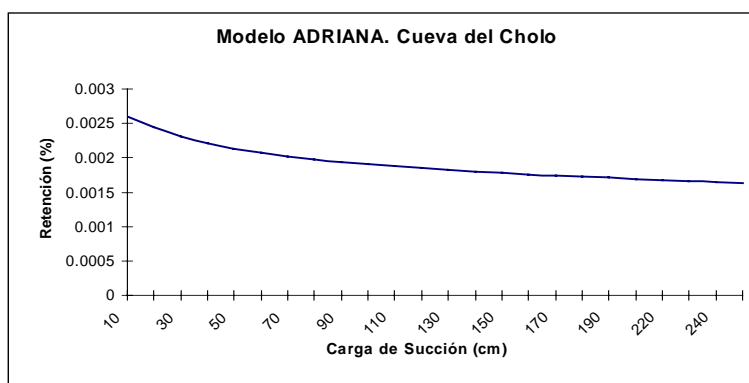
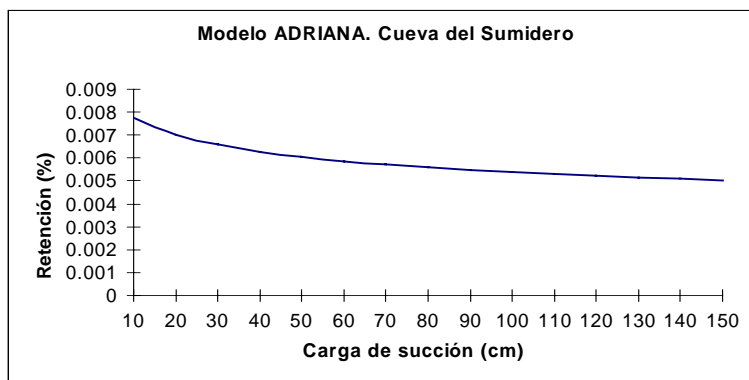
El gráfico de difusividad, muestra el comportamiento ascendente de la curva. Es característico para ésta cueva que los valores de la difusividad permanecen constantes con relación al contenido de agua en el rango de retención comprendido entre los 0.12 % y los 0.27 % de retención. A partir de este último valor comienza a aumentar de forma brusca hasta los 0.37 % y continua incrementándose gradualmente a partir de este valor, logrando una ligera estabilidad.

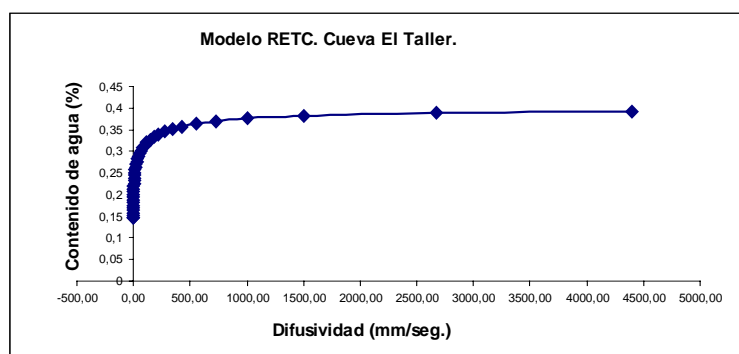
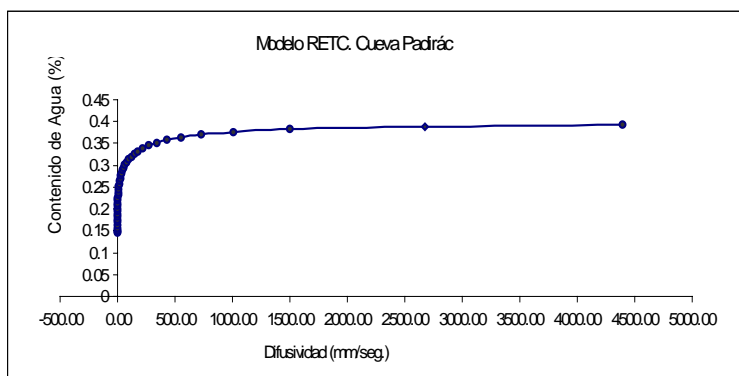
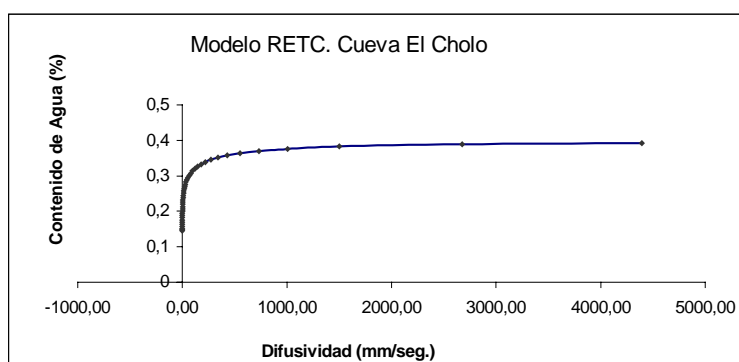
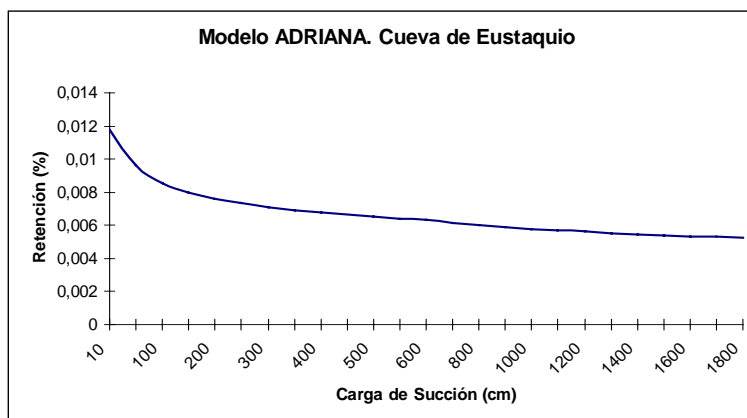
La conductividad hidráulica presenta un comportamiento similar, aunque el aumento de estos valores es más pronunciado hacia el extremo final de la curva.

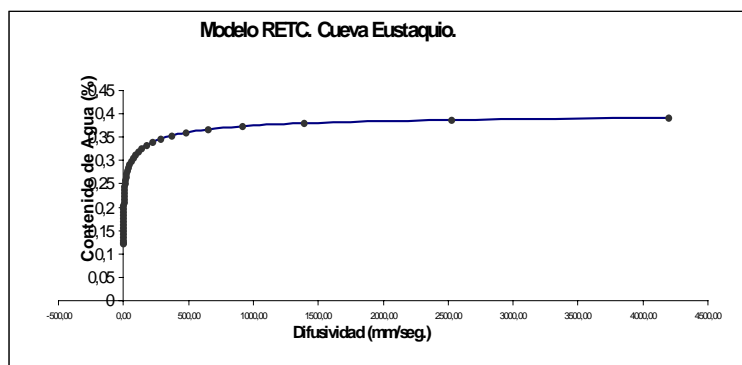
Para esta cueva se define el mayor valor de retención (0,1%) a los 10 cm de profundidad y tiene lugar precisamente donde el espesor de la ZNS es el mayor (15 m), en relación con el resto, predominando los procesos de retardo-adsorción, lixiviación y degradación, lo que hace positivo el papel de la ZNS, en relación con el control del movimiento de los contaminantes hacia la zona saturada.

En relación con la difusividad y la conductividad ambas se interpretan en función del carso y las condiciones estructurales existentes, así se tiene que su comportamiento es homogéneo en toda el área, porque están estrechamente vinculadas a la disminución de la aceleración del movimiento de los contaminantes hacia la zona saturada. Sus valores van incrementándose hasta llegar a estabilizarse, por ello se identifica a la ZNS como conductora desde el punto de vista hidráulico.

A continuación se muestran las curvas de retención para cada una de las cuevas estudiadas, a partir de las corridas del modelo ADRIANA.







En las regiones cársicas como la que se investiga, el transporte de masa en la zona no saturada está condicionado por el conjunto agua-roca-suelo, que interactúa ocasionando aceleración o retardo del transporte.

En este caso la permeabilidad de las rocas, el desarrollo de los procesos cársicos y el tipo de suelo ferralítico, constituyen factores que favorecen el proceso de filtración de las aguas hacia la zona saturada del acuífero.

Una vez analizado el comportamiento de estos factores conjuntamente con los resultados de los programas RETC y ADRIANA se realizó el Mapa de Vulnerabilidad (ver Fig.2), donde aparecen tres zonas bien diferenciadas, atendiendo al grado de vulnerabilidad, compuestas a su vez por varios sectores.

Una primera zona se sitúa en la parte NE del área, con relieve de glacis cársico cubierto (Ver Fig. 2), desarrollado sobre margas arcillosas, cuyas características texturales condicionan valores bajos de resistencia al fluido, el suelo presente es de tipo gley originando que en la ZNS sean los procesos de volatilización, retardo-absorción, así como los de degradación los que predominen.

En la misma han sido clasificados 2 sectores como de vulnerabilidad baja que se extienden en 10.07 kilómetros cuadrados. (Ver Fig.2).

La segunda zona se localiza en la parte central y Oeste del área, su relieve es de superficie cársica de pediplanación, el cual presenta cotas de hasta 100 m, el mismo se ha desarrollado sobre calizas organógenas de grano fino y arcillosas de textura fina, que ocasiona valores medios de resistencia al agua, trayendo consigo que los procesos de volatilización, retardo – adsorción y los de degradación sean los que prevalezcan.

Los suelos desarrollados sobre estos estratos son Ferralíticos Rojo Típicos, los cuales son medianamente profundos (51 –100 cm), están compuestos por más del 75% de arcilla caolinítica y se mantienen medianamente saturados (40 – 75%), los mismos favorecen en cierta medida al proceso de infiltración del agua.

En las cuevas Eustaquio y Sumidero se encuentran éstas condiciones y los espesores de la ZNS son menores de 20 cm. Los valores de retención no exceden el valor de 0.012% en Eustaquio y de 0.007% en Sumidero), en ambas los mismos disminuyen con la profundidad. Los valores de difusividad y conductividad primeramente tienden a aumentar y luego a estabilizarse en dichas cuevas.



Los sectores identificados en esta segunda zona se clasifican como de vulnerabilidad moderada (ver Fig.2), los cuales ocupan un área de 38.62 Km cuadrados, siendo la categoría de mayor representatividad en el área de investigación.

La tercer zona ubicada al Sur del área ocupa una extensión de 12.47 Km cuadrados presenta un relieve de superficie cársica marina (Ver Fig.2), en ella se diferencian tres sectores clasificados como de vulnerabilidad alta, debido a la presencia de rocas calizas organógenas masivas, que se caracterizan por presentar un carso bien desarrollado, donde el espesor de la ZNS es menor de 20 m (8 m), y los suelos originados son el Ferralítico Rojo Hidratado y el Ferralítico Rojo Compacto, cuya permeabilidad es media, incidiendo directamente en un grado mayor de infiltración, siendo éste el proceso de transporte predominante en la ZNS. En el sector central de esta zona se ubican las cuevas Sima del Pequeño Padirác y El Taller.

Esta zona se caracteriza por un comportamiento creciente de los valores de conductividad y difusividad que con posterioridad tienden a estabilizarse a los 0.39% de contenido de agua, lo que hace que en esta parte de la ZNS el movimiento de los contaminantes hacia la parte saturada del acuífero sea menos rápido en los primeros cien centímetros y con posterioridad sea más rápido, debido al tipo de caliza yacente.

Esta zonación descrita, revela lo heterogénea que es el área en cuanto a la vulnerabilidad, y permite identificar a la zona Sur, como la de mayor riesgo, donde se deben cumplir con rigor las legislaciones ambientales existentes en aras de proteger al acuífero.

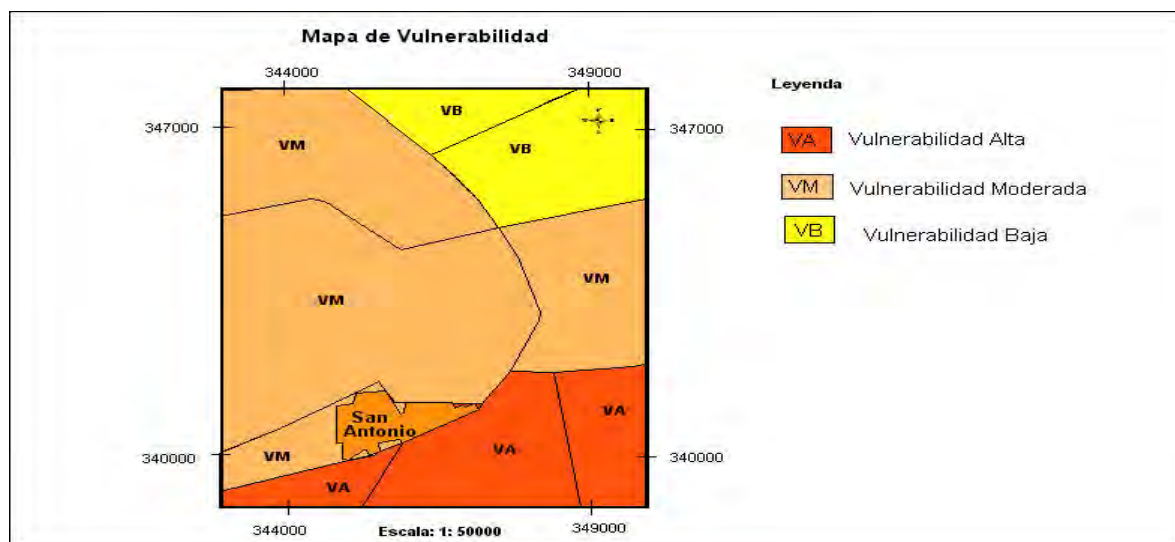


Fig. 2 Mapa de Vulnerabilidad.

Conclusiones

1. Se pudo comprobar que la zona no saturada, constituye una barrera para los contaminantes en su paso hacia las aguas subterráneas y que los procesos de transporte que intervienen en mayor medida son: retardo-adsorción, la degradación y la infiltración.



2. La presencia de suelos ferralíticos rojos de mediana permeabilidad denota que existe cierto almacenamiento en la pared más superficial de la zona no saturada, así como en los poros y grietas del material rocoso carbonatado, de ahí que la retención puede evaluarse bajo condiciones de capilaridad y adhesión que propician valores de retención oscilantes en el rango de 0.002% a 0.1%, gobernando el avance del frente de humedad hacia la zona saturada.
3. La información obtenida a partir de la aplicación de los modelos determinísticos RETC y ADRIANA, permite definir que la conductividad hidráulica y la difusividad son funciones del contenido de humedad, cuyos valores no sobrepasan en el caso de la primera al valor 0.75 m/seg. y en la segunda al valor máximo de 4400 mm/seg.
4. El criterio de selección de las categorías de vulnerabilidad a la contaminación (alta, media, baja), propició la clasificación del área en tres zonas:
 - Queda delimitada la zona Sur que ocupa 12.47Km² como la de alta vulnerabilidad, desde la que cualquier contaminante que se vierta llega más rápidamente a la zona saturada, produciendo las mayores afectaciones a las aguas subterráneas.
 - Se diferencia a la zona central y Noroeste extendida en 38.62Km², como la de moderada vulnerabilidad.
 - Se definió a la zona Noreste que ocupa 10 Km², como la de baja vulnerabilidad, donde se hace oportuno llevar a cabo una estrategia correcta de protección a la calidad de las aguas subterráneas.

Bibliografía

- Iturralde Vinet, M; Albear, J.F. 1985. Contribución a la Geología de las provincias de la Habana. I.G.P. Editorial Científico Técnico. Ciudad de la Habana: 43-48
- Molerio León, L. 1992. Procesos de Transporte de Masa en la zona no saturada de los acuíferos cársicos tropicales. GTICEK. I Taller Internacional sobre Ciencias Experimentales en el Karst. Universitat Jaume 1 de Castelló: 12-15
- Moleiro León, L. 1997. Curso Avanzado sobre Contaminación de las aguas subterráneas. Monitoreo, evaluación, recuperación. INRH, CENIC, ISPJAE . (1): 33-48
- Moleiro León, L. (en prensa). Modelo de transporte en la zona no saturada de los acuíferos cársicos. Algoritmo ADRIANA. (2): 91
- Van Geruche Genuchten, M, Th, et al, 1994. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils: 117



AUDITORIAS AMBIENTALES, UNA ÚTIL HERRAMIENTA DE LA GESTIÓN AMBIENTAL.

MSc Ing. Roberto Curiel Estévez, MSc. Ing. Marcela Figueredo Frías

Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica, Carretera Varona Km 1 ½, # 12028, Boyeros, Ciudad de La Habana, E-mail: cipimm @ ip.minbas.cu

RESUMEN

El Estado, las Empresas y la población en general, cada día dan mayor importancia a la problemática ambiental. Particularmente las Empresas Mineras no pueden afrontar una mala imagen ante la opinión pública, por un deficiente manejo ambiental ya sea por implantación de proyectos de desarrollo que no preserven el medio ambiente, o por una producción exagerada de desechos en el procesamiento de minerales o por el descontrolado vertimiento de estos al medio ambiente.

Se impone, en consecuencia, por parte de las Empresas Mineras la realización periódica de **Auditorías Ambientales**, que den una información completa sobre su situación ante esta nueva problemática, que condiciona cada vez más la actuación y toma de decisiones al mismo tiempo que propone un Plan de Acción para dar respuesta a la misma. Además nos proporcionan evaluaciones objetivas y sistemáticas de la idoneidad y la efectividad del Sistema de Gestión Ambiental, y de sus elementos para alcanzar los objetivos de la Política Ambiental de las Empresas.

Potenciar la Gestión Ambiental en nuestra Unión Geólogo Minera constituye uno de los objetivos primordiales de su Política buscando las soluciones más efectivas a los problemas existentes, evitando que surjan otros nuevos y desarrollando la conciencia ambiental de la alta dirección y los obreros, así como su participación activa en la solución y prevención de estos problemas.

ABSTRACT

Every day, governments, enterprises and the population in general give more and more importance to environmental problems. Specially, Mining Enterprises can not face a bad image in public opinion due to a deficient environmental management because of development projects execution that do not preserve environment or because an exaggerated production of wastes generated during mineral processing or the uncontrolled spilling of wastes to the environment.

In consequence, it is a need that Mining Enterprises do periodical Environment Supervisions that give a complete information on the situation that, in front of this new problem, sets more and more conditions to act and take decisions, proposing at the same time, a Plan of Action to answer the problem. Besides, it gives us objective and systematic evaluations of the suitability and effect of the Environmental Management System and its elements to achieve the objectives of the Enterprises Environmental Policy.

To increase Environmental Management in our Geology-Mining Union constitutes one of the main objectives of its Policy, searching for more effective solutions to the existing problems and so avoiding others rising and developing a consciousness regarding environment in the direction staff and in workers, and seeking for their active participation in solving and avoiding this kind of problems.



Introducción

Las auditorías ambientales constituyen una valiosa herramienta de la Gestión Ambiental que permiten evaluar en forma sistemática, periódica y objetiva su desempeño, y como tal deben ser parte integral de un sistema de administración o gerenciamiento ambiental, lo que las convierte en un elemento de control y seguimiento del mismo.

La **actividad minera** conlleva en todos los casos a una alteración potencial sobre el ecosistema y sobre el entorno humano, socioeconómico y cultural que es necesario corregir, para que la naturaleza no resulte dañada irreversiblemente y los suelos afectados puedan ser destinados a otros usos en un futuro. Sin embargo, la extracción de minerales le proporciona riquezas al hombre.

Es, por tanto, útil y necesario que en los proyectos de explotación se contemple una gestión integrada de los recursos minerales y del medio ambiente; puede llevarse a cabo así, un mejor aprovechamiento de los recursos y minimizar el impacto sobre las demás partes del ecosistema.

En nuestro país la industria minera posee problemas ambientales que se han acumulado durante décadas que no pueden ser resueltos de forma inmediata. Resulta altamente prioritario que se incorporen estos aspectos ambientales, en la toma de decisiones de toda la gestión a desarrollar en nuestras empresas; desde la etapa de concepción, estudios de investigación y proyectos tecnológicos, ejecución y puesta en marcha de los nuevos yacimientos así como en la introducción de nuevas tecnologías en la explotación de los yacimientos existentes y la comercialización de los productos (2).

El presente trabajo tiene como objetivo dar una respuesta inicial al mejoramiento de las condiciones ambientales de las Empresas Mineras, utilizando las auditorías ambientales como una herramienta de gestión ambiental para poner en marcha un sistema de gerenciamiento ambiental continuo que garantice la permanencia o mejora de la calidad ambiental.

Gestión Ambiental en las Empresas Mineras.

La Gestión Ambiental se define como el conjunto de actividades, mecanismos, acciones e instrumentos, dirigidos a garantizar la administración y uso racional de los recursos naturales, mediante la conservación, mejoramiento, rehabilitación y monitoreo del medio ambiente. La gestión ambiental aplica la Política Ambiental establecida mediante un enfoque multidisciplinario.

El proceso de gestión Ambiental en nuestras Empresas Mineras se encuentra enmarcado dentro de los siguientes niveles de acercamiento:

- ❖ Responsabilidad de la alta dirección de la Entidad.
- ❖ Política ambiental
- ❖ Legislación ambiental vigente
- ❖ Convenios internacionales

El primer nivel define claramente la necesidad de contar con un compromiso de cada uno de los funcionarios de la organización con la conservación y protección del medio ambiente, donde la formación ambiental recibida juega un papel fundamental.



En cuanto al segundo nivel, la administración de la Entidad deberá definir y documentar su política ambiental, la cual es la base del sistema de gestión que adicionalmente deberá garantizar que esta política (9).

- a) Sea apropiada para la naturaleza y los impactos ambientales de sus actividades, productos o servicios.
- b) Incluya un compromiso para el mejoramiento continuo y la prevención de la contaminación.
- c) Incluya un compromiso de cumplir con la legislación y reglamentación ambiental vigente, y con otros requisitos a los que se adhiera la Entidad.
- d) Provee el marco para establecer y revisar los objetivos y metas ambientales.
- e) Sea documentada, implantada, mantenida y comunicada a todo el personal.
- f) Este disponible para todos los trabajadores.

Específicamente para el caso de nuestra Unión Geólogo Minera, tiene la directriz por principio de:

“Desarrollar tecnologías de explotación y procesamiento de minerales, económicas, ecológicas y socialmente sostenible para el uso de los recursos naturales que contribuyan a la competitividad internacional de nuestros productos.

Ser líderes en incorporar la dimensión ambiental en las actividades de producción y comercialización contribuyendo al logro de una sociedad sustentable. “

En el marco legal se debe resaltar el objetivo de la legislación ambiental para prevenir y controlar la contaminación del medio Ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales para defender la salud y el bienestar humano; lo cual se recoge en el artículo 27 de la constitución de la República de Cuba.

Dentro de este entorno legal (4, 6) se deben considerar diferentes tipos de normas, algunas de ellas se relacionan a continuación:

- Ley No 81 del 11-7-1997 del Medio Ambiente
- Ley No. 76/94 de Minas.
- Decreto No 100/82. Reglamento general de Inspección Estatal.
- Resolución No 67/84. Establece la calidad sanitaria del agua potable.
- Resolución 87/99. Regulaciones para el ejercicio de la Autoridad Nacional y punto de contacto del Convenio de Basilea, sobre el control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos, y otras disposiciones para la gestión ambientalmente racional de estos desechos.
- Resolución 130/85. Reglamento para la Inspección Ambiental Estatal.
- Resolución 77/99. Reglamento para la realización y aprobación de las evaluaciones de Impacto Ambiental y otorgamiento de las Licencias Ambientales.
- Resolución No 27/2000 CITMA. Para obtener la categoría de Aspirante a Empresa más Limpia.
- Decreto Ley No 200/99. De las contravenciones en materia de medio ambiente.

Proceso de Gestión Ambiental en las Empresas Mineras.

El desarrollo de la Gestión Ambiental en nuestras Empresas esta dirigida a la implantación de un sistema de Gestión Ambiental según se establece en el capítulo 09 del Manual para la Dirección y Organización técnica de la producción del MINBAS (7) el cual constituye el documento rector en nuestras Empresas.



En el mismo se define la situación ambiental actual de la Empresa, así como los procedimientos que permiten llevar a cabo la implantación del Sistema de Gestión Ambiental y además, los instrumentos de planificación (PA, PPA), la Política Ambiental, la legislación ambiental vigente que permitan materializar la Estrategia Ambiental del MINBAS.

Para llevar el control y seguimiento del comportamiento ambiental de las empresas se realizan las Auditorías Ambientales de las cuales se derivan los planes de acción que permiten un mejoramiento continuo.

Las Auditorías Ambientales constituyen por si mismas una excelente acción para evaluar el desempeño de las Empresas y sus interrelaciones con el medio ambiente, así como el grado de cumplimiento frente a las normas y disposiciones vigentes. Si se desarrollan como un esfuerzo aislado, cumplen sus propósitos a corto plazo (1).

Para lograr que las auditorías ambientales se conviertan en un apoyo eficaz para el mejoramiento continuo del desempeño ambiental, deben enmarcarse dentro de un sistema de gestión ambiental que esté claramente definido en sus elementos y armonizado con los demás sistemas administrativos.

Se define como parte del sistema de gestión general que incluye la estructura organizativa, las actividades de planificación, las responsabilidades, las prácticas y los recursos para desarrollar, implantar, realizar, revisar y mantener la política ambiental (1).

El sistema está concebido de forma tal que le permita a una Entidad establecer los procedimientos para fijar unas políticas y unos objetivos ambientales determinados y lograr su cumplimiento

Premisas de la Auditoría Ambiental.

La definición de auditoría adoptada por la NC-ISO 14010:1998 establece que es el proceso de verificación sistemático y documentado, que consiste en obtener y evaluar objetivamente la evidencia de auditoría; con el fin de determinar si las actividades, incidentes, condiciones y sistemas de gestión ambiental especificados o la información sobre estos temas cumplen con los criterios de auditoría y en comunicar los resultados de este proceso a la entidad auditada.

Entiéndase como evidencia de auditoría la Información verificada, registros ó declaraciones de hechos y los criterios de auditorías como las políticas, prácticas, procedimientos ó requisitos en relación a los cuales el auditor compara las evidencias de la auditoría reunidas sobre el objeto auditado.

Las auditorías ambientales tienen como objetivos:

1. Facilitar el control por parte de la dirección de las prácticas medio ambientales.
2. Evaluar su adecuación a las políticas de la Empresa, lo cual implica el cumplimiento de las disposiciones reglamentarias en vigor.
3. Determinar la conformidad del Sistema de Gestión Ambiental de la Empresa, con los criterios de auditoría del sistema.
4. Determinar si el sistema ha sido correctamente implantado y se mantiene.
5. Identificar las áreas de mejora potencial en el Sistema de Gestión Ambiental de la Empresa.



6. Evaluar la capacidad del proceso interno de revisión por la dirección, para asegurar la adecuación y la efectividad continua del sistema.
7. Evaluar el sistema de la Empresa cuando se desee establecer una relación contractual, por ejemplo, con proveedor potencial o un socio.

La auditoría ambiental como principio básico debe tener un apoyo total de la dirección de la Empresa, de la misma forma el grupo responsable de la gestión y de la auditoría ambiental deben depender de la alta dirección.

Principales tópicos de la Auditoría Ambiental.

La realización de las auditorías ambientales se extiende a todas las actividades que se lleven a cabo dentro de la empresa, las cuales comprenden los siguientes aspectos: administrativos, sociales, operativos y recursos naturales, este último se interrelaciona con los anteriores. Estos aspectos se evalúan contra los parámetros definidos existentes como son la legislación y las normas vigentes, Políticas Ambientales, Procedimientos de Operaciones y mantenimiento.

De la anterior evaluación se pueden determinar por ejemplo los siguientes tópicos:

Aspectos Administrativos:

- El grado de cumplimiento de la legislación.
- Cumplimiento de las políticas institucionales.
- La coherencia en la Política Ambiental de la Empresa.
- Comprensión de los sistemas de gestión.
- Nivel de compromiso de la alta dirección.
- Grado de capacitación.

Aspectos sociales:

- Grado de aceptación de la comunidad de las actividades que realiza la empresa.
- Incidencia de las operaciones en el entorno.
- Bienestar de la comunidad.

Aspectos Operativos:

- Condiciones de operación.
- Controles.
- Procesos.
- Planes de emergencia.

Mantenimiento.

Gestión de residuos.

Condiciones de seguridad:

- Almacenamiento.
- Distribución.
- Planes de contingencia.



Planes de cumplimiento ambiental referidos a Plan de Protección Ambiental y Programa Ambiental.

Programas de rehabilitación de suelos.

Dificultades encontradas durante la realización de las auditorías.

En la realización de las labores de auditorías se han encontrado una serie de dificultades que dificultan el buen desarrollo de las mismas, de forma tal que dentro de la estructuración del proceso se le dé un adecuado manejo.

A continuación se mencionan algunas de estas:

- Prevención del personal.
- No suministro de información.
- Falta de colaboración para identificar con claridad donde y por qué se genera un residuo.
- Carencia de un sistema de registros y evaluación de datos.
- Definición de las posibles soluciones, dentro de un marco adecuado. Económicas (viabiles) y técnicas (sostenibles).

Resultados Esperados.

El resultado de una auditoría debe ser plasmado en un informe final claro y conciso, en donde se identifiquen los hallazgos y problemas de cada uno de los aspectos evaluados, e igualmente se enfoquen las soluciones a los mismos. Las recomendaciones necesarias deben incluir entre otros:

- Propuesta de revisión del grado de implantación del Cap.09 ,del Reglamento para la Organización y Dirección Técnica de la Producción.
- Propuesta de mejoramiento ó modificación de los procesos operacionales.
- Obtención de permisos (licencias ambientales o disposición de desechos).
- Mejora en los sistemas de control (toma, análisis y estudio de muestras).
- Programas de monitoreo que permitan una mejor aproximación a soluciones definitivas.
- Estudios adicionales para determinar, cuantificar y solucionar posibles anomalías identificadas durante la auditoría.
- Programas de capacitación y sensibilización ambiental.
- Actuaciones que permitan involucrar a la comunidad.

Beneficios.

Del proceso de auditoría se esperan una serie de beneficios algunas de ellos intangibles. Estos beneficios pueden sumarse así:

- ✧ Disminución de problemas.
- ✧ Disminución de costos de tratamiento.
- ✧ Ahorro en consumos de materias primas y recursos.
- ✧ Aumento en la eficiencia de los procesos.
- ✧ Subsana las deficiencias en los sistemas de control.
- ✧ Mejoramiento de la imagen pública.
- ✧ Mejoramiento continuo de la calidad ambiental.



Desarrollo de la Auditoría.

En el desarrollo de una auditoria se deben contemplar las siguientes fases y actividades (3, 8):

- Actividades de la fase de preauditoria.
 - Establecer el alcance.
 - Establecer la metodología y los términos de referencia.
 - Conformación del equipo auditor.
 - Programación de las actividades de la auditoria.
 - Elaboración del cuestionario de preauditoría.
- Actividades de la fase de auditoría:
 - Reunión inicial.
 - Visita al sitio de los trabajos.
 - Revisión de documentos.
 - Entrevistas con el personal clave.
 - Inspección de las facilidades de producción (planta).
 - Determinación de los elementos claves en los sitios inspeccionados.
 - Reunión de cierre.
- Actividades de la fase de postauditoría:
 - Revisión de documentos.
 - Análisis de los resultados auditados.
 - Seguimiento y verificación de los hallazgos.
 - Identificación de no cumplimientos.
 - Borrador del reporte de auditoría.
 - Revisión final del reporte.
 - Reporte final.
- Seguimiento al plan de acción.

El Plan de acción debe ser un documento claro y conciso en el que se traduzcan las recomendaciones en programas y proyectos para solucionar los problemas ambientales y se establezcan:

- Prioridades.
- Objetivos.
- Resultados esperados.
- Cronograma de ejecución.
- Asignación de responsabilidad y fecha de cumplimiento.
- Presupuesto.

Del seguimiento y de las continuas revisiones que se le den al plan de acción originado por el proceso de auditoría, depende el éxito de la gestión ambiental, ya que este es el punto de rompimiento o de entrada al círculo que conforma el sistema de gestión ambiental.

Resultados obtenidos con la realización de Auditorias Ambientales en la Unión Geomínera.



En los últimos años en las Empresas Mineras se ha avanzado en la implantación del Sistema de Gestión Ambiental (5). Entre los principales logros se pueden mencionar que en su gran mayoría:

- ✓ Poseen una Política Ambiental adecuada.
- ✓ Están identificados y se conocen los principales impactos ambientales.
- ✓ La planificación ambiental se materializa en el Programa y el Plan de Protección Ambiental.
- ✓ Se desarrollan programas que involucran a la comunidad con la Empresa en las actividades de protección del medio ambiente.
- ✓ Se domina la legislación y los requerimientos de regulación ambiental vigente.
- ✓ Se evalúa la actuación ambiental a través de la realización de las Auditorías Internas.

Pero aún existen aspectos por solucionar entre las cuales podemos citar:

- ✓ Delimitación deficiente de las responsabilidades y funciones para la atención a la Gestión Ambiental.
- ✓ El responsable designado para la actividad no está debidamente capacitado.
- ✓ Carencia de sistemas de monitoreo de los efluentes y desechos.
- ✓ Un inapropiado manejo ambiental en los programas de cierre de mina.
- ✓ Exclusión del factor ambiental como parte de la gestión industrial.
- ✓ Deficiente estado técnico o inexistencia de órganos de tratamiento de residuales.

Conclusiones

- 1.- Queda demostrado que las auditorías ambientales realizadas a las Empresas de la UGM son una herramienta metodológica efectiva en la detección, prevención y solución de problemas ambientales.
- 2.- Una excelente gestión de manejo es posible lograrla mediante la ejecución sistemáticas de las auditorías ambientales en nuestras entidades.
- 3.- En la UGM se ha avanzado en la implantación del Sistema de Gestión Ambiental mediante la realización de las auditorías.
- 4.- Los planes de acción derivados de las auditorías hacen posible lograr la mejora continua del Sistema de Gestión Ambiental.



Bibliografía Consultada.

- (1) Compendio de normas de gestión ambiental. NC-ISO 14000-1998.
- (2) Estrategia ambiental Nacional, CITMA., 1997.
- (3) Environmental Auditing International chamber of comerse. Position paper on environmental auditing, 1989.
- (4) Gonzalez, T, Garcia, I. 1999: Cuba, su medio ambiente después del milenio, editorial Científico-Técnico.
- (5) Informes de auditorías realizados a las empresas de la UGM ,año 2001 y 2002.
- (6) Ley 81 del medio ambiente , 1997.
- (7) Manual para la organización y dirección de la producción MINBAS, 1999.
- (8) Norma española 77-802-94. Reglas generales para la auditorías medio ambientales.
- (9) Política y estrategia ambiental del MINBAS, 2001.



PROPUESTA DEL SISTEMA DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD PARA LA INDUSTRIA EXTRACTIVA MINERA

Diosdanis Guerrero Almeida, Roberto Blanco Torrens, Rafael Guardado Lacaba

*Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez". Las Coloradas S/N. Moa. Holguín. Cuba. CP: 83329. Telef: 6-8190. Fax. (53) (24) 6-2290.
e-mail : dguerrero@ismm.edu.cu*

RESUMEN

La explotación y extracción minera es de vital importancia para la subsistencia del hombre actual, pero a su vez esta deja marcas indelebles al medio ambiente, pudiendo causar problemas de orden social, económico, político y cultural en el lugar donde se encuentra el yacimiento.

Como desarrollar una minería sostenible, que garantice las necesidades actuales de la sociedad, sin poner en riesgo la de las futuras generaciones y al mismo tiempo proteger el medio ambiente, es el gran desafío que se coloca, no solo al sector minero, sino también a los gobiernos de los países.

En nuestro trabajo se pretende dar a conocer las investigaciones que permiten la identificación de un Sistema de Indicadores que garanticen alcanzar la sostenibilidad en la explotación minera. Así se muestra un conjunto de indicadores de sostenibilidad que posibilita la evaluación y explotación racional e integral de los recursos mineros especialmente aquellos ubicados en los yacimientos metalíferos de la región oriental de Cuba.

Para darle cumplimiento a dicho objetivo los autores aplican distintos métodos geomineros, realizándose un análisis integral de las minas tanto activas como inactivas ubicadas en dicha región cubana. Se toman como referencia, los trabajos realizados en este sentido, en América Latina, Europa y otras partes del mundo. Los resultados demuestran su gran aplicabilidad en aquellos lugares donde se den condiciones análogas.

ABSTRACT

The exploitation and extraction of mines is of vital importance to the subsistence of the actual man, but at the same time, it leaves indelible marks on the environment, being able to cause problems of social, economic, political and cultural order at the place where the mine is.

How to develop a sustainable mining, which will meet the actual necessities of the society, without putting into risk the future generations and at the same time protect the environment, is a great challenge which does not only locate to the mining sector, but also to the governments of each country.

In your work is pretend to give of investigations which that permit of identifying the Indicators System that guarantee the reaching of a sustainable exploitation of minerals. So is sampled on group of sustainability indicators that is possibility of evaluation and rational e integrally exploitation of the minerals recurs specially this located on this metallic deposits of the oriental zone of Cuban.

To archive such an objective, the authors make the use of different geominers methods, realizably on integrally analysis of the both active and inactive mines which located in this Cuban zone. Is take what reference, the works made in this directions, in America Latin an other part of the world. The results show their great application at places where analogous conditions are given.

Introducción

Los sistemas de indicadores de sostenibilidad (SIS) en nuestros días se han convertido en una herramienta básica y necesaria en la actividad minera. Ante la interrogante de la posibilidad de su implementación han existido criterios positivos que así lo demuestran.[UN-CSD, (1993,94)];



[OECD, (1993)]; [SCOPE, (1996)]; [Azapagic, (1999)]; [Guardado et. al, (2000, 2002)]; [Guerrero, (,2002a, b y c)]; [Blanco et. al., (2002)]; [Molina, (2002)]; [Sánchez, (2002)] entre otros. El siguiente trabajo, aborda esta temática con el propósito de mostrar la propuesta del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS) para la explotación de los yacimientos metálicos de la región oriental de Cuba, con lo que se construye la línea metodológica básica, para medir la contribución del sector minero de dicha región al Desarrollo Sostenible, en el mediano y largo plazo.

Los autores han desarrollado el SIS de la actividad minera en el oriente cubano tomando en cuenta principalmente los aspectos técnico, ambientales y socio-económicos de la minería del níquel, en las etapas de explotación del recurso natural, para las cuales se ha definido el Sistema de Indicadores propuesto.

Para entender mejor el funcionamiento de este sistema, es imprescindible partir de la posibilidad del alcance de la sostenibilidad de la actividad minera a través del control de los sistemas y componentes que forman parte del territorio en el cual se desarrolla dicha actividad humana tal como se refleja en la Figura # 1; [Guerrero y Guardado, (2002c)].

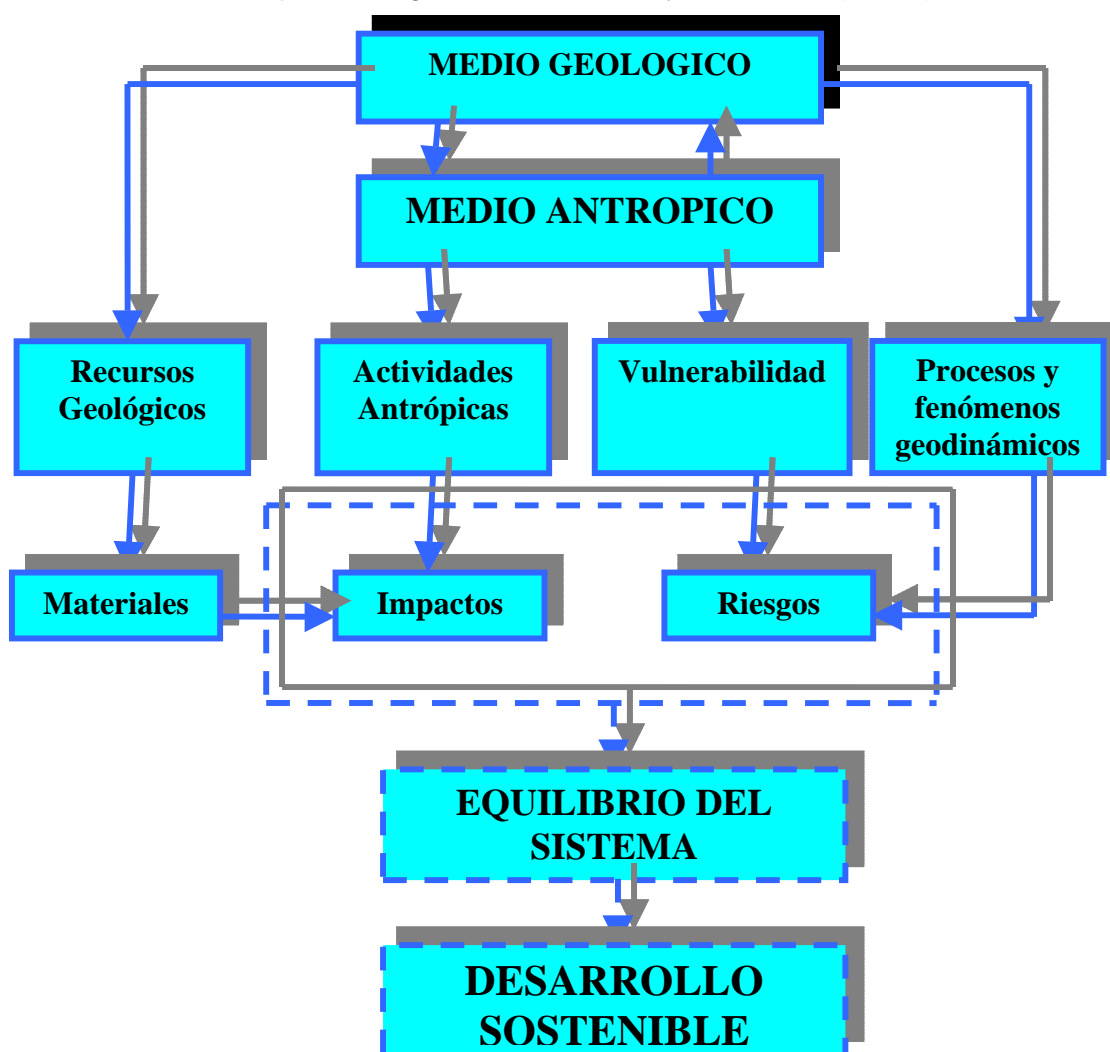


Figura 1 . Sistema de Integración del territorio minero al desarrollo sostenible; [Guerrero y Guardado, (2002c)].



Por otro lado, dada la variedad de las características de cada yacimiento analizado, así como la complejidad de los procesos de extracción, es necesario desarrollar y hacer operativo dicho sistema de Indicadores en los proyectos mineros. Otras razones que obligan a la creación del sistema de indicadores son las siguientes:

- La necesidad de encontrar y contar con una información adecuada para la toma de decisiones y para un seguimiento de las mismas en aras de alcanzar el desarrollo sostenible de esta actividad humana. Satisfacer las demandas de información sobre los problemas económicos, ambientales y sociales existentes en cada caso concreto.
- Su génesis está relacionada con la preocupación que actualmente existe por alcanzar el desarrollo sostenible así como por la necesidad que tiene el bienestar humano de una mejor información mucho más reducida que a su vez implique mejoras en la toma de decisiones.

Marco Metodológico para la formulación del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS).

Para tener una clara visión de la problemática tratada, es necesario destacar la diferencia existente entre los Indicador, índice y perfil ambiental.

Un **indicador** es una expresión específica que suministra información y permite evaluar de manera efectiva y útil ciertos elementos de la organización, su entorno e interacción con las partes interesadas, para facilitar la toma de decisiones por parte de la administración, la evaluación por parte de las autoridades y que así la sociedad en su conjunto pueda juzgar la responsabilidad social con la que las organizaciones empresariales interactúan con el Medio; [Forrero,(2002)]. Un **índice ambiental** posee las mismas características que un indicador y su carácter social es más acentuado. El beneficio obtenido se traduce a una mayor síntesis de la información relevante a una mayor eficacia como “input” en la toma de decisiones. El **Perfil ambiental** consiste en la selección de varios indicadores que en su conjunto dan cuenta del estado de la cuestión para un sistema, una política, problema o un territorio determinado; [Guardado,(2002)].

Tanto a nivel nacional como internacional todo parece indicar que existe consenso sobre cuales son las características que deben poseer los Indicadores para medir la sostenibilidad sectorial, las cuales se resumen en:

1. Relevantes y Sensibles a los cambios: muestran algo a cerca del Sistema que se necesita conocer. Describe un campo de información, constituye una síntesis, permite derivar conocimientos.
2. Comprensibles, comparables y útiles para todas las personas y usuarios aunque no sean expertos.
3. Confiables y válidos: Garantizar que la información que propone el indicador sea verdadera.
4. Accesibles, disponibles y oportunos: la información debe ser oportuna y disponible a un costo eficiente.
5. Continuidad: que utilicen los mismos criterios de selección de datos en todos los períodos, que se refieran a intervalos comparables y se midan en unidades comparables.



6. Representativos y eficientes: es decir, que permitan integrar y equilibrar las dimensiones económicas, ambientales y sociales del concepto de Desarrollo Sostenible.

Los principios básicos y criterios metodológicos para desarrollar este trabajo, están basados en experiencias y la bibliografía existente: [OECD, (1993)]; [UN-CSD, (1993/94)]; [Guardado, (2000, 2002)]; así como aquellas realizadas en dicha zona de estudio; en las que se desarrollaron metodologías y propuestas de criterios de indicadores ambientales.

Así mismo, la propuesta del SIS está basado en el modelo **Presión-Estado-Respuesta**, desarrollado por la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo –OECD implementados por el United Nations Environment Programme-UNEP y la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas para la construcción de Indicadores Ambientales y de Sostenibilidad; [OECD, (1993)].

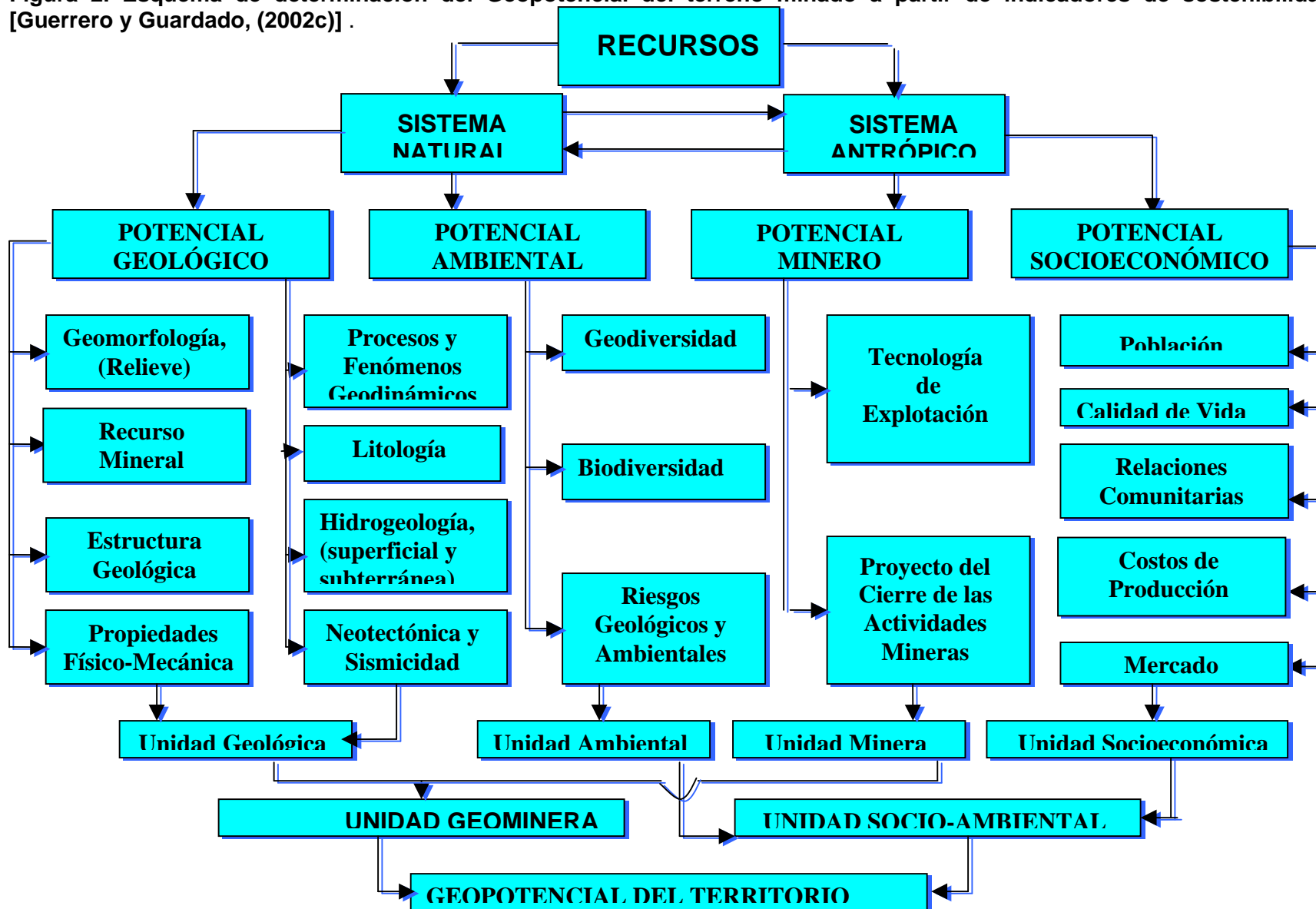
El modelo **Presión-Estado-Respuesta** ha sido desarrollado para ubicar el Sistema de Indicadores propuestos, dentro del contexto de políticas de manejo que sean relevantes para las necesidades de la sociedad. Los Indicadores de **Presión** están identificados con el uso de tecnologías antes, durante y después de la exploración, explotación y beneficio de los minerales extraídos del macizo rocoso. Definen la acción o actividad minero-metalúrgica del hombre para cumplimentar este objetivo. Los Indicadores de **Estado** definen los cambios resultantes en la calidad de los recursos naturales. En este trabajo, el autor los identifica con las características y propiedades geólogo-mineras del macizo rocoso, así como con las afectaciones a los componentes del medio ambiente, (atmósfera, aire, agua, suelo, paisaje, flora y fauna). Los Indicadores de **Respuesta** representan el monitoreo de las acciones tomadas a todos los niveles (locales, regionales o nacionales), desde las etapas iniciales de la actividad minera hasta su cierre definitivo; lo que contribuye a la formulación de opciones para trabajos futuros en término de la adopción de programas de conservación y uso racional y sostenible de los recursos naturales [Guerrero, (2002b)].

Así mismo, el planteamiento de nuestra propuesta parte de la base de que los indicadores de sostenibilidad de la actividad minera son diferentes a los indicadores ambientales hasta la fecha conocidos. Esto se debe a que los primeros nos permiten tener un conocimiento mucho mas amplio del comportamiento de esta actividad humana durante su desarrollo y con ello prevenir los efectos que esta ocasiona; y los segundos, se limitan solamente a la detección de los efectos o daños ocasionados por cualquier actividad sobre los componentes del Medio Ambiente y sus posible vías para atenuarlos. En la industria minera se manejan una serie de indicadores ambientales, (por ejemplo, acidez del agua, partículas en el aire, nivel de ruido, etc.), pero solo se han definido unos pocos indicadores de sostenibilidad; [Azapagic, (2000)].

Para enfrentar esta tarea es necesario identificar un conjunto de indicadores mineroambientales estructurados de acuerdo a la clasificación descriptiva de "presión", "estado", "respuesta", siguiendo un análisis de matrices que permitan evaluar el nivel de sostenibilidad de estos indicadores. La metodología propuesta para el diseño del SIS, aparece reflejada en la Figura 2.



Figura 2. Esquema de determinación del Geopotencial del terreno minado a partir de indicadores de sostenibilidad; [Guerrero y Guardado, (2002c)] .





Características generales de la zona minera de Moa.

La explotación de los yacimientos lateríticos de la región minera del noreste de la provincia de Holguín Cuba se ha convertido, en uno de los polos más importantes del país. Moa constituye un dinámico centro minero metalúrgico, con influencia socio económica, educacional, cultural, y científica, que permite elevar el nivel de calidad vida de sus habitantes, contribuyendo al fomento de la cultura minera en el territorio. La metodología propuesta, fue aplicada a dos de los yacimientos lateríticos ubicados en esta región oriental; el yacimiento Punta Gorda de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” y el yacimiento Moa Oriental cuyo concesionario es la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba”, Moa-Níckel S.A.

El yacimiento Punta Gorda se ubica al Norte por las aguas del océano Atlántico, al Sur por la línea convencional que la separa de los yacimientos Camarioca Norte y Camarioca Este, al Oeste por el yacimiento de Moa Oriental y al Este por las elevaciones que constituyen la línea divisoria de las aguas de Punta Gorda-Cayo Guam.

El yacimiento Moa Oriental limita al Oeste con el valle del río Moa, al Norte con el poblado de la Veguita, al Sur con el altiplano del alto de la Calinga, y por el Este con el arroyo Los Lirios y el yacimiento Punta Gorda. Dicho yacimiento ocupa un área de 16 Km².

Sus condiciones naturales. El clima de esta región es tropical. Los valores de temperatura registrados indican valores promedios desde 24 °C hasta los 25,3 °C. Se identifican dos períodos de lluvia (mayo-junio) y (octubre-febrero) y dos de sequía (marzo-abril) y (julio-septiembre). La cantidad media anual de las precipitaciones es de 2500 mm. En el verano las lluvias tienen un carácter de aguaceros y en el invierno son menos intensas pero más permanentes.

La abundancia de precipitaciones en casi todo el año conjugado con las características del relieve y el clima favorecen la existencia de una densa red hidrográfica bien desarrollada y de tipo detrítico que corre de Sur a Norte representada por numerosos ríos y arroyos, entre los que se encuentran: Punta Gorda, Cayo Gaum, Yagrumaje, Moa, Aserrío, Cabaña, Los Lirios, y otros. Estos sobrepasan los 1,5 m/seg y los gastos son variables oscilando con valores entre 100-300 l/seg. El nivel de los ríos varía en dependencia de las precipitaciones, los niveles más bajos se observan en el período de seca, (junio-octubre) y los más altos de noviembre-Mayo.

El relieve de la zona se encuentra ubicado dentro del sistema montañoso de las cuchillas de Moa el cual desciende escalonadamente de Sur a Norte quedando relictos de superficies de nivelación antiguos en las divisorias, con una geomorfología bastante aplanada; estas superficies se conservan a diferentes alturas como 100-200, 300-500 m, siendo mayores hacia la parte alta de la Sierra de Moa, diseminada por los valles de los ríos Yagrumaje, Punta Gorda, Cayo Guan, Exigua, Semillero y Yamanigüey, los cuales presentan un marcado control tectónico, siguiendo las principales líneas de fracturación del territorio NW-SE.

Los suelos son muy variables producto al clima y a su morfología. En la zona costera baja aparecen ciénagas con un suelo carmelita grisáceo, muy arcilloso y con un alto contenido de material orgánico. En las riberas de los ríos aparecen suelos aluviales de diversos tamaños y color. En el territorio predominan los suelos eluviales; que pueden alcanzar potencias considerables de más de 60 m. en bolsones se desarrollan en las partes inferiores de las laderas con pendientes suaves y aplanadas en forma de mesetas. Su coloración es parda, violeta, roja y amarillenta, la composición química es rica en distintos minerales pesados, los hacen poco fértiles. El drenaje superficial y subterráneo es variado y en ocasiones excesivos



dando lugar a un amplio desarrollo de cárcavas y barrancos, lo que unido a sus características físico-mecánicas provocan inestabilidad del terreno.

Este territorio es rico por su biodiversidad. En este sentido, se reportan un total de 345 especies de las cuales el 92 % están en los ecosistemas naturales, así como 213 son endémicos que representan el 23 % del endemismo reportado para el territorio Moa-Baracoa. De estas especies endémicas 17 son exclusivas de Moa, 5 están en peligro de extinción y 20 vulnerables a desaparición. La región es rica por sus recursos forestales, alcanzando estos una cifra de 11 398,3 ha. de los cuales 11 005 ha. corresponden a bosques naturales. El análisis de la calidad de los bosques arroja que en una escala de 5 a 10 % del área boscosa clasificada como latizol, el 38 % es de bringal, 15 % frutal, 5 % madera, y 2 % calvero. Se reportan además aproximadamente un total de 500 especies con interés forestal en un área de 1 415 350 m²; [Guardado, (2000)].

Análisis del modelo PRESIÓN-ESTADO-RESPUESTA en la explotación de los yacimientos lateríticos estudiados

Geopotencial del Terreno

Con el objetivo de tener una visión integradora de la problemática tratada, en esta etapa se identifica el geopotencial con que cuenta la zona objeto de estudio o el territorio, entendiéndose este como la capacidad que tiene el territorio de ofrecer la totalidad de recursos y de restricciones inherentes al conjunto de elementos del sistema natural y el sistema antrópico y la medida de su importancia tanto patrimonial o de conservación, como estratégica o de producción económica y de sensibilidad o afectación potencial del medio y la sociedad, [Molina, (2002)]. Los recursos son principalmente geológicos, (potencial geológico) y ambientales, (potencial ambiental). Esta nueva concepción incluye además las excavaciones mineras y tecnología de explotación, (potencial minero), así como las relaciones sociales y económicas, (potencial socioeconómico), desarrolladas como consecuencia de la explotación minera de un yacimiento determinado.

La obtención de este geopotencial se inicia con la definición de las unidades de integración territoriales básicas(yacimientos), sobre las cuales se hará el análisis de los diversos potenciales del territorio y estas se definen como unidades básicas del territorio en las cuales es posible analizar la expresión de los diferentes elementos y procesos con el objetivo de construir una visión integrada del mismo; [Sánchez, (2002)].

Las unidades de integración surgen del análisis y combinación de la información suministrada por cada potencial del territorio. Dichas unidades se establecen ya que es muy difícil determinar los potenciales para cada punto del territorio o parte del yacimiento analizado, dada su amplia variabilidad de características e información que estos contienen. A partir de estos potenciales se identifican los diferentes factores o procesos condicionantes culminándose con la identificación de los principales indicadores que inciden directamente en cada uno de ellos.

Potencial Geológico, (PG).

El Potencial Geológico, (PG) es la capacidad que tiene el territorio de ofrecer recursos minerales con calidad, cantidad y en condiciones de explotabilidad que favorezcan su aprovechamiento minero; [Sánchez, (2002)]. Pero además está relacionado con las características geológicas de cada territorio o región minera, constituyendo un factor básico de la actividad minera según la conformación del relieve, su constitución, estado y estructura geológica, propiedades físico mecánicas de las rocas y procesos y fenómenos geológicos de



una región determinada. Su análisis nos permite conocer el comportamiento geológico del terreno; [Guerrero y Guardado, (2002 c)].

Los principales sectores que forman parte de este potencial son:

- Geomorfología, (Relieve)
- Litología
- Estructura geológica
- Recurso Mineral
- Propiedades Físico-mecánicas de las rocas
- Procesos y fenómenos Geodinámicos
- Hidrogeología, (superficial y subterránea)
- Neotectónica y Sismicidad

Las principales variables que forman parte de este potencial son:

- Geomorfología, (Relieve)
 - Longitud de la Pendiente
 - Inclinação de la Pendiente
 - Disección Horizontal
 - Disección Vertical
- Litología
 - Composición
 - Estado
 - Edad de las rocas
- Estructura Geológica
 - Plicativas
 - Disyuntivas(juntas, fallas)
 - Discordancia
- Recurso Mineral
 - Cantidad
 - Calidad
- Propiedades físico-mecánicas de las rocas
 - Densidad
 - Estabilidad
 - Deformabilidad
 - Resistencia
- Procesos y fenómenos geodinámicos
 - Erosión
 - Deslizamientos
 - Hundimientos
 - Derrumbes
 - Carso
 - Sifonamiento
- Hidrogeología
 - Capacidad acuífera
 - Permeabilidad
- Neotectónica y Sismicidad
 - Historia sísmica de la región



- Distancia de ocurrencia

Potencial Minero, (PM).

El Potencial Minero (PM), está relacionado con la explotación de los recursos minerales. Tiene como objetivo evaluar la explotación minera de los yacimientos minerales.

Los principales sectores que forman parte de este Potencial son:

- Tecnología de Explotación
- Proyecto del cierre de las actividades mineras.

Las principales variables que forman parte de este potencial son:

- Tecnología de Explotación
 - Producción minera
 - Productividad del Método de Explotación
- Proyecto del cierre de las actividades mineras.
 - Patrimonio Geológico
 - Recuperación, Rehabilitación y Restauración del terreno

Potencial Ambiental, (PA).

El Potencial Ambiental, (PA) está relacionado con la aptitud de los sistemas natural y antrópico para satisfacer demandas de tipo natural y antrópica; [Molina, (2002)]. Tiene como objetivo caracterizar el impacto provocado por la actividad minera sobre medio ambientales producidas por la minería.

Los principales sectores que forman parte de este Potencial son:

- Geodiversidad.
- Biodiversidad
- Riesgos Geológicos y ambientales.

Las principales variables que forman parte de este potencial son:

- Geodiversidad.
 - Patrimonio geológico.
- Biodiversidad
 - Flora
 - Fauna
- Riesgos Geológicos y ambientales.
 - Geológicos
 - Ambientales

Potencial Socio-Económico, (PSE).

El Potencial Socioeconómico, (PSE) está relacionado con la capacidad que tiene la sociedad para relacionarse con el sistema natural y transformar sus recursos en bienes y servicios con el fin de reproducir mejores condiciones de vida, pero sin forzar al medio natural y antrópico por encima de su disponibilidad real; [Molina, (2002)]. Está estrechamente asociado al potencial geológico, minero y ambiental ya que depende de las condiciones que ofrece el territorio,



(suelo, agua, flora, fauna, etc.) como soporte de actividades y depende de las personas que puedan desarrollar actividades económicas, (población económicamente activa).

Los principales sectores que forman parte de este Potencial son:

- Población
- Calidad de vida
- Relaciones comunitarias
- Mercado
- Costos de producción

Las principales variables que forman parte de este potencial son:

- Población
 - Densidad de población en la región minera
- Calidad de vida
 - Capacidad de empleo
 - Empleo indirecto
 - Seguridad minera
 - Nivel profesional de los trabajadores.
 - Cantidad de Programas de capacitación y educación de la Empresa minera
- Relaciones comunitarias
 - Cantidad de obligaciones legales cumplidas
 - Nivel de satisfacción de la fuerza de trabajo
 - Nivel participativo comunitario
- Mercado
 - Precio de los minerales
 - Nivel de satisfacción de la demanda de mineral
 - Valor de ingresos o ganancias, por comercialización del mineral
- Costos de producción
 - Costo de producción de 1 ton de mineral extraído

Valoración cualitativa y cuantitativa de los componentes del Geopotencial, (GP)

Para cada yacimiento se realizó la valoración cualitativa y cuantitativa de los recursos presentes en la región, (potencial geológico, minero, ambiental y socioeconómico) y se utilizó una escala numérica siendo el uno el valor mínimo y cinco el valor máximo de acuerdo con el nivel de influencia en el logro de la sostenibilidad.

Además de este valor, a cada variable se le asigna un coeficiente de ponderación o peso que permite cuantificar su importancia con relación a las demás variables. Dichos coeficientes son el resultado del consenso entre los profesionales que participan en el análisis, minimizando de esta forma la subjetividad en el mecanismo de evaluación. De modo que el valor de cada potencial del yacimiento es la sumatoria de las variables que lo integran por el coeficiente de ponderación, o sea:

$$P_n = \sum V_i \times P_i$$

Donde: Pn: Valor del Potencial n.

V_i: Coeficiente de ponderación de la variable i, %

P_i: Variable i perteneciente al Potencial n.

De igual manera se procede para la determinación del Geopotencial del yacimiento; es decir:



$$GP = (VG \times PG) + (VA \times PA) + (VM \times PM) + (VSE \times PSE)$$

Los resultados de este análisis aparecen reflejados en la Tabla I.

Tabla 1. Resumen del análisis del Potencial de los terrenos afectados por la actividad minera; [Guerrero y Guardado, (2002c)].

UNIDAD TERRITORIAL	CRITERIOS UTILIZADOS Y PORCENTAJES DE INCIDENCIA PARA EL CÁLCULO DEL GEOPOTENCIAL				GEOPOTENCIAL DEL TERRITORIO, GP
	POTENCIAL GEOLÓGICO, PG (30 %)	POTENCIAL MINERO, PM (25 %)	POTENCIAL AMBIENTAL, PA (25 %)	POTENCIAL SOCIOECONÓMICO, PSE (20 %)	
Yacimiento Punta Gorda	16,3	7,1	6,0	11,4	10,445
Yacimiento Moa Oriental	15,85	9,4	5,8	12,25	11,005

Conclusiones

1. Al realizar el análisis de los resultados, se observa un ligero incremento de los recursos geológicos del yacimiento Punta Gorda, dado por la ocurrencia en menor escala de los riesgos y fenómenos geodinámicos, una mejoría notable en los recursos mineros del yacimiento Moa Oriental, una mayor cantidad de recursos en términos socioeconómicos lo que ofrece un mayor Geopotencial de este yacimiento.
2. El análisis integral de este sistema de indicadores de sostenibilidad permite la comparación de las condiciones naturales así como las diferencias existente por la intervención humana en cada región minera. El principio general es de evaluar el buen uso que la actividad minera hace de los valores naturales, patrimoniales, estratégicos, económicos y sociales con que cuenta el territorio.

Referencias bibliográficas

Azapagic, A., (1999): Indicators of Sustainable Development for the Minerals Extraction Industry: Environmental Considerations. In: Technological challenges posed by sustainable development: the mineral extraction industries. Edit. II CYTED/IMAAC/UNIDO III. Madrid, Spain. Pág. 202-217



- Blanco, Torrén, Roberto, Roberto Wátson, Quesada y Diosdanis, Guerrero, Almeida, (2000): Abandono y cierre de minas. CD Jornadas de Cierre de Minas del CYTED. Revista Panoramaminero. # 257. Argentina.
- Forero, Bonell, C. y R. León, (2002): Indicadores de Sostenibilidad en la industria de agregados: la experiencia colombiana. Jornadas iberoamericanas sobre Indicadores de Sustentabilidad para la industria extractiva minera. Carajás, Brasil.
- Guardado, Lacaba, R. V. Costa, Llanos y I. Santos Rodríguez, (2000): Introducción de la Dimensión Ambiental en la Carrera de Ingeniería Geológica. Revista Cubana de Geología y Minería. Vol. XVII. N° 3-4. p. 79-85.
- Guardado, Lacaba, R., (2002): Indicadores de sostenibilidad para el territorio minero metalúrgico de Moa. Jornadas iberoamericanas sobre Indicadores de Sustentabilidad para la industria extractiva minera. Carajás, Brasil.
- Guerrero, Almeida, Diosdanis et all., (2001): Criterio Generales para alcanzar el desarrollo sostenible en la actividad minera. III Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Desarrollo Sostenible: Realidad o sueño a 10 años de la Cumbre de Río. La Habana, Cuba.
- Guerrero, Almeida, Diosdanis R. Blanco T. y R. Wátson, Q., (2002b): Para un desarrollo sostenible en la minería. Revista Cimientos, Año 3. No. 5. Noviembre, pág. 43, 44 y 45. Cuba.
- Guerrero, Almeida, Diosdanis y R. Blanco T., (2002a): Criterio Generales de sostenibilidad para la actividad minera. En: Indicadores de Sostenibilidad para la industria extractiva mineral. Capítulo I. Trabalhando conceitos e idéias. Edit: CNPq/CYTED Río de Janeiro, Brasil. Pág. 93-115, (En español y portugués).
- Guerrero, Almeida, Diosdanis y R. Guardado Lacaba: (2002c). Aplicación de un sistema de indicadores de sostenibilidad para el ordenamiento territorial en regiones mineras. para la industria minera. I Reunión Internacional de la Red-CYTED XIII-E, "Ordenamiento del territorio y Recursos Minerales". ISMM. Moa. Cuba. 24-26 de Nov. 2002
- Molina, E. J, (2002): Los recursos minerales y la minería como componente del medio físico en la planificación territorial en Colombia. En: La minería en el contexto de la ordenación del territorio. Capítulo II. Geopotencial. Edit: CNPq/CYTED. Río de Janeiro. p: 171-195.
- OECD, (1993): Organization for economic Cooperation and Development Core Set of Indicators Environmental Performance Review. A Synthesis Report by the group on the State of the environment. Paris. Francia.
- Sánchez, M. E. y J. F. Cárdenas, (2002): Lineamientos de ordenamiento ambiental territorial y la minería. Caso de estudio Parque minero Mochuelo Bogotá, Colombia. En: La minería en el contexto de la ordenación del territorio. Capítulo I. Estudio de Casos. Edit: CNPq/CYTED,. Río de Janeiro. p: 106-125.
- SCOPE, (1996): Scientific Committee on Problems of the Environment. Scientific Workshop on Indicators of Sustainable Development. Wuppertal, Germany, November 15-17, 1995. Report edited by S. Billharz and B. Moldan. Charles University Environmental Center, Prague.
- UN-CSD (1993/1994): Integrated Environmental and Economic Accounting. Handbook of National Accounting, Interim Version. UNSD-Studies in Methods (Series F, No.61). Edición en Español: Contabilidad Ambiental y Económica Integrada, Versión provisional, Naciones Unidas, New York.



ESTIMACIONES DEL PELIGRO SÍSMICO EN LA REGIÓN DE BAYAMO PARA LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO CON EL USO DE UN SIG.

Zulima C. Rivera Alvarez⁽¹⁾; Dario Slejko⁽²⁾; Laura Peruzza⁽²⁾; Alessandro Rebez⁽²⁾ y Rafaela Codermatz⁽³⁾

(1) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Calle 17 No. 61 entre 4 y 6 Rpto. Vista Alegre, Santiago de Cuba, Cuba. CP: 90400, E-mail:zuli@cenais.ciges.inf.cu

(2) Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Borgo Grotta Gigante, 42c, 34010 Sgonico, Trieste, Italy. E-mail:dslejko@ogs.trieste.it; lperuzza@ogs.trieste.it; arebez@ogs.trieste.it

(3) Università, Trieste, Italy. E-mail:rcodermatz@yahoo.com

RESUMEN

El peligro sísmico para la región de la ciudad de Bayamo, es calculado teniendo en cuenta las características locales del suelo, utilizando estimaciones conocidas del peligro sísmico regional y del conocimiento geológico disponible para el área de estudio; en la que se propone una detallada subdivisión de las condiciones del suelo en términos de categorías tipo del suelo. Fueron seguidas dos aproximaciones: la primera implica el uso de la relación de atenuación suelo-dependiente, la segunda emplea factores de amplificación del suelo para estimados del lecho rocoso. Se hace una comparación en términos de los resultados y contenidos dados, entre la aceleración horizontal pico del suelo y la conversión de ésta en intensidad sísmica.

En este trabajo fue necesario recopilar toda la información ingeniero-geológica y sismológica existente en la región de estudio, la clasificación de los suelos teniendo en cuenta las características litológicas, niveles freáticos, potencia de los estratos y propiedades físico-mecánicas y el catálogo de terremotos fuertes. Igualmente, fue necesaria la implementación de una serie de programas computarizados de alta tecnología como son el Surfer 7.0, AutoCad Map 2000, SEISRISK III, el SIG ArcView 3.2, Corel Draw y Adobe Illustrator. Como resultado final se presentan los mapas del peligro sísmico característico de la región y el de intensidad sísmica, los cuales serán usados para la estimación del riesgo sísmico.

ABSTRACT

Seismic hazard for the Bayamo region (eastern Cuba) is computed taking into account the local soil characteristics. Moving from a wider regional seismic hazard assessment performed in the last years and from the geological map available for the study area, a detailed subdivision of local conditions in terms of soil type categories is here proposed. Two approaches were followed: the first implies the use of soil-related attenuation relations; the second applies soil amplification factors to the bedrock estimates. A comparison in terms of results and meaningfulness is done between the PGA hazard estimates and those in seismic intensity.

In this project was necessary gathering all the engineer-geologic and seismic information in the study region, also the soil classification keeping in mind the litologic characteristic, phreatic levels, strata power and physical-mechanical properties and the strong earthquakes catalogue. In the same way was necessary the implementation of high technology software, they are the SURFER 7.0, AutoCAD Map 2000, SEISRISK III, GIS ArcView 3.2, Corel Draw and Adobe Illustrator. Finally, are shown the characteristic seismic hazard map and the seismic intensity, which are used for the estimation of the seismic risk.



Introducción

La Isla de Cuba se encuentra localizada en el límite de la placa Norte Americana con la Microplaca de Gonave y a lo largo de varios años se han sentido en ella los efectos de terremotos de moderada y gran intensidad. La documentación histórica sobre los terremotos, que repercuten en la isla pueden ser encontradas durante los pasados cinco siglos, desde el comienzo de la colonización española, pero la investigación sismológica comenzó solo en 1855 cuando fue publicado el primer catálogo de terremotos (Poey, 1855a, 1855b).

Bayamo es una importante ciudad localizada en la provincia Granma al este de Cuba con alrededor de 130,000 habitantes. Se encuentra próxima a la zona sismogénica de Oriente, la cual es la principal ZS que afecta a Cuba, en el contacto entre la placa de Norte América y la Microplaca de Gonave. En ella se esperan terremotos de alta magnitud. El primer evento sísmico reportado en Bayamo es el ocurrido en 1522; desde entonces la ciudad sufrió daños otras veces (Chuy, 1999) en 1551 (I=VIII MSK) y 1624 (I=VII MSK). Los terremotos mas recientes sentidos en Bayamo fueron en 1987 y 1988 (ambos con I=V MSK) y el del 25 de Mayo de 1992 (I=VI MSK).

Es por esta razón que en la ciudad durante algunos años se han realizado algunas investigaciones específicas: Torres (1990) realizó un esquema de microzonación sísmica para la ciudad con la caracterización de los suelos basada en el método de analogías ingeniero geológicas, el cual sirvió de base para otro estudio mas detallado Fernández (1990). Fue elaborada la microzonación sísmica por Rivera (2000), la cual compara los resultados previos de la ingeniería geológica con investigaciones instrumentales. Estos resultados fueron usados por Vega et al. (2000) para la valoración del riesgo sísmico con los estimados de vulnerabilidad. Consecuentemente fue evaluada la respuesta dinámica de obras de importancia social en la provincia Granma por González et al. (2000). Recientemente, Rivera (2001) calculó el riesgo sísmico para la ciudad de Bayamo comparando los resultados desde diferentes aproximaciones.

El objetivo del presente trabajo es mejorar la estimación del peligro sísmico por una valoración probabilística para la región de Bayamo para completar los estudios de riesgo sísmico, lo cual no fue posible en los estudios anteriores. El mismo es muy útil para la planificación urbana, proyección de obras y para la preparación de planes en caso de sismos fuertes.

Geología y tectónica de la región de Bayamo.

La ciudad de Bayamo se encuentra localizada en la provincia Granma, al este de Cuba. La parte oriental de la isla de Cuba está caracterizada por relevantes fallas activas, entre las más importantes que influyen en la ciudad de Bayamo se encuentran las fallas Cubitas, Cauto Nipe, Baconao y Oriente (Chuy et al., 1991). Todas estas fallas presentan una baja actividad, con excepción de la falla Oriente, la cual se encuentra a lo largo del profundo sistema de fallas Bartlett-Caimán y es donde se producen los terremotos de mayor magnitud; de hecho, la sismicidad regional depende de esta falla y representa el borde de la zona entre la placa Norteamericana y la Microplaca de Gonave. En la falla activa de Oriente es donde se producen los terremotos de mayor magnitud.

Desde el punto de vista morfoestructural pueden verse dos estructuras importantes en el área de la ciudad de Bayamo (Nagy, 1983), cada una caracterizada por sus formaciones geológicas: El Anticlinorium de la Sierra Maestra y la Cuenca del Cauto (ver descripción en la **Tabla I**). La primera esta constituida fundamentalmente por rocas del Arco de Isla del Paleógeno, que transicionan gradualmente a terrígenas y secuencias carbonatadas o ambos y la segunda esta



constituida por sedimentos típicos terrígeno-carbonatos Neoplatafórmicos de edad Neógeno-Cuaternario.

Peligro sísmico (PGA) dependiente del suelo.

La sismicidad fue modelada en términos de gráficos de frecuencia-magnitud computarizando las proporciones individuales en 100 años teniendo en cuenta diferentes periodos de retorno para los rangos de magnitudes diferentes (García, 2001). Los mapas de peligro tienen validez regional y fueron calculados para 475 años de periodo del retorno (90% no excedencia de la probabilidad en 50 años) siguiendo la aproximación probabilística sismotectónica (Cornell, 1968) y para los diferentes tipos de suelos (roca, suelo duro y suelo blando) por el programa computarizado SEISRISK III (Bender y Perkins, 1987) considerando las relaciones de atenuación para la aceleración horizontal pico del terreno (PGA), Ambraseys et al. (1996) y teniendo en cuenta la desviación normal de las relaciones.

La aproximación de Cornell (1968) basa su método en tres postulados específicos:

- la magnitud de los eventos tiene una distribución exponencial;
- el intervalo de recurrencia forma un proceso de Poisson;
- la sismicidad esta uniformemente distribuida a lo largo de las zonas sismogénicas.

Los pasos básicos del método de Cornell (1968) son los siguientes:

- 1- la definición de las fuentes de terremotos, donde los terremotos ocurren aleatoriamente a lo largo de las líneas (fallas) o dentro de las ZS (sistemas de fallas);
- 2- la definición de las características de la sismicidad recurrente para cada ZS, la cual representa la distribución de la magnitud probable (relación de Gutenberg-Richter);
- 3- la estimación del efecto de los terremotos en un sitio para una relación de atenuación, el cual relaciona los parámetros considerados de movimiento del terreno (ejemplo: PGA), contra la distancia y magnitud, considerando esta asociación con la incertidumbre, la cual es siempre larga;
- 4- el cálculo de la peligrosidad del sitio: los efectos de todos los terremotos de diferentes tamaños ocurridos en diferentes localidades, en diferentes ZS, en diferentes probabilidades de ocurrencia, son integrados en una curva que muestra la probabilidad de excedencia para diferentes niveles de movimiento del terreno (PGA) en un sitio durante un período de tiempo específico. Esta ecuación contiene el tiempo de recurrencia de la distribución de la probabilidad.

El programa de cálculo computarizado SEISRISK III (Bender and Perkins, 1987) permite hacer los cálculos para diferente nivel de período de retorno y requiere como datos de entrada la definición espacial de las zonas sismogeneradoras, la sismicidad estimada (en términos de números promedio de terremotos para intervalos de magnitud) y la relación de atenuación de los parámetros sismológicos escogidos, en este caso PGA.

Para obtener el PGA suelo-dependiente, se tomaron las características locales del suelo, descritas por las diferentes formaciones geológicas presentes en el área. Se usó la clasificación de Ambraseys et al. (1996) para diferenciar las relaciones de atenuación del PGA y la clasificación propuesta por Field et al. (2000) para cuantificar los factores de amplificación del suelo con respecto a la roca.

Las relaciones de atenuación de Ambraseys et al. (1996) fueron calibradas con terremotos europeos para tres tipos de suelo diferentes, roca, suelo duro y suelo blando; las curvas



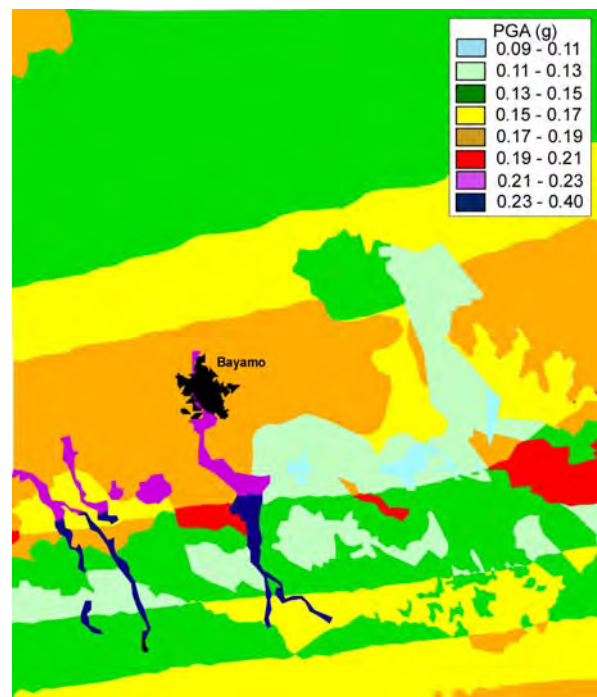
empíricas obtenidas en este estudio, correspondientes al suelo duro y suelo blando, son muy similares, solo difieren de roca (**Tabla I**). Por otro lado, Field et al. (2000) propuso coeficientes de amplificación para los diferentes tipos de suelo con respecto al PGA en el lecho rocoso: basados en la velocidad de la onda cortante en los 30 m superiores (V30). Se estimó V30 para las formaciones geológicas en la región de Bayamo según sus diferentes propiedades geotécnicas: las clases de suelo y los factores de amplificación relacionados (**Tabla I**).

Desde el punto de vista espacial, esta caracterización del suelo no muestra mejores detalles que conforme Ambraseys et al. (1996) en la parte norteña de la región de estudio, mientras los valles, ríos y las rocas de la parte sur se caracterizan mejor. Aunque la caracterización del suelo usada en ambos aproximaciones es basada en la misma evaluación cualitativa de las principales propiedades geotécnicas de las formaciones geológicas, las diferencias en términos de amplificación esperada son notables (sobre todo entre suelo duro y suelo blando), además, Field et al. (2000) separó mejor los diferentes tipos de rocas. Finalmente, las diferentes informaciones acerca de la tipología del suelo y las sacudidas esperadas fueron asociadas por medio de un software de Sistema de Información Geográfica (SIG) hacia todos los sectores espaciales diferentes, identificados anteriormente.

Se pudo obtener el PGA según las diferentes relaciones de atenuación Ambraseys et al. (1996), semejantemente se obtuvieron coeficientes de amplificación para el PGA según Field et al. (2000), en este caso el PGA es evaluado en roca y amplificado con los coeficientes de la **Tabla I**. Para obtener un mapa final unificado de aceleración horizontal pico del terreno se promediaron al 50% los resultados anteriores, el cual se muestra en la **Figura 1**.

Figura 1- Mapa final de aceleración pico del terreno (PGA), combinando los resultados obtenidos por el método de Ambraseys et al. (1996) y el de Field et al. (2000).

El PGA constituye el parámetro físico más usado en la ingeniería sísmica cuando no está disponible un parámetro más completo de peligro sísmico, como la aceleración espectral. Es importante notar que el PGA no representa la ubicación completa del terreno, sino que es un simple punto que no considera factores importantes como la duración del ciclo, frecuencia y energía contenida; no obstante el PGA es un parámetro útil para establecer criterios de diseño en ausencia de relaciones de atenuación dependientes de frecuencias.





Mapas de peligrosidad en intensidad sísmica.

El mapa de peligrosidad sísmica en intensidad para Cuba más reciente (García, 2001) muestra un modelo regular en la región de Bayamo con valores que aumentan de VII MSK a VIII MSK que van de NO a SE. Aunque las relaciones de atenuación usadas en ese estudio son fuentes específicas, ellas no son evidentemente capaces tener en cuenta la respuesta local. En nuestro estudio el valor de PGA tiene que ser transformado en valores de intensidad por el inverso de la relación de Trifunac y Brady (1975). Utilizando la siguiente relación:

$$\log (\text{PGA}) = 0.014 + 0.30 I$$

Esta relación fue calibrada para los rangos de IV a X MM de intensidad, que bruscamente corresponde a los 0.016 a 1.052 g del rango de PGA; como las escalas MM y MSK pueden ser consideradas equivalentes en el rango de interés (Mueller and Mayer-Rosa, 1980), por lo cual podemos decir que la relación es apropiada para nuestros propósitos. La misma ha sido utilizada en estudios anteriores para establecer los estimados probabilísticos empleados en los nuevos códigos constructivos de Cuba.

El mapa de intensidad obtenido se muestra en la **Figura 2**; aquí los valores se encuentran entre VII y VIII MM, acorde con el mapa de intensidad obtenido por García (2001) a una escala regional.

Figura 2- Intensidad sísmica con un periodo de retorno de 475, obtenido por la transformación del PGA usando las fórmulas de Trifunac y Brady (1975).

Debe ser puntualizado que estas estimaciones de intensidad vienen de las estimaciones de PGA con desviación normal de la relación de atenuación empleada, no fue considerada ninguna incertidumbre en el mapa de intensidad regional. La forma de las áreas de intensidad igualmente es controlada por rasgos geológicos y los máximos siguen los depósitos de valles fluviales.

Las relaciones de atenuación, de hecho, son obtenidas por regresión de datos experimentales, donde las intensidades macrosísmicas no son filtradas desde los efectos locales, como el suelo y las amplificaciones morfológicas. Los extensos análisis en este campo pueden mejorar la cuantificación de factores de amplificación regionales.



Conclusiones

- En el estudio presente fueron introducidas las condiciones locales en la estimación probabilística del peligro sísmico regional. Siguiendo dos aproximaciones diferentes: el uso de relaciones de atenuación diferenciadas y la aplicación de coeficientes de amplificación para resultados de peligro referidos al lecho rocoso. Además, se hizo una comparación con



los resultados del peligro expresados en términos de intensidad macrosísmica. Por lo cual se considera como un ejemplo metodológico global de la valoración del peligro probabilístico a regional a una escala local.

- Los mapas de peligro presentados, tienen en cuenta la información geológica detallada disponible para la región de Bayamo, lo cual es importante para la valoración del riesgo sísmico regional.
- La aceleración horizontal pico del terreno (PGA) esperada en ciudad de Bayamo está entre 0.17 y 0.23 g para un 475 años de periodo de retorno, el cual corresponde a una intensidad entre VII y VIII MM. Estos valores no son muy altos pero localiza a la ciudad de Bayamo entre los poblados donde la sismicidad puede representar un riesgo natural.

Bibliografía

- Ambraseys, N.N.; K.A. Simpson, J.J. Bommer, 1996. Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 25, 371-400.
- Barosh, P.J., 1969. Use of seismic intensity data to predict the effects of earthquakes and underground nuclear explosions in various geological settings. U.S. Geological Survey Bulletin 1279.
- Bender, B., D.M. Perkins, 1987. Seisrisk III: a computer program for seismic hazard estimation. U.S. Geological Survey Bulletin 1772, 48 p.
- Cornell C.A., 1968. Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 58 p., 1583-1606.
- Chuy T.J., M. Fundora, M. Rubio, J.L. Alvarez, M. Cotilla, E. Arango, J.R. Hernández, A. Magaz, M. Iturralde-Vinent, F. Sánchez, C. Pérez, E. González, L. Orbera, J. Rodríguez, M.C. Marquetti, R. Ramírez, 1991. Dictamen Conclusivo. Comisión Ad-hoc para la determinación de las Zonas Sismogénicas de la región Oriental de Cuba y zonas aledañas. Reporte Interno 1991/13/CENAIIS and In: Revista Electrónica "Ciencia en su PC", 1993, ISSN 1027-2887, Vol. 2, No. 2, 10 p.
- Chuy T., 1999. Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de Peligrosidad Sísmica. Tesis de Doctor en Ciencias Geofísicas. Instituto de Geofísica y Astronomía, 487 p.
- Evernden J.F., J.M. Thomson, 1985. Predicting seismic intensities. In: Ziony J. I. (ed), *Evaluating earthquake hazards in the Los Angeles region - An earth-science perspective*. U. S. Geological Survey Professional Paper 1360, p. 151-202.
- Fernandez B., 1990. Valoración de los efectos sísmicos por el método de analogías ingeniero-geológicas en la ciudad de Bayamo. Reporte Interno 1990/05/CENAIIS, 25 p.
- Field E.H. and the SCEC Working Group, 2000. Accounting for site effects in probabilistic seismic hazard analysis of Southern California: overview of the SCEC phase III report. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 90, S1-S31.
- García J.A., 2001. Seismic hazard assessment for Cuba and the surrounding area. Report of the Visiting Scientist at Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - ICTP, Trieste, Italy, 86 p.
- González B., R. Oliva, E. Arango, J. García, L. Perez, M. Serrano, A. Fernandez, P. Márquez, I. Vega, G. Morejon, R. Díaz, L. Ortega, E. Hernández, A. Rosa, K. Seo, T. Samano, V. Rodríguez, 2000. Microtremor Measurements for site response and vulnerability analysis in Cuba. Proceedings of the Workshop to Exchange Research Information. Hakone Gora, Kanagawa, Japan. International Scientific Research Program (No 10044139). Joint study on seismic Microzonation in earthquake countries. p. 5-21.
- Mueller S., D. Mayer-Rosa, 1980. The new seismic hazard maps for Switzerland. *Revista Geofísica*, 13, p. 7-19.
- Nagy E., 1983. Contribución a la geología de Cuba Oriental. Instituto de Geología y Paleontología, ACC. Editorial Científico Técnica, La Habana, Cuba, 273 p.
- Poey A., 1855a. Tableau chronologique des tremblements de terre ressentis a l'ile de Cuba de 1551 a 1855. Ghautier-Villars, lprimeur Libraire, Paris, 53 p.
- Poey A., 1855b. Supplemen au tableau chronologique des tremblements de terre ressentis a l'ile de Cuba de 1551 a 1855. Ghautier-Villars, lprimeur Libraire, Paris, 45 p.
- Rivera Z.C., 2000. Microzonificación sísmica de la ciudad de Bayamo M.N. En: Red de Estaciones Sismológicas en Cuba. Editorial Academia. La Habana. Cuba. p. 61-66.



- Rivera Z.C., 2001. Riesgo sísmico para el planeamiento urbano en la ciudad de Bayamo. Tesis de Master en Ciencias Geológicas. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 90 p.
- Trifunac M.D., A.G. Brady, 1975. On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of recorded strong ground motion. Bull. Seismol. Soc. Am., 65, p. 139-162.
- Torres D., 1990. Esquema de microzonación sísmica de la ciudad de Bayamo por el método de analogías ingeniero-geológicas. Tesis de Diploma, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 75 p.
- Vega I., J. Artimez, D. Rodríguez, 2000. Valoración del riesgo sísmico de la ciudad de Bayamo. En: Sismos Perceptibles, Peligro y Vulnerabilidad Sísmica en Cuba. Editorial Academia. La Habana. Cuba. p. 93-102.



Tabla I- Descripción de los suelos (Nagy, 1983) y clasificación para la región de Bayamo acorde con Ambraseys et al. (1996) y Field et al. (2000).

Formación Geologica	Descripción Geologica	g. str.	Amb96	Fie00
bm = Bayamo	Arcilla, arena, areniscas polimigticas con nódulos de calcita, gohetita y fragmentos de ferromanganeso.	b	Suelo Blando	D 1.6
alq = Sedimentos Aluviales	Sedimentos aluviales, capa vegetal, bloques, gravas, arenas y arcillas.	b	Suelo Blando	E 2.5
cau = Cauto	Arcillas, limos, arenas, gravas polimícticas y conglomerados.	b	Suelo Blando	D 1.6
cz = Camazán	Caliza coralino-algaceas, calizas biodetríticas con intercalación de arcilla y marga, ocasionalmente yeso.	a	Suelo Duro	C 1.2
chr = Charco Redondo	Calizas organo-detriticas con brechas y fosiles.	a	Roca	B 1.0
sl = San Luis	Areniscas polimícticas, aleurolitas, marga, arcillas, calizas, arena y conglomerado polimictico, es cortada por diques y cuerpos de basaltos.	a	Suelo Blando	D 1.6
pbo = Puerto de Boniato	Calizas organo-detriticas y margas con intercalación de sílice.	a	Roca	B 1.0
cy = Caney	Alternancia de tobas, tufitas, calizas, lavas, con intercalación de aglomerados.	a	Roca	B 1.0
cob = Grupo El Cobre	Rocas volcánicas, vulcanogeno-sedimentarias, tifitas, lavas, tobas, calizas, cuerpos de diques.	a	Roca	A 0.8
dt = Dátil	Fanglomerados polimícticos masivos.	b	Suelo Blando	E 2.5
ba = Barrancas	Tufitas, areniscas vulcanimícticas y polimícticas, aleurolitas, calizas y tobas.	a	Suelo Duro	C 1.2
mz = Manzanillo	Calizas biodetríticas, arcilla, gravas y arenas de vulcanitas, margas y aleurolitas, fósiles.	b	Suelo Duro	C 1.2
yay = Yayal	Calizas micriticas, aleurolitas y areniscas, intercalación de sílice con radiolarios.	b	Suelo Blando	D 1.6
pd = Miembro Pedernales	Conglomerados polimícticos cementados con clastos de diabasas, gabros y ultramafitas.	b	Roca	B 1.0
mc = Micara	Aleurolitas, brechas, arenisca, arcilla, caliza, marga, gravas, conglomerados y tobas.	a	Suelo Duro	C 1.2
tj = Tejas	Tobas, arenas tobaceas, esquisto, cortado por diques de andesitas	a	Roca	B 1.0
basalt = Dike	Cuerpos de basaltos	a	Roca	A 0.8

g. str. = estrutura geológica: a = Anticlinorium de la Sierra Maestra, b = Cuenca del Cauto; Amb96 = clases acorde con Ambraseys et al. (1996); Fie00 = clases y término de multiplicación acorde con Field et al. (2000);



NECESIDAD DEL ESTUDIO DE MICROZONACION SISMICA PARA LA CIUDAD DE XALAPA, REPUBLICA DE MEXICO

David Hernández Santiago

Universidad Veracruzana. México

Fernando Casas Alemán # 55. Xalapa. México

Email: davidhs340@hotmail.com

Carlos Sacasas León

CUJAE.

Calle 24 # 378 (altos). Entre 23 y 21. Vedado. Ciudad Habana

Email: cs1@civil.ispjae.edu.cu

RESUMEN

Se presenta la argumentación científica de la necesidad de ejecutar en la ciudad de Xalapa, República de México un estudio de Microzonificación Sísmica. Esto toma en consideración que actualmente en esta la ciudad se utilizan las normas que fueron elaboradas atendiendo a las condiciones obtenidas en los trabajos de Microzonificación de la Ciudad de México. Sin embargo es conocido que cada ciudad requiere de sus propias normas tomando en consideración el cambio en las condiciones sismogeológicas.

Se busca incidir en el reglamento de construcciones de Xalapa con un carácter preventivo y en su momento también correctivo. Igualmente se proyecta detectar y señalar las zonas consideradas de alto riesgo sísmico para evitar las construcciones que puedan significar altos niveles de riesgo para la población civil. Se tomaran en cuenta en este caso las cartas geológicas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, datos sísmicos del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

Son presentados también datos y otras informaciones socioeconómicas de la Ciudad de Xalapa como son la distribución de la vivienda, salarios, población, etc. Se evidencia la existencia de una alta correlación entre la densidad de población de bajos ingresos y construcciones de menor calidad en los territorios de mayor riesgo geológico. Se pretende con las recomendaciones que se deriven, la mitigación de los efectos que pudiesen ocasionar los sismos más aún si se toma en consideración que de acuerdo al Período de Retorno ya se espera para esta ciudad la ocurrencia de un sismo de Magnitud Superior a 7 en la Escala de Richter. Otros peligros geológicos y su incidencia en el territorio son también abordados.



EL MOVIMIENTO DE LAS PLACAS EN EL CARIBE Y SUR DE MÉXICO Y EL RIESGO SÍSMICO Y VOLCÁNICO PARA LA EXPLOTACIÓN DE LOS CAMPOS PETROLEROS DE LA SONDA DE CAMPECHE, CUENCAS REFORMA - COMALCALCO Y MACUSPANA.

Juan José Valencia Islas (1) Jorge Jacobo Albarrán.(1) Julio Cerrillo (2)

(1) Instituto Mexicano del Petróleo. Eje Central Lázaro Cárdenas 152 México D.F. c.p. 07730.
jivalen@imp.mx jjacobo@imp.mx

(2) PEMEX Exploración y Producción Región Sur Activo Reforma-Comalcalco. Administrativo Carrizales Tabasco México.

RESUMEN

El riesgo de actividad sísmica y volcánica en el Sureste de México se evalúa, con base en el movimiento de las diferentes placas y bloques del basamento establecidos por medio del análisis tectónico, fallas recientes y la distribución de los focos sísmicos.

Se delimitaron tres bloques de basamento, los cuales se pueden denominar como: basamento de la Plataforma de Yucatán, relicto del Cinturón Maratón Oachita y Corteza adelgazada de la apertura del Golfo de México.

La estructura mas activa, y que representa un alto riesgo sísmico coincide en el área de Cantarell con la zona reflejos múltiples, en la sísmica, que separa a los bloques Ku, Zaap y Maloob. Además en este accidente, se da el cambio de la densidad de los hidrocarburos producidos en esta región.

En la parte terrestre al Sur; ésta estructura toma el nombre de la falla de Xicalango y Macuspana, que en la intersección con la Sierra de Chiapas, en el poblado de Agua Blanca Tabasco, presenta gran riesgo sísmico y volcánico por ser una zona de debilidad de la corteza.

Con lo que respecta a la cuenca de Comalcalco la región con mayor riesgo sísmico es la de Cardenas Tabasco, la cual esta marcada en profundidad por una anomalía de alta susceptibilidad magnética de dirección N-S que se distribuye desde la parte continental a la parte marina; se propone que esta anomalía esta ligada aun cuerpo intrusivo a nivel sublitosférico con una fuerte componente de magmas provenientes del manto de alta susceptibilidad magnética.

Estos datos nos sirvieron de pauta para establecer un plano de riegos geológicos que pueden afectar a esta zona petrolera del país .

ABSTRACT

The of seismic and volcanic hazard in the Southeastern of Mexico is evaluated with base in the movement of the different tectonic plates and basement's blocks determined means of the tectonic analysis, recent fault and the distribution of to seismic focuses.

The faults systems in the sea floor "Sonda de Campeche" are parallels with the basement blocks limits. There are three of blocks: the first know as the Yucatán basement, the second related with the Maraton - Ouachita belt and the last is the thin crust belonging the opening Gulf of Mexico.

In the Cantarell area, the structure more active, representing high seismic risk coincides with the zone multiple reflections on seismic records, that separates to the fields Ku, Zaap and Maloob. Also in this accident, there is change of the density of the hydrocarbons.

In the continental part, this fault takes the name of the "Xicalango- Macuspana" fault. At the intersection with the "Sierra of Chiapas" on the town of Agua Blanca Tabasco, this structure has great seismic and volcanic risk; we think this place is cortical rupture.

About Comalcalco basin, the area with more seismic risk is the town of Cardenas Tabasco. At this place in depth there is a north-south magnetic anomaly tied to a sublithospheric intrusive body.

Whit these data we made a plane of geologic hazard for the oil field.



Introducción

El sureste de México es una región muy importante desde el punto de vista petrolero, en ella se encuentran los campos productores de gas y aceite de la sonda de Campeche, Cuencas de Macuspana y Comalcalco.

Esta parte del país es una región altamente sísmica y aunque existen varios trabajos como el de Chavez *et. al.* (1987) en el que realizan un análisis del riesgo sísmico en varios sitios de la bahía de Campeche, el de Guzman Speziale (1989) en donde estudia la tectónica y la sismicidad ligada a la triple unión de la placas del sureste de México, o el de Vasquez *et. al.* (1992), en el que establece un modelo neotectónico del Sureste de México ligada a la convergencia de las placas Norteamericana Caribe y Cocos; no se han reportado trabajos enfocados a establecer el riesgo que presenta este fenómeno en los campos petroleros.

El presente trabajo con base al movimiento de las placas que convergen en este parte del país aunado, con la integración y análisis de planos: geológicos, magnéticos, gravimétricos, la ubicación y distribución de focos sismos, los planos de fallas que afectan la parte marina de la sonda de Campeche y la terrestre de las Cuencas petroleras del Sureste y verificaciones de campo se establece un plano donde se marca las zonas con mayor riesgos sísmico y volcánico que pueden afectar a las poblaciones de esta parte del país y a la explotación de los campos petroleros.

Localización del área de estudio.

El área de estudio se localiza a en el Sureste de México y se ubica entre las coordenadas 15 Λ y 20 Λ 30' de latitud norte y 91 Λ y 95 Λ de longitud oeste (figura 1).

Tectónica de Placas y su relación con área de estudio.

En el Sureste de México convergen las placas de Cocos, Caribe y Norteamericana que condiciona a la zona de estudio como una región de alto riesgo sísmico (figura 1).

La deformación mas reciente ocurrió en el Mioceno y existe mucha controversia en explicar sus mecanismos de origen. Autores como Hinojosa y Chirinos (1964) Sánchez Montes de Oca (1979) proponen para el Terciario una deformación bajo un concepto de fallas de transcurrencia; sin embargo García Molina (1994), Chaves Valois (1997) documentan deformación puramente compresiva.

Por otra parte Ronquillo y Valencia (2000) para la deformación Miocénica proponen un modelo extrusión tectónica provocada por la subducción diferencial de la placa de Cocos que induce un



movimiento lateral izquierdo en la falla del Istmo; y da origen a una fusión de la placa dando lugar al emplazamiento del Vulcanismo al Sur de los Tuxtlas con la presencia de magmatismo calcoalcalino, determinado por Jacobo Albarrán en 1997.

Además del movimiento lateral en la región de la falla del Istmo; la subducción da un vector de fuerza de tipo compresivo con dirección NE-SW que deforma los sedimentos de las cuencas Terciarias. Mecanismos de este tipo han sido reconocidos en la colisión entre India y Asia, en donde la propagación de la deformación provoca una serie de fallas laterales perpendiculares a la fuerza compresiva principal (figura 2).

El movimiento actual de las placas en esta región ha sido estudiado por Larson, and Chase (1970), Engerbreton et. al. (1985) y actualmente la NASA tiene un sistema de monitoreo de GPS (Sistema de Posicionamiento Global) para determinar la velocidad y los vectores de desplazamiento de las placas. Existe también una serie de programas que calculan la velocidad y establecen la dirección relativa con otras placas como el de Kensaku Tamaki del Ocean Research Institute de la University of Tokyo y publicado en internet.

Con base a estos trabajos observamos que en la región de estudio el vector de movimiento entre la placa de Cocos y la parte sur de México tiene una dirección N 25°E con una velocidad 7.86 cm por año. Con respecto al Sur de México y la placa del Caribe este vector tiene una dirección N 75 E con una velocidad aproximada de 1.19 cm por año. (figura 1).

Establecer el riesgo geológico solamente con el movimiento de las tres grandes placas y asociar todos los fenómenos a los límites de estos, sería muy limitado, ya que en la región de estudio hemos identificado 3 bloques de basamento que podemos asemejar a microplacas; también existen algunas estructuras superficiales que por métodos geofísicos hemos observado que tienen una continuidad hasta el manto y que están asociadas a riesgos geológicos.

Limitación de los bloques de basamento (Micro- placas) y estructuras profundas asociadas.

Los métodos potenciales han sido ampliamente utilizados para el estudio del basamento en la exploración petrolera. Los mapas de anomalías magnéticas y gravimétricas proporcionan información del subsuelo y es una herramienta importante para la evaluación de las cuencas petroleras.



Han sido numerosos los trabajos de modelado geofísico realizados por PEMEX, en el área de estudio, con el objetivo de configurar la cima del basamento; sin embargo son pocas las publicaciones que se encuentran de estos trabajos, además han tenido una interpretación puramente Geofísicas.

Gutierrez en 1995 presenta dos modelos corticales del Sureste de México mediante dos transectos que representan el comportamiento regional de la anomalía de Bouguer. A los datos gravimétricos le integra los de magnetometría, la geología de subsuelo y superficial algunas secciones sísmicas para construir modelos geológicos regionales en los que se define una clara correspondencia con los diferentes estilos estructurales de las provincias geológicas por las que atraviesa; además identifica estructuras dentro del basamento magnético, las cuales las relaciona con la apertura del Golfo de México.

Por nuestra parte al realizar el análisis cualitativo de la carta aéreo -magnética de la república Mexicana integrada por Ornelas (1999) para el área de estudio resalta una anomalía de dirección N - S que se distribuye desde la parte continental a la parte en el área de estudio (Figura 3).

Varios autores del Instituto Mexicano del Petróleo al modelar al profundidad la probable cima del basamento magnético, como Guitierrez 1995, a esta anomalía, la han interpretado como una respuesta provocada por un alto de basamento que se distribuye desde el intrusivo de Santa Fe y el Pozo Villa Allende -1 a la región marina de la sonda de Campeche.

Jacobo y Valencia (2002), por medio de un análisis de proveniencia de terrígenos realizados en las muestras del Jurásico Superior de los pozos Chak, Nix Ekbalam demostraron que la fuente de las cuales se originaron son Volcánicas.

Por otra parte meten en evidencia que la profundidad del modelado del basamento con datos magnéticos no coincide en algunos casos con la profundidad del verdadero basamento. La interpretación sísmica en esta zona revela que el basamento cristalino se localiza a profundidades de hasta 11000 mbnm, cuando por métodos potenciales ha sido calculado de los 6000 a los 8000 mbnm, proponiendo que esta anomalía es debida a la presencia de un cuerpo intrabasamental sublitosférico con una fuerte componente de magmas provenientes del manto de alta susceptibilidad magnética debido a los altos contenidos de MgO y FeO.

Con lo que respecta a la interpretación cualitativa de la Carta gravimétrica de anomalía de Bouger (Figura 4). En ella se delimitan varios dominios gravimétricos que nos marcan los limites de basamento.

El dominio **(I)** caracterizado por una densidad curvas apretadas y concentradas en algunas zonas, lo relacionamos con el basamento que aparece en la Sierra de Chiapas que los hemos denominado como relicto Maraton - Ouachita.



Para el dominio **(II)** muestra curvas sepradas y espaciadas relacionado al Bloque Yucatán y el dominio **(III)** que presenta una densidad de curvas intermedias a las dos y que la hemos relacionado como basamento de las cuencas del Sureste formada correspondiente a una corteza adelgazada y relacionada con la apertura del golfo de México.

Existe un dominio **(IV)** de muy alta densidad de curvas concentrándose en algunos puntos, este domino corresponde tanto a la placa del Pacifico en la región Sur del área de estudio y al complejo Volcánico de los Tuxtlas.

Hemos observado que los límites de estos bloques de basamento corresponden a estructuras que se prolongan hacia la superficie. En el frente de la Sierra observamos una estructura lateral Izquierda de dirección E-W que limita a la Sierra de Chiapas con la planicie de Tabasco y que corresponde también al limite bloque de basamento relícto Maraton Ouachita.

La estructura, que se prolonga desde el escarpe de Campeche al Norte del área de estudio, pasa por los campos de Cantarrell, en la zona fallas que separa a los bloques Ku, Zaap, Maloob. En la parte terrestre al Sur ésta estructura toma el nombre de la falla de Xicalango -Macuspana, finalizando con la falla que limita a la Sierra de Chiapas en el poblado de Agua Blanca Tabasco . Esta falla correspondería al límite entre el basamento de la plataforma de Yucatán y la de las cuencas del Sureste; además en este accidente, se da el cambio de la densidad de los hidrocarburos producidos en esta región. (figura 4).

Existe otra estructura, en la parte occidental del área de estudio de dirección N - S que va de la región de los Tuxtlas al golfo de Tehuantepec, y correspondería a la falla del Itsmo (Meneses 1980) o falla Salina Cruz (Dengo 1986 y Guzmán Spezialez 1989).

Por otra parte se observan una serie de estructuras menores que afectan sedimentos cuaternarios en la región marina de la sonda de Campeche, identificadas por medio los estudios geofísicos realizados para la evaluación de áreas donde se localizarán plataformas petroleras. Muchas de estas anomalías esta ligada a bolsas de gas y manifestaciones superficiales de hidrocarburos.

Sismicidad.

La actividad de estas estructuras y el movimiento de bloques y placas esta representada por sismos. Tomando en cuenta estos fenómenos, se elaboró una base de datos de la profundidad y ubicación de los focos sísmicos de la información del Boletín editado en internet por el Servicio Sismológico Nacional Mexicano. Se recopilaron mas de 1200 datos de sismos que ocurrieron en el área de estudio y su distribución se comparo con las estructuras que limitan al basamento y las placas.



Al localizar en un mapa los focos sísmico, tomando como referencia la profundidad se observa un banda bien definida de ocurrencia de sismos paralela a la costa del pacífico (figura 5) la cual en términos generales nos da la ubicación de la placa.

Para observar como se relacionan los sismos con las estructuras se formaron grupos de profundidades a cada 50 Km. El primer grupo que abarca sismos hasta 50 km de profundidad se distribuye en toda el área de estudio pero lo mas interesante es que en el área de Cantarell se observa la ocurrencia de 7 sismos entre los 10 y 33 Km de profundidad. Es necesario remarcar que estos sismos ocurren muy cerca de la traza de la falla (Xicalango - Cantarell) que separa al basamento de la plataforma de Yucatán con la de las cuencas del Sureste, lo que nos indica que este es un sistema de fallas activas. También observamos líneas de sismos con orientación NE-SW que la mayor incidencia de estos sismos los observamos en la placa del pacífico.

Los sismos de 50 a 100 km de profundidad su ubicación esta mas relacionado con la distribución de la placa y la mayor densidad esta localizada en la costa pacífica. Existe sismos fuera de la influencia de la placa, que se distribuyen en el área de los Campos del la Cuenca de Comalcalco.

Para los sismos entre 100 y 250 Km de profundidad observamos que su distribución esta ligada casi en su totalidad con la ubicación de la placa. Se observa también que son 10 los sismos mas profundo que han ocurrido en el área de estudio.



Factores de Riesgo.

El conocimiento de los bloques del basamento la información de sismos y la ubicación de los eventos volcánicos nos dieron la pauta para construir un plano de riesgo en el que se observa zonas de debilidad de cortical, de alto riesgo sísmico y áreas con alto riesgo volcánico (figura 6).

La región de mayor riesgo geológico que va influir tanto la explotación de los campos petroleros como a sus pobladores es la que se ubica en Agua blanca Tabasco ya que en este lugar en donde inciden tanto un riesgo sísmico por la presencia de la falla de Xicalango, como volcánico por la intersección de los 3 bloques de basamento.

También se observa que la región de los campos de Cantarell es una región sísmicamente activa ligada a un accidente regional que limita al basamento del bloque Yucatán con la corteza adelgazada de las Cuencas del Sureste.

Con lo que respecta a la cuenca de Comalcalco la región con mayor riesgo sísmico es la de Cardenas Tabasco, la cual esta marcada en profundidad por una anomalía de alta susceptibilidad magnética de dirección N-S que se distribuye desde la parte continental a la parte marina; se propone que esta anomalía esta ligada aun cuerpo intrusivo a nivel sublitosférico con una fuerte componente de magmas provenientes del manto de alta susceptibilidad magnética.

Conclusiones.

El sureste de México es una región muy importante desde el punto de vista petrolero, en ella se encuentran los campos productores de gas y aceite de la sonda de Campeche, Cuencas de Macuspan y Comalcalco.

Existe un alto riesgo Sísmico debido al movimiento de la placa de Cocos, la placa del Caribe y Norte América, aunado se puso de evidencia de 3 bloque de basamento que en sus limites encontramos un alto riesgo sísmico como volcánico.

Bibliografía

- Chavez M. Jiménez G. G.1987 Análisis del riesgo sísmico en varios sitios de la bahía de Campeche. Apendice F, Catálogo de eventos Instituto de Ingeniería.
- Chaves Valois V, 1977 Análisis estructural del área lacantún, porción oriental de la sierra de Chiapas. Boletín de la AMGP V. XLVI, Num.1.



- Dengo C. A 1986 Comment on Late Cretaceous allochthons and post-Cretaceous strike-slip displacement along the Cuilco-Chixoy-Polochic fault, Guatemala Tectonics 5 469-472
- Engerbrestson D.C, Cox 1985 Relative motion between oceanic and continental plates in the Pacific basin: Geological Society of America Special Paper 206,59
- García Molina G.1994 Structural Evolution of SE Mexico (Chiapas – Tabasco – Campeche offshore and onshore) Thesis Doctoral of Philosophy Rice University
- Gutierrez y Acosta José. 1995. Estudio en el Sureste de México mediante Transectos. 4º Congreso Internacional da Socieda de Brasileira de Geofísica, Vol. 1, págs.173 -176. Brasil.
- Guzmán Spezialez 1989.Hypocentral cross-sections and arc trench curvature Geofísica Internacional Vol 34, Num 1 pp. 131- 141.
- Hinojosa y Chirinos 1964 Area Copainalá Ixtapa, Chis Informe Gelógico núm 497 Z.S. PEMEX inédito.
- Jacobo Albarrán J., 1997 Studio geologico e petrologico del complesso vulcanico di los Tuxtlas, stato di Veracruz, Messico. Tesis de Doctorado Universita degli Studi di Pisa.
- Jacobo Albarrán J. y Valencia Islas Juan José 2002 Presencia de un cuerpo intrabasamental dentro de las Cuencas del Surete Memorias X Simposio de Geofísica AMGE México.,
- Larson R.L. and Chase C.G.1970, Relative velocites of the Pacific North America and Cocos Plates in the Midedle America Region, Earth and Plan. Sci. Lett vol 7 pp. 425-428.
- Meneses de Gyves, J., 1980. Geología de la Sonda de Campeche. Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., XXXIX (2) : 1-26.
- Ornelas, V.,R.1999. Carta Aeromagnetica de la República Mexicana. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias U.N.A.M.
- Ronquillo Jarillo G. Valencia Islas J. J.2000 Relación de la Tectónica Profunda con la Deformación del Mioceno en la Región del Sureste de México.
- Sánchez Montes de Oca 1979 Geología petrolera de la sierra de Chiapas, Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros vol. XXXI nums 1y2 p. 67-97.
- Vasquez M.M.E., Villaseñor R.Sánchez Q R. Islas C. M. 1992, Neotectónica del Sureste de México. Vol XXXIV Num 3 Julio- Septiembre Revista Instituto Mexicano del Petróleo.

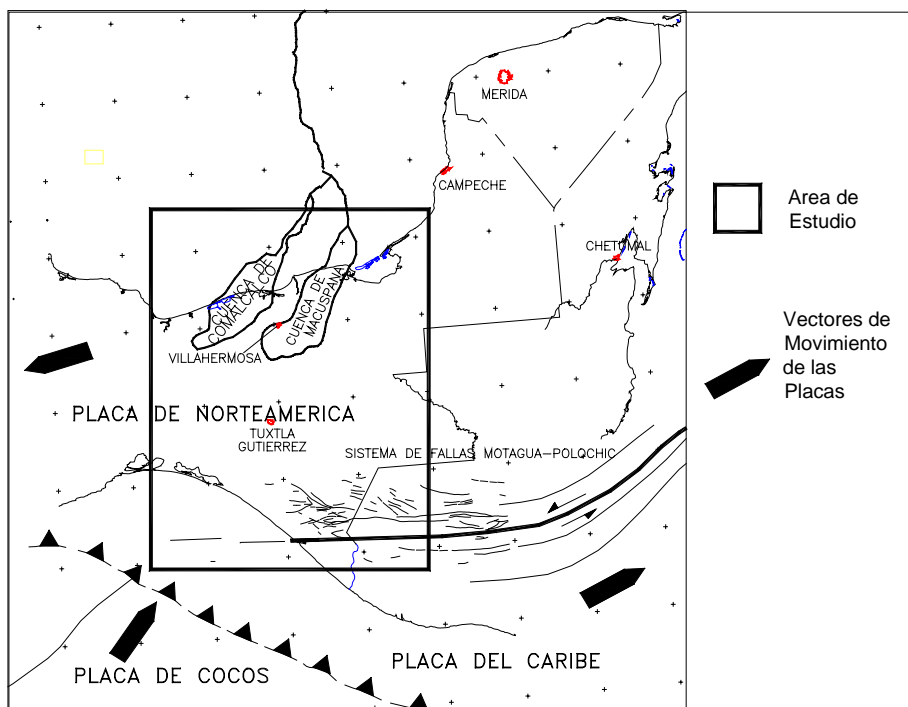


Figura 1 Localización del área de estudio y los vectores de movimiento entre las placas de Cocos, Caribe y Norte América.

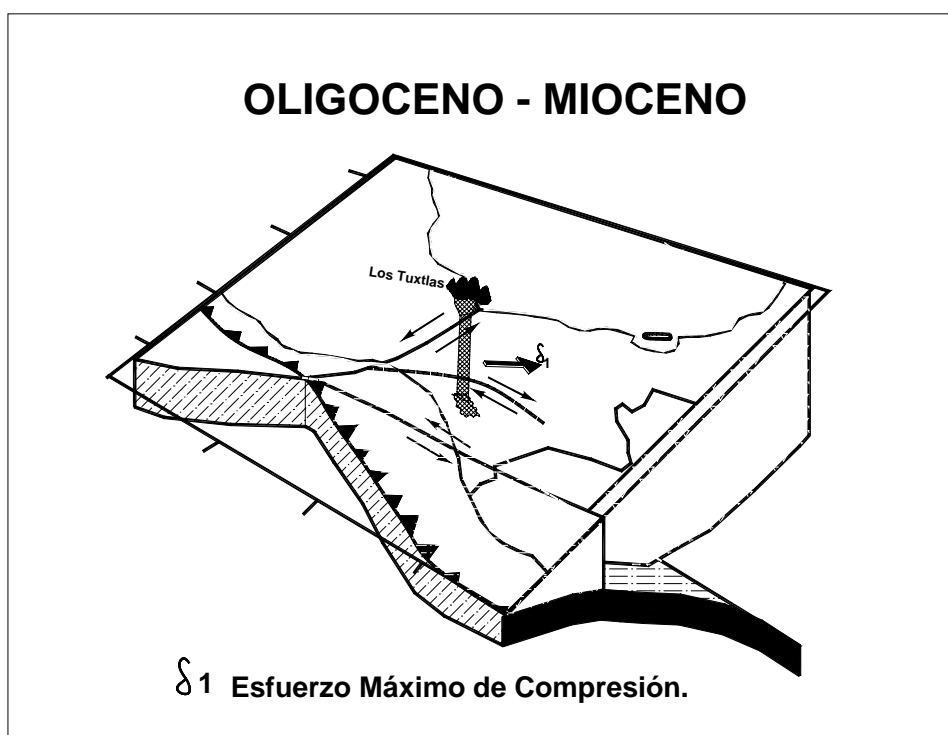


Figura 2 Deformación para el Sureste de México bajo el modelo de extrusión tectónica (Ronquillo y Valencia 2000).

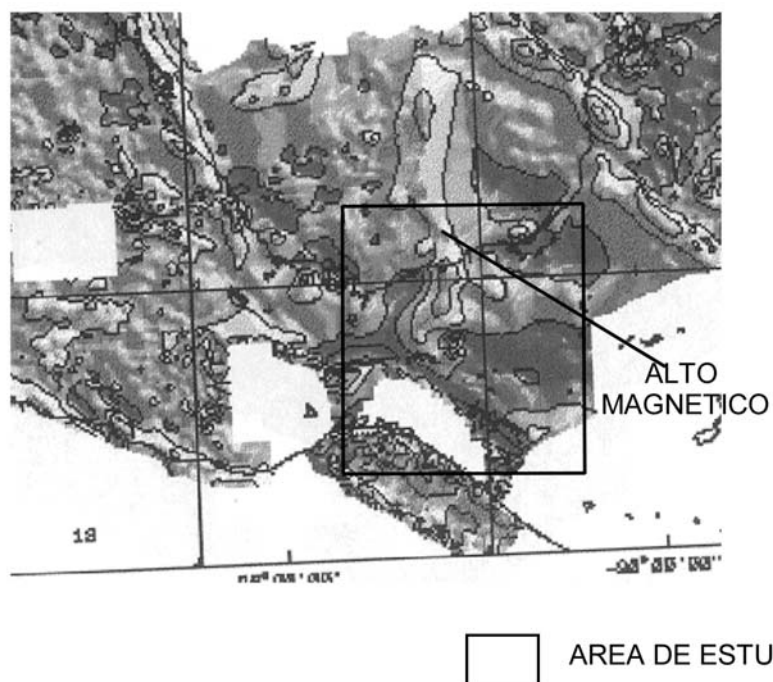
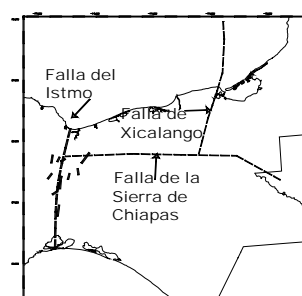
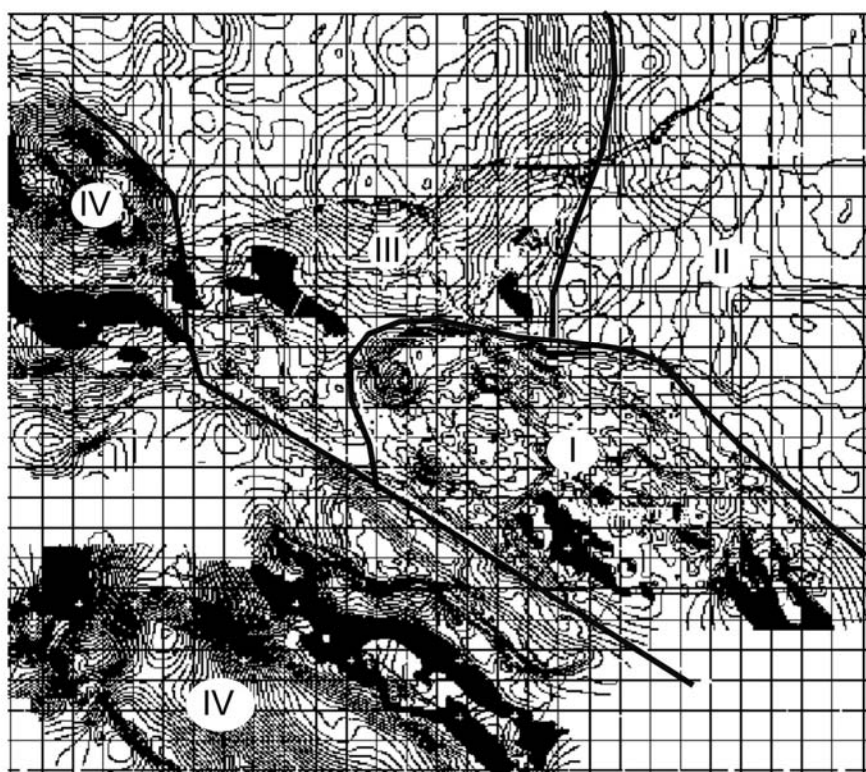


Figura 3 Mapa de anomalía magnética en el cual resalta un alto magnético de dirección N - S. Mapa



editado por Ornelas (1999).



Figura 4 Carta gravimétrica en la que se delimitan varios dominios que nos marcan los límites de basamento. En el recuadro las fallas Superficiales de estos límites.

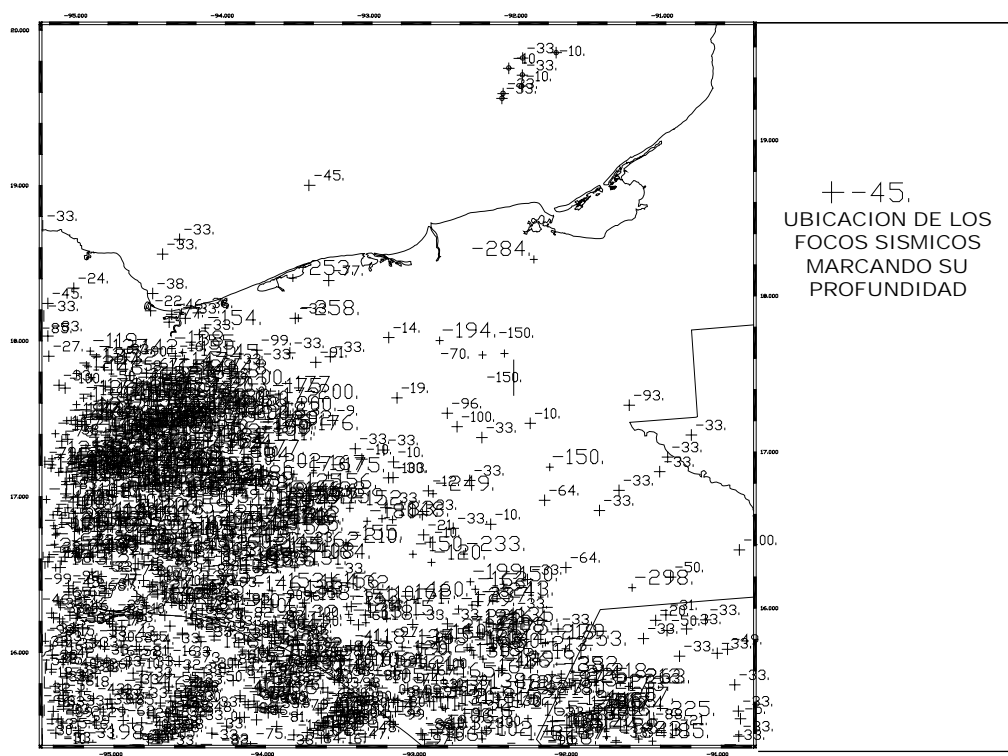


Figura 5 Mapa de los focos sísmico, tomando como referencia la profundidad

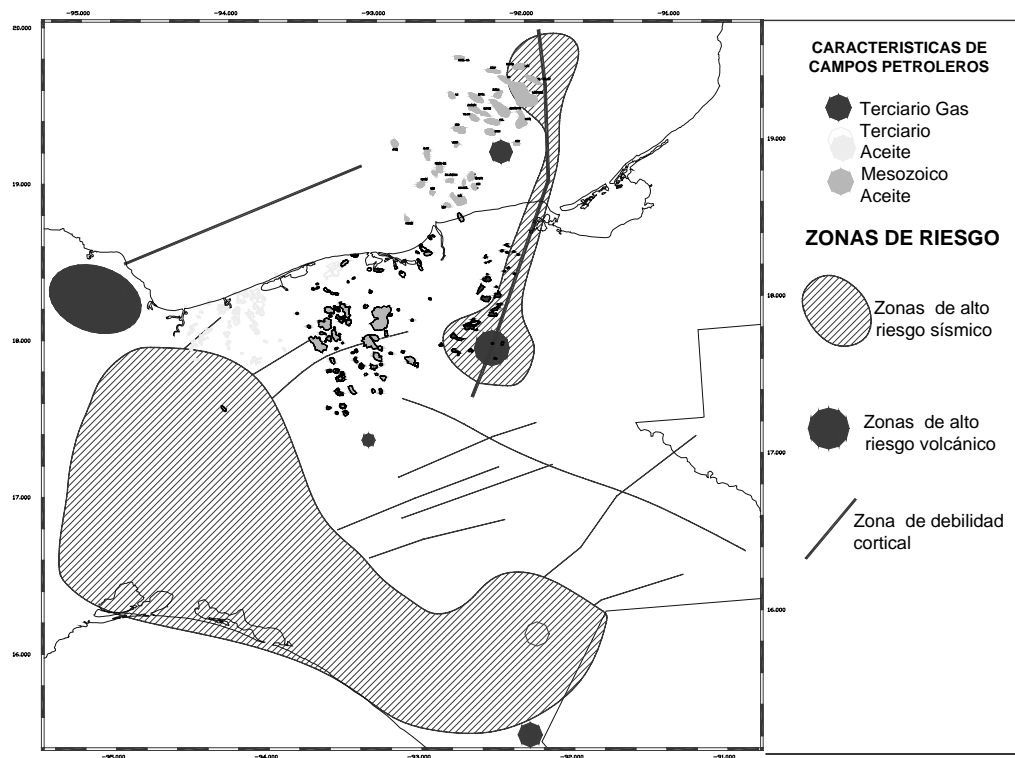


Figura 6 Mapa de riesgos Geológicos en el Sureste de México.



DISEÑO DE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA QUE EVALUA LOS PELIGROS MULTIPLES

Carlos Sacasas León

*Departamento de Geociencias. Facultad de Ingeniería Civil. ISPJAE.
Calle 24 # 378 (altos), entre 23 y 21. Vedado. Ciudad Habana.
e-mail: cs1@civil.ispjae.edu.cu*

RESUMEN

Contar con mapas que expresen los peligros múltiples a los que puede estar sometido un territorio es una herramienta de indudable importancia e interés para las instituciones dedicadas al planeamiento y la prevención entre otros. En Cuba existe una importante cantidad de información, vinculada al medio físico, en diversos formatos de presentación que atesoran un enorme volumen de trabajos científicos realizados fundamentalmente en los últimos cuarenta años. Atendiendo al carácter de los datos y su nivel de accesibilidad se posibilita su inclusión en el mapa en menor o mayor plazo de tiempo.

El establecimiento de una clara comprensión de las necesidades y del problema científico a resolver es una de las tareas que se abordan en el trabajo para lo cual se ha confeccionado una primera versión de un Sistema de Información Geográfico donde se ha resuelto el problema conceptual y sólo se requiere de resolver los problemas particulares que implica aumentar el tipo de peligro a incluir.

Se presenta la Versión 2.1 del Atlas de Peligros Múltiples donde se presentan los peligros de ocurrencia de ciclones tropicales atendiendo al estudio de las trayectorias de todos los eventos que desde 1886 hasta la fecha han afectado el territorio nacional. Se definen y evalúan diferentes parámetros para cada punto del territorio nacional, elaborándose mapas de su distribución geográfica. Entre los parámetros vinculados a los huracanes y que fueron evaluados se encuentran: la Probabilidad de Afectación, Frecuencia de Ocurrencia, Velocidad Promedio de los Vientos y Grado de Peligro.

Se incluyen capas con la información sísmológica publicada y con la información relativa al nivel de peligro a las penetraciones del mar de todos los sectores costeros de la Isla de Cuba. Toda la información relativa a los peligros es vinculada con la información territorial y socioeconómica del país lo que posibilita pasar al estudio de los niveles de riesgo.

Se presentan varios ejemplos de aplicación y el proyecto de extensión con la inclusión de otros peligros naturales y tecnológicos.

ABSTRACT

To have maps that express the multiple dangers to those that it can be subjected a territory is a tool of certain importance and interest for the institutions dedicated to the planning and the prevention among others. In Cuba an important quantity of information exists, linked to the physical means, in diverse presentation formats that you/they store an enormous volume of scientific works carried out fundamentally in the last forty years. Assisting to the character of the data and their level of accessibility is facilitated its inclusion in the map in smaller or bigger term of time.

The establishment of a clear understanding of the necessities and of the scientific problem to solve is one of the tasks that are approached in the work for that which a first version of a Geographical System of Information has been made where he/she has been solved the



conceptual problem and it is only required of solving the particular problems that it implies to increase the type of danger to include.

The Version is presented 2.1 of the Atlas of Multiple Dangers where the dangers of occurrence of tropical hurricanes are presented assisting to the study of the trajectories of all the events that from 1886 so far have affected the national territory. They are defined and they evaluate different parameters for each point of the national territory, being elaborated maps of their geographical distribution. Among the parameters linked to the hurricanes and that they were evaluated they are: the Probability of Affectation, Frequency of Occurrence, Speed Average of the Winds and Grade of Danger.

Layers are included with the published seismological information and with the relative information at the level of danger to the penetrations of the sea of all the coastal sectors of the Island of Cuba. All the relative information to the dangers is linked with the territorial and socioeconomic information of the country what facilitates to pass to the study of the levels of risk.

Several application examples and the extension project are presented with the inclusion of other natural and technological dangers.

Introducción

El estudio de los peligros naturales es una tarea de gran actualidad e importancia. La gran cantidad de información científica acumulada en el país permite que se sistematice y se presente en forma adecuada a la utilización con los fines antes expuestos. En este caso se presenta una amplia información de carácter meteorológico, sismológico y de la dinámica costera. En el caso de la información meteorológica nos limitamos a procesar información estadística no pretendiendo dar explicaciones vinculadas a esa ciencia. La data histórica fue procesada y como todo evento natural es susceptible de un adecuado tratamiento estadístico. En el caso de la información sismológica y la relacionada con las penetraciones del mar las consideramos ambas de fuentes altamente confiables y nos limitamos a representarlas en forma adecuada para su inserción en el Proyecto SIG.

Materiales y Métodos

Para el desarrollo del trabajo fueron utilizados diferentes software con la finalidad de resolver tareas particulares vinculadas a la preparación de los datos y fueron los siguientes: MicrosoftExcel, Surfer y Adobe Photoshop. Varias tareas específicas fueron resueltas con la utilización de los SIG Idrisi32 y MapInfo6.5. Fue utilizado el ArcView3.2 para la elaboración y presentación final del proyecto de aplicación SIG.

La base cartográfica digital de Cuba escala 1:250 000 elaborada por GEOCUBA fue utilizada y en particular el mapa de Cuba con sus divisiones por municipios y su base de datos correspondiente.

Los datos primarios en bruto correspondientes a las trayectorias de los ciclones tropicales que han afectado la región del Atlántico son listados en formato htm bajados de INTERNET (<http://www.nhc.noaa.gov>, <http://weather.terrapin.com/hurricane>). Estos se encuentran libres para su uso en varias fuentes que se señalan en las referencias bibliográficas. Los datos utilizados fueron suministrados al autor por J. Arcos (2002).

La información correspondiente a la sismicidad de Cuba se toma de un artículo de Tomás Chuy en el que presenta los principales resultados de la extensa y detallada investigación



macrosísmica recopilada y sistematizada en Cuba fundamentalmente por ese autor. Esta valiosa información fue publicada en la Revista Geología y Minería del ISMMM.

Fue utilizada además la Información publicada en el boletín digital del INSMET de Cuba en el año 1998 por un colectivo de autores del Instituto de Meteorología y del Instituto de Planificación Física con una detallada y argumentada clasificación de las costas de Cuba atendiendo al peligro que presentan ante la posible ocurrencia de penetraciones del mar.

Toda la información fue elaborada y presentada bajo la concepción de un proyecto general con la información de los Peligros Múltiples del Territorio Nacional de Cuba con escala base 1:250 000 aunque para facilitar el trabajo se realizó una división en subproyectos y que hasta el momento son los siguientes: Huracanes, Sismicidad, Penetraciones del Mar. En la actualidad se trabaja en otros subproyectos relacionados fundamentalmente a los peligros naturales (inundaciones, deslizamientos, erosión y otros).

Resultados y Discusión

Tomando como base los ficheros .htm con la información básica de las trayectorias de todos los ciclones tropicales que afectaron el Atlántico desde 1886 hasta el 2001 se elaboraron tablas con los datos correspondientes a todas las observaciones realizadas que incluían los datos de Latitud, Longitud, Velocidad de los vientos, Presión, Fecha y hora de la medición, así como los datos referentes a su Categoría y Nombre. Estos ficheros fueron elaborados mediante un proceso desde la lectura original de los ficheros .htm obtenida de INTERNET, su transformación en tablas, gráficos de cada trayectoria y la exportación final al sistema ArcView en formato .shp.

Es posible visualizar cada una de las trayectorias o realizar consultas a la base de datos que fue simultáneamente creada con el resumen de la información principal de cada evento (Nombre, año, mes, velocidad de los vientos, categoría). De esta manera se pueden cumplir tareas tales como: mostrar el o los eventos que se quiera atendiendo a los criterios simples o múltiples de selección que están recogidos en la llamada tabla con los datos principales; los eventos, que con las características que se desee, intercepten un municipio cualquiera o un objetivo particular o que su centro haya pasado a determinada distancia; etc. En la Figura 1 se presentan los eventos cuyo centro pasó por encima del municipio Sandino y sus velocidades eran superiores a 120 km/h. En la Tabla I se presenta una muestra de los datos correspondientes a esos eventos.

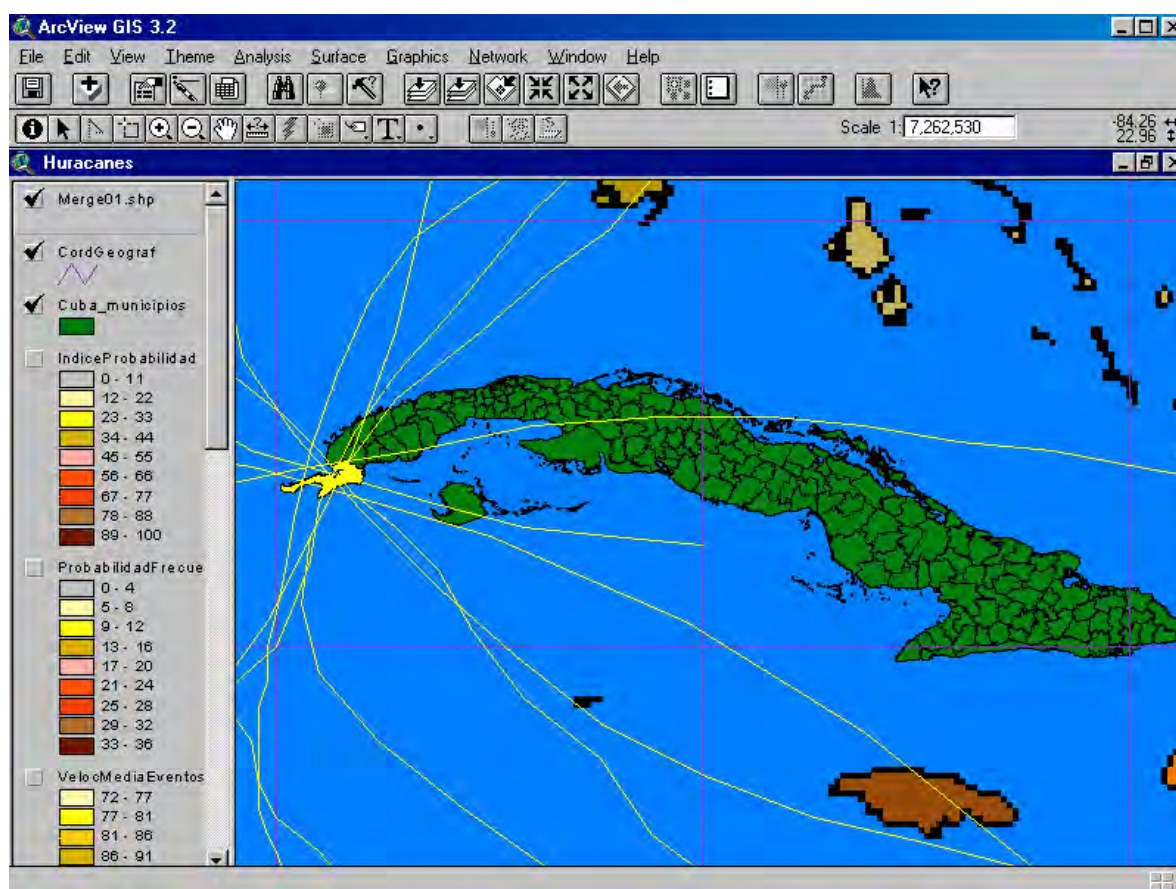


FIGURA 1. Huracanes seleccionados que pasaron sobre el municipio Sandino.

TABLA I. Datos de los eventos mostrados en la figura anterior.

NOMBRE	VELOCIDAD	CATEGORIA	ANO	MES
T1886_7	158	C 2	1886	septiembre
T1888_4	158	C 2	1888	septiembre
T1896_4	185	C 3	1896	septiembre
T1906_8	185	C 3	1906	octubre
T1909_7	149	C 1	1909	septiembre
T1924_7	185	C 3	1924	octubre
T1946_5	185	C 3	1946	octubre
T1964hilda	129	C 1	1964	septiembre
T1964isbell	110	Tormenta Tropical	1964	octubre
Tdat2	158	C 2	1886	septiembre

Con el objetivo de extraer el máximo de información a los datos y darles una expresión cartográfica se procedió a realizar un trabajo combinado de álgebra de mapas con la finalidad de dar respuesta a varios indicadores elaborados por el autor para poder expresar cuantitativamente el grado de peligrosidad ante la ocurrencia de ciclones tropicales. Estos índices son posteriormente evaluados para cada punto del territorio. Los indicadores son los siguientes:



1. Número de ciclones tropicales.
2. Número de huracanes.
3. Probabilidad frecuencial de que un evento que afecte a Cuba lo haga por determinado punto.
4. Indicador de probabilidad (probabilidad normalizada al valor máximo de 100).
5. Frecuencia de ocurrencia de ciclones tropicales en 50 años.
6. Velocidad media de los vientos por ciclones tropicales que han afectado cada punto.
7. Velocidad media de los vientos por huracanes que han afectado cada punto.
8. Índice de velocidad que normaliza al valor 100 la velocidad máxima de vientos en Cuba.
9. Índice complejo de peligro dado por el producto de la probabilidad frecuencial y la velocidad media de vientos por huracanes.

Con el objetivo de poder calcular estos índices, se realizó el cálculo de las bandas de afectación de cada evento. Para ello se definieron tres bandas a ambos lados con radio variable dependiendo de la categoría del evento y partiendo de la premisa que a la franja más cercana se le asigna el valor de velocidad máxima del ciclón y las bandas intermedia y lejana con valores proporcionalmente menores según una ley exponencial decreciente.

Con este procedimiento fue determinado en primer término el número N de eventos que afectaron a cada punto del territorio. Obsérvese que de esta manera estamos evaluando tanto los que azotaron con su mayor fuerza como los que lo hicieron en forma más débil (pero siempre bajo la consideración de afectación ciclónica). Este cálculo se hizo para todos los eventos y para los huracanes por separado.

Para calcular la Probabilidad de afectación se utilizó la expresión de la definición de probabilidad estadística $P=N/M$ donde M es el número de eventos que afectaron a Cuba.

Los restantes indicadores su cálculo es obvio atendiendo a similares criterios. Comentaremos que el índice de peligro que definimos como el producto de velocidad por probabilidad y se normaliza a l valor máximo de 100 une en un solo índice dos magnitudes de gran importancia pero que expresan de diferente manera la peligrosidad de un territorio. Así, los lugares de mayor peligro son aquellos que reúnen la cualidad de ser altamente probable la ocurrencia de un evento y que las velocidades medias de los vientos que históricamente han afectado lo han hecho con la mayor fuerza. Por el contrario los valores más bajos están vinculados a las más bajas probabilidades y los registros más bajos de velocidades de los vientos. Los valores intermedios serán las combinaciones posibles.

El sistema posibilita la consulta de los diferentes mapas generados para cada lugar de interés el cual puede ser un sitio en el cual se ejecutará cierto proceso inversionista o quiere evaluarse el peligro para una instalación existente o un municipio determinado. En la Figura 2 presentamos uno de los mapas en este caso el de Índice de Peligro. En la Tabla II mostramos los indicadores calculados para un sitio en la localidad de La Habana y que fue evaluado en un estudio peligro.

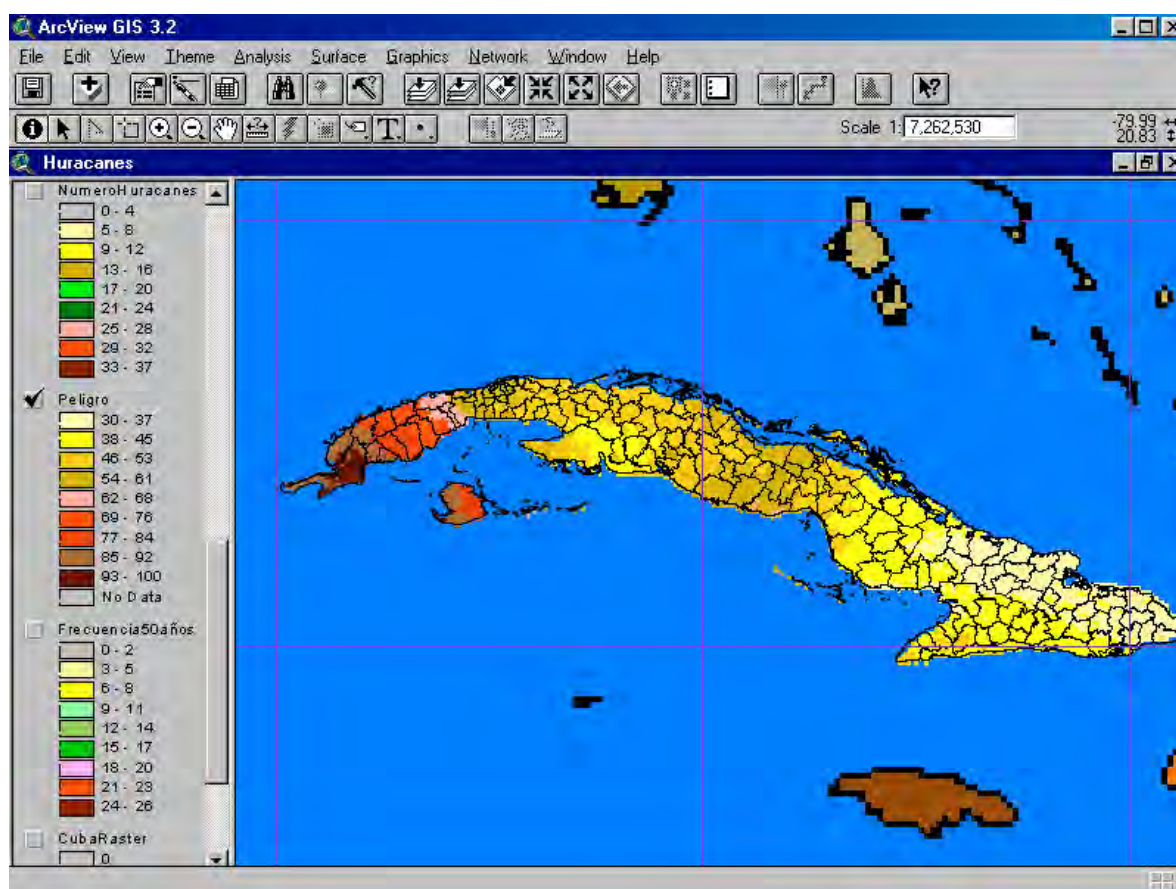


FIGURA 2. Mapa del Indice Complejo de Peligro.

TABLA II. Indices de Peligro.

No.	Indicador	Valor (dimensiones)	Máximo valor algún lugar en Cuba
1	Indice de velocidad	60 (S.D)	100
2	Periodo recurrencia en 50 años	16 (Número)	26
3	Indice de Probabilidad	61 (S.D)	100
4	Probabilidad frecuencial	17 (S.D)	36
5	Velocidad media	83 (km/h)	99
6	Número de eventos	38 (Número)	62

Se completa hasta el momento el Sistema para la Evaluación de los Peligros Múltiples con la información correspondiente a la sismicidad en Cuba según la información aportada por Chuy , T. y la información relativa al nivel de peligro a las penetraciones del mar de los diferentes sectores costeros de Cuba de acuerdo al trabajo publicado por Solar, I. y Col. en el Boletín Electrónico del Instituto de Meteorología de Cuba. En ambos casos es tomada la información, georreferenciada y convertida en subproyectos dentro del proyecto general.



Es propósito del Departamento de Geociencias de la CUJAE continuar el trabajo en este proyecto añadiendo diferentes subproyectos que permitan evaluar otros Peligros Naturales descritos por diferentes instituciones e investigadores cubanos.

Conclusiones

La utilización sistemática de la información cartográfica en formato digital de Cuba, la información científica disponible divulgada en INTERNET y en publicaciones nacionales y las posibilidades dinámicas de la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica nos ha dado la posibilidad de expresar en forma interactiva un alto volumen de información útil a los investigadores de las geociencias, el medio ambiente, el seguro, las administraciones públicas y los órganos de la defensa civil. Esta información está dispuesta de forma tal que puede ser ampliada, mejorada y actualizada en función del aumento del nivel de información.

Bibliografía

- Anónimo, 2000, Introducción a ArcView. <http://www.giscampusorg>
- Chuy Rodríguez, Tomás J. 2000 "Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de peligrosidad sísmica". Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.
- Javier, F. 1995. Tecnología de los Sistemas de Información Geográfica. RA-MA Editorial. 190 p.
- Salas, I; Pérez, R; García, O.; Rodríguez, C.; Pérez, A. (1998). Mapa de Peligro por surgencias de ciclones tropicales. Boletín de SOMETCUBA.



LAS MINAS DE MATAHAMBRE Y LA COMUNIDAD GEOLOGO-MINERA DE CUBA

Mabel Rodríguez Romero

ONRM. Salvador Allende No. 666.e/ Oquendo y Soledad. Centro HABANA. Ciudad de La Habana.
E-mail mabel@onrm.minbas.cu

RESUMEN

EL coto minero de minas de Matahambre comienza a surgir en 1910. Dando lugar en el tiempo a la Mina mas profunda de América, Paso por 4 administraciones, la primera de Portas- Díaz, la de la American Metal Company hasta 1944 , la del Dr. Romagosa hasta 1959 y la administración revolucionaria hasta 1997, momento en que cerro sus operaciones.

Entre 1913 y 1915 lo componían 12 concesiones (909 ha), ampliándose posteriormente en otras 737 ha. La presencia norteamericana caracterizó política, económica y socialmente las prevalecieron en los asentamiento mineros e introdujo también mejoras sustanciales en la tecnología de extracción y beneficio. Todo fue siempre singular en Matahambre, su geografía, su población . Un pueblo que surgía a cada metro que se profundizaba la Mina, donde por generaciones se formaron mineros y luego experimentados especialistas de las geociencias.

Desde el momento del cierre a la fecha, las Minas que fueron declaradas Monumento Nacional el 24 de enero del año 2000 y que constituye un patrimonio geolo-minero, como mina, y como pueblo, se nos pierde, si la Comunidad Geólogo Minera no cierra filas en un esfuerzo multidisciplinario por mantenerla para bien de las geociencias cubana.

ABSTRACT

The mining limit of mines of Matahambre begins to arise in 1910. Giving place in the time to the Mine deeper of America, Step for 4 administrations, the first one of you Portal - Díaz, that of the American Metal Company up to 1944, that of the Dr. Romagosa until 1959 and the revolutionary administration up to 1997, when the operation stopped definitive .

Between 1913 and 1915 they composed it 12 concessions (909 ha), being enlarged later on in other 737 ha.

The North American presence characterised politics, economic and socially the relationships that prevailed in those establishment miners and it also introduced substantial improvements in the extraction, technology and benefit.

Everything was always singular in Matahambre, their geography, their population, and their houses. A town that arose to each meter that you it deepened the Mine, where for generations they were formed mining and then experienced specialists of the geoscience

From the moment of the closing to the date, the Mines that were declared National Monument January of the year 2000 and constitutes a patrimony geology and miner, like mine, and like town, loses us, if the Mining Community Geology doesn't close lines in an effort multidisciplinary to maintain it for well of the Cuban Geoscience

INTRODUCCION

Casi todos sabemos que la Mina de Cobre de Matahambre cerró en 1997, unos mas que otros tenemos la certeza de que el cierre se llevo a cabo bajo la tutela de la Ley de Minas, lo cual es cierto. Pocos conocen que fue declarada Monumento Nacional.

Se cerró la Mina, pero sobre ella hay un pueblo que surgió con ella, quien para el silencio hoy del pulso de las bombas del compresor y el silbato del cambio de turno y anuncio en su momento de alguna que otra desgracia es motivo todavía a 5 años del cierre, de incertidumbre.



Se ha escrito que los pueblos que no defienden su pasado, no pueden enfrentarse al futuro con espíritu de vencedores, pero Matahambre se aferra sola a su historia para conservar, las tradiciones mineras de un pueblo y el oficio y la técnica minera que con el esfuerzo de una buena parte de nuestra Comunidad Geológica y Minera surgida de y por Matahambre se fue conformando turno a turno.

Se dice que " El Patrimonio es de quien lo hereda" pero es que acaso no es también la comunidad geologo-minera del país, legítima heredera de ese patrimonio y por tanto también comprometida con el ? Por eso es necesario que todos vivamos un poco lo que fuera Matahambre un antes y un después del cierre para revitalizar el sentimiento de pertenencia que debemos tener y evitar nuevas exclusiones, que nos convertirían a todos en culpables de cuanto se pueda perder no solo para el pueblo de Matahambre, si no para la buena salud de las Geociencias de Cuba.

EI COMIENZO.

....y al comienzo sólo había Lomas, Pinares y Esperanza

Tras el ganado perdido un hombre encuentra en tierras de Matahambre hermosas y "raras" piedras verdes que le abrieron la esperanza. Fue por 1910, en el NW de Pinar del Río, en lo que se conociera después como la zona 14 ; a 30 Km de Viñales, principal centro Turístico del Occidente del País.

Alfredo Porta, político, casafortuna y farmacéutico de P. del Río, analiza las "piedras" verdes que resultaron tener mucho cobre.

Porta se asoció con el Ing. Manuel Luciano Díaz conocido en el mundo político y económico de La Habana. El 24 de febrero de 1913 ya se constituye la sociedad Minas de Matahambre S. A. por un término de 20 años bajo la gerencia y administración de M. Luciano Díaz y la presidencia de Porta. (Serie Histórica, 1970)

La sociedad Porta-Díaz, afianza su poder sobre las concesiones que iba adquiriendo, se asegura en 1915, mediante expropiación de 668 ha. del usufructo de las producciones de los yacimientos que serían explotados (Minas Santa Isabel, María Rita, Juan Narciso, Gustavo Alfredo, el Ruiseñor, Perseverancia, San Manuel, La Esmeralda, Francisca, Eduardo y Lucrecia) al costo de 500 pesos. Quedando conformado de esta forma el coto minero de Minas de Matahambre.

En abril de 1916 compran los terrenos que tenían bajo arrendamiento al dueño de la finca Matahambre, un lote de 737 ha por 13 500 pesos a los que se añadieron después 30 ha de la finca San Luis de Managuaco a un costo de 200 pesos. Ahora la compañía Minas de Matahambre S. A. podría disfrutar del total usufructo en relación con sus propiedades.

Se consolidó así, el descubrimiento y desarrollo del coto minero Minas de Matahambre y el nacimiento del pueblo del mismo nombre.

MATAHAMBRE HASTA 1960.

Paralelamente a los esfuerzos de la compañía por consolidar sus primeros negocios, comienza la explotación de la concesión de Gustavo Alfredo (Mina de Matahambre) tras la exploración



llevada a cabo por ingenieros norteamericanos de la C. L. Constant, siguiéndoles las aperturas de las concesiones San Manuel, María Rita y Ruiseñor.

La naciente empresa comienza también a afrontar las primeras vicisitudes, no existía experiencia minera en el lugar, los campesinos de la zona recién aprendían el oficio de los obreros españoles que habían sido contratados. El transporte de mineral hacia el puerto de Santa Lucía ubicado a 18 Km era otro escollo a vencer en carretas de 2 tn tiradas por mulos y bueyes alternándose luego con un funicular, lo que constituía un transporte muy caro. No obstante, con su población 100% campesina aspirando a convertirse en minera, oficio más riesgoso, mas duro y sin arraigo, Matahambre surgía como pueblo minero en la superficie y en la profundidad se enraizaba como mina.

La mina comenzó su explotación con el sistema de corte y relleno de estéril, seleccionándose manualmente el mineral a la salida de la galería 4 y luego según se fue profundizando la mina, el mineral fue subiéndose hasta las mesas de concentración. Pero no sólo se bajaba en niveles, sino que las leyes también se empobrecían, lo que unido a una fuerza laboral desmañada, escasa y extenuada en jornadas de 10 horas y con bajos salarios conducía a la compañía a bajos rendimientos productivos, a pesar de la instalación en 1918 del primer concentrador. Por otra parte se requería de nuevas inversiones para aumentar la factibilidad de las operaciones y de mano de obra con oficio, así que la sociedad consideró oportuno buscar otro socio. Este fue la American Metal Corporation.

Luego que geólogos norteamericanos como Hoffmann y Haywards, consultantes de la United States Metal Refining Company se pronunciaron con un dictamen positivo sobre la posibilidad de futuras operaciones con provecho, la American Metal adquiere, en 1921 el 28 % de las acciones, participación que fue incrementándose paulatinamente e impone su régimen de explotación: profundizar hacia niveles inferiores con más alta ley y fácil acceso y retomar los niveles superiores en el momento económico más oportuno.

En 1925 la mina contaba con 16 niveles y 9144 m de galerías y el pueblo con 300 casas de madera y techo de guano siguiendo la alineación de los partes de aguas, lo que se conocería como primera y segunda calle. En la 2^{da}. calle fueron construidos los barracones para los obreros de disimiles nacionalidades que fueron a trabajar a las minas llevados por sus necesidades y convocatorias en pos de conseguir mano de obra calificada. De estos inmigrantes aprendieron el oficio los campesinos venidos a mineros, que poco a poco asimilaron no sólo las técnicas de minería y de los oficios afines, sino la filosofía machista de quien se sabe capaz de ejercer un oficio peligroso que en las condiciones de entonces exigía también temeridad.

Tenia ya Matahambre logia, iglesia y escuela primaria para los lugareños y otra para los hijos de los norteamericanos, pero estaba separada del resto de Cuba geográfica y espiritualmente. La ley en Matahambre era la ley de la compañía tal y como ella lo entendía, la compañía era dueña de todo, casas, bodegas, almacenes, bares, era dueña de la tierra, por encima y por debajo de la superficie.

La American Metal operó durante 22 años y medios, obtuvo ganancias netas en el orden de 12 millones de USD. Era una compañía senior con expansión de tipo monopolista e inversiones en América y Europa. Pensamos que estratégicamente el negocio cubano se le había hecho pequeño y decide retirarse del mismo. Los accionistas cubanos liderados por Ernesto Romagosa, adquieren las acciones pasando la compañía así, a ser netamente cubana, aunque obligatoriamente vinculados a la industria y mercado norteamericanos ya que toda la estructura de producción se encontraba diseñada para consolidar esa dependencia, por otra parte el staff



de los técnicos y la forma de conducir la explotación de la mina continua siendo norteamericana.

Coincidentemente con el cambio de administración, se descubre el cuerpo 44, investigado por el geólogo Pennebaker, que se estuvo explotando hasta el ultimo día de la mina.

La administración cubana continuó explotando las minas, en 1947 se alcanzaron los 1036 m con 34 niveles, y se contaba con el pozo 1(hasta el N 20) ya de ventilación, el 2, pozo principal de transporte y salida del mineral y el pozo 3, también de ventilación. El incremento de reservas de alta ley y la coyuntura de la Guerra de Corea que hizo subir los precios, revitalizaron los buenos momentos de la mina. Hacia 1956 disminuyen tanto las reservas como las leyes y la empresa se ve en la obligación de tomar medidas de contracción disminuyendo la plantilla de trabajadores. Paralelamente a los momentos de altas y bajas por donde transita la empresa en todo este periodo, mantenía una política de diversificación de la producción (negocios madereros, de ganado, expansión minera e investigaciones geológicas en asociación con la Texas Gulf Sulphur Co.).

Por otra parte la comunidad crecía sobre las galerías de la mina desarrollando un sello muy particular, los mineros construyeron las primeras casa de madera tratada y guano con ventanas de guillotina y techo a 4 aguas a lo largo de los parte aguas, de modo que la parte trasera de las casa casi siempre quedaba sobre pilares dada la irregularidad topográfica, con el tiempo, el zinc y la teja sustituyeron al guano, ubicadas en la primera y segunda calle donde vivían preferentemente los mineros de reconocido oficio, próximo al pozo 2 se levantaron bungaloes donde vivía el staff de la compañía y la escuela para niños norteamericanos. En la periferia del pueblo, Pinillo y otros barrios se albergaban las más modestas familias.

La moral burguesa era fuertemente defendida por las familias mas acomodadas nucleadas en torno a la Iglesia, mientras que numerosos garitos, bares y prístibulos ocupaban posiciones más discretas a los ojos de la decencia, pero en todo momento alentados y protegidos por el dueño de todo. El dinero, que enseñaban a derrochar a los mineros, debía circular dentro del mismo pueblo, el arca de salida debía ser la misma de destino.

Mientras, la mina seguía su labor, las zonas productivas se extraían rápidamente decreciendo alarmantemente las reservas técnicas mientras se realizaba la exploración; esta situación, un real agravamiento de las finanzas de la empresa y el temor a las medidas pro-obreras de la Revolución Triunfante completaban la visión pesimista y entorpecedora de los ritmos de producción, por lo que el Gobierno Revolucionario decidió la nacionalización de la empresa el 7 de Julio de 1960.

MATAHAMBRE DE 1960 a 1997

La década del 60 al 70 fue el mejor periodo de la etapa revolucionaria en cuanto a producción de la mina, con un promedio de 140 000 t/a . En estos momentos la asesoría técnica de la mina estaba a cargo de técnicos checos a los que se fueron sumando y/o sustituyendo los cubanos egresados de institutos checos y soviéticos de minería y geología primero y los que se iban formando en nuestra escuela de Ingeniería de Santiago y del mismo Matahambre después. En 1964 visitan las minas el Comandante Ernesto "Che" Guevara, Pedro Miret y Alberto Fernández Montesdeoca para revisar entre otras cosas el estado de la seguridad minera. Aumentó la exigencia de las normas de seguridad y la atención directa a los obreros, los turnos se pactaron a 6 horas, se reforzó el personal técnico con mineros provenientes de las Minas de Charco Redondo. En el ámbito social se saneo la comunidad dando paso a la verdadera decencia, se



creo un taller textil y se fomentaron los servicios públicos como municipio cabecera. Se construyó la Secundaria Básica y se fomentaron las actividades culturales de todo tipo bajo los auspicios de los festivales anuales Pino-Cobre.



1964, Visita a las Minas de Matahambre del Cte Ernesto Che Guevara, Ministro de Industrias, Pedro Miret, Ministro de Minería y Cptan Alberto Fernández Montesdeoca, Director de Mina.

En 1970 la mina se paraliza por si misma, ya que las condiciones de seguridad no permitían la extracción de mineral y se realiza una reparación general, en 1971 Fidel visita la mina y analiza personalmente problemas del presupuesto para la compra de equipos y materiales.

Un nuevo acontecimiento estremecería la vida social del pueblo de las minas, la apertura el 27 de Noviembre de 1971 de la Filial Universitaria, con la colaboración de profesores adjuntos de la Universidad de la Habana y Santiago, del Instituto Tecnológico Vitalio Acuña y técnicos tanto de la Empresa de Geología P. del Río como de la propia mina y planta. Simbólicamente se dio la primera clase al 5to año de Ing. De Minas por el primer ingeniero de minas graduado en Cuba, el Dr. A. Miranda. La apertura de la Filial constituyó uno de los principales eventos culturales y sociales

de Matahambre, contrastando en un principio el sutil desenfado de los jóvenes universitarios con las rudas manifestaciones machistas y prejuicios de los mineros, que en poco tiempo se

fundieron en un sincretismo cultural donde cada parte aportó lo mejor de si.

En 1972 se reinician las operaciones mineras, la mina alcanzaba los 1207 metros de profundidad. Las reservas no se habían incrementado y continuaba su natural agotamiento por extracción, la producción de la década del 70 no sobrepasó las 63 000 t promedio con leyes del 3 %.

Las reservas se agotaban y no eran encontrados nuevos cuerpos, las condiciones minero técnicas se hacían muy difíciles y los costos de operaciones subían mientras al mismo tiempo se deprimía el mercado del cobre. En 1977 ante esta situación surge por primera vez el planteamiento y análisis de un plan de liquidación a 5 años. Sin embargo, no es hasta pasados 20 años que resulta imposible y bajo ningún argumento continuar las operaciones. Así, comienza a llevarse a cabo el proyecto de cierre aprobado por la ONRM en correspondencia con la ley de Minas.

La Mina de Matahambre fue única por su contenido de 5.08 % de cobre promedio, tuvo una recuperación histórica del 95%, se extrajeron de ella 11 623 249 t en sus 83 años de trabajo,



alcanzó una profundidad de explotación de 1502 metros para convertirse en la mina más profunda de América. La profundidad máxima del fondo del pozo fue de 1552 metros. (Emp.Alberto Fdez.,1997)

El proyecto de cierre contemplaba varias etapas a desarrollar en un periodo de 2 años. Los mineros fueron reubicados en otras dependencias de la minería o la geología, algunos pasaron a retiro y otros fueron recalificados en otros oficios y se creó un despalillo de tabaco en los locales que fueran las oficinas de la mina.

La depresión del precio de los metales ha traído una contracción de las investigaciones geológicas y de las inversiones en proyectos mineros de tamaño medio, la minería subterránea aunque mucho menos contaminante que la de cielo abierto, es cara y en las condiciones de la economía cubana de los últimos años prácticamente inviable, por tal motivo también la Mina Júcaro 2 años después del cierre de Matahambre, se vio obligada a cerrar, los mineros fueron reubicados preferentemente en labores agrícolas y otros oficios, pero como gran parte de ellos provenían de Matahambre, hay que considerar que estos sufrían una segunda reubicación. Dentro del municipio Minas-Santa Lucía, el mercado minero de trabajo disminuyó considerablemente, al no abrirse otros proyectos y estar abocados a próximos cierres de otras minas (Ej. Mina Castellano).

Las Minas de Matahambre se ubican en una geografía bellamente montañosa rodeada de pinares, con pobres áreas de cultivo, Con el cierre de la Mina, las prioridades se han desplazado a otros lugares. Moviéndose entre dificultades objetivas y subjetivas, el Poder Popular ha hecho ingentes esfuerzos por conservar, consolidar y poner a disposición de los visitantes algún día, todos los valores patrimoniales heredados, muchos de los cuales, incluyendo sus fabulosa colección de muestras, se encuentran depredados, dispersados y otros desaparecidos del paisaje de las Minas.

Hay un molesto silencio en el pueblo de Matahambre, no hay silbato, no hay aquel latido constante del compresor, sus habitantes recuerdan con añoranza lo que fue y ya no será jamás el pueblo y es evidente que las minas se cierran como se cierran los ojos de los hombres, pero esto último ocurre para que continúe un ciclo de vida y el ciclo de vida de Matahambre, no se ha cerrado, pero necesita de la participación multidisciplinaria de intereses y organismos que potencien un futuro sobre ese pasado reciente; si se deja morir ese pasado, se cerrará el ciclo de vida y querámoslo o no, Matahambre pasará a ser uno de los tantos pueblos fantasmas en que se convierten muchos pueblos mineros o desaparecerá y con él una importante cultura minera y tecnológica.

Muchas variantes de desarrollo y protección de este Patrimonio Minero podrían potenciarse con el apoyo de nuestra Comunidad Geólogo-Minera. Proyectarse quizás, a los denominados ecomuseos o museos abiertos con un alto componente humano, en una población que por otra parte se encuentra técnica y humanísticamente instruida. La denominación, necesaria por otra parte, de algunos geotopos, y de áreas reservadas a la minería en la región unida a proyectos culturales y turísticos ampliarían a futuro el potencial económico de la región. Uno de los Polos Turísticos más importantes de Cuba, el Valle de Viñales relativamente próximo a Minas de Matahambre podría extender su producto turístico a las Minas, fomentando el turismo de ruta, hacer turismo de montaña y terminar en un pintoresco poblado minero de fisonomía única en nuestro país, fisonomía que debemos defender de estilos arquitectónicos que no tienen nada que ver con el pueblo.



Formas deben existir para la conservación de este patrimonio geologo-minero y quienes mejores preparados que la comunidad geólogo minera para movilizar proyectos, apoyar e impulsar ideas que ayuden a conservarlo. Todavía podemos soñar, pero la noche también termina, hay que apurarse.

CONCLUSIONES.

- ♦ El Patrimonio Minero, además de ser responsabilidad local, es de toda la comunidad geólogo- minera del país.
- ♦ No basta ceñirse a la letra de la Ley de Minas, es necesario aferrarse a su espíritu y explorar otras posibles legislaciones que defiendan el patrimonio geólogo minero, como caso particular dentro del patrimonio cultural o crearlas si no existieran.
- ♦ Existe la voluntad de rescatar los valores patrimoniales tanto culturales como geológico del antiguo coto Minero de Minas de Matahambre, enraizar una cultura minera y expandirla mediante las instituciones culturales de la localidad y explotarla económicamente.
- ♦ Cualquier materialización de proyectos de ordenamiento y preservación del patrimonio geólogo minero debe ser multidisciplinario y contar protagonicamente, con el asesoramiento de la comunidad geológica.

Bibliografía.

- 1.-.Serie Histórica N0.19 .ACC. La Habana 1970
- 2.- EMO. Alberto Fdez. Montesdeoca., (1977): Proyecto de Cierre M. de Matahambre. La Habana. ONRM. (m.s.)
- 3- Emp. Alberto Fdez. Montesdeoca., (1997): Expediente de Cierre M. de Matahambre. La Habana. ONRM. (m.s.)



GEODIVERSIDAD EN CUBA: ESTRATEGIA Y METODOLOGÍA EN LA PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO MINERO DE LAS PROVINCIAS DE HOLGUÍN Y GUANTÁNAMO.

Rafael Guardado Lacaba; Luis Enrique Aleaga Aleaga; Yulemis Cobas García.

Instituto Superior Minero Metalúrgico Las Coloradas s/n, Moa, Holguín. CP: 83329 Email: rguardado@ismm.edu.cu

RESUMEN

La preocupación sobre la situación de desconocimiento, deterioro y destrucción de los sitios de posible interés patrimonial desde el punto de vista geológico minero, amerita que se inicie un proceso de inventario de los mismos, para posteriormente reglamentar su protección, conservación, uso y mantenimiento. El proyecto Geosites, de la IUGS y patrocinado también por la UNESCO, persigue la elaboración de un inventario global del patrimonio geológico de la Tierra. Este inventario global requiere una metodología sistemática, basada en la selección en cada país de sus contextos geológicos de trascendencia internacional, nacional, etc. Afortunadamente la geodiversidad y minería cubana ofrece un valioso número de contextos con relevancia internacional; además la calidad de los sitios de interés geológico minero SIGM, (debida a causas climáticas, histórico sociales, culturales y topográficas) permitirá la selección de geotopos ilustrativos.

La región nororiental de las provincias de Holguín y Guantánamo constituyen una de las zonas en Cuba rica por sus características geológicas, minera y metalúrgicas, que son tan variadas como sus rasgos fisiográficos, la historia, cultura y el carácter de su gente.

En este trabajo los autores, hacen una propuesta conceptual y metodológica general para desarrollar el patrimonio geológico minero en nuestro país y la aplican al sector noreste de las provincias Holguín y Guantánamo, región con gran tradición en la geológica y minería. La consideración conjunta de la geodiversidad de la región es un primer paso para la caracterización completa de la diversidad natural y la aplicación de una filosofía del desarrollo sostenible.



INTRODUCCIÓN.

Un proyecto de Patrimonio Geológico y Minero para Cuba debe pretender no sólo iniciar una fase de estructuración para adelantar el inventario de los objetos de interés geocientífico y minero, sino ser el primer paso para la toma de conciencia de la importancia de la conservación del patrimonio geológico minero como parte del patrimonio planetario. La geoconservación es un objetivo primordial para la investigación, educación y capacitación. Las maravillas naturales geológicas merecen el mismo reconocimiento que otros elementos de la naturaleza. La geología es la base de todos los paisajes y de lo biótico; la biodiversidad está determinada en gran medida por la geodiversidad. Del entendimiento del significado de los sitios que muestran el registro geológico tanto natural como el realizado por los humanos para la extracción de sus materias primas resulta el respeto por ellos y la convicción que necesitan ser conservados. Muchos objetos y porciones del paisaje dignos de haber sido protegidos, han sido destruidos contradictoriamente por la explotación irracional de recursos. Afortunadamente la diversidad geológica española suministra un gran número de contextos geológicos con relevancia internacional; además la buena calidad de los afloramientos (debida a causas climáticas y topográficas) permitirá la selección de geotopos ilustrativos.

El proyecto Geosites, en desarrollo por el grupo de trabajo Global Geosites de la IUGS y patrocinado también por la UNESCO, persigue la elaboración de un inventario global del patrimonio geológico de la Tierra. Este inventario global requiere una metodología sistemática, basada en la selección en cada país de sus contextos geológicos de trascendencia internacional. Estos contextos geológicos o frameworks consisten en eventos temáticos, o en elementos cronológicos o geotectónicos regionales. El segundo paso en esta metodología es la selección de los lugares más valiosos y representativos de estos contextos geológicos, denominados geosites (geotopos o lugares de interés geológico).

El patrimonio geológico es parte del patrimonio mundial, ya que los sitios de interés geocientífico, los geotopos, no reconocen fronteras políticas, y más bien crean lazos y contribuyen a trabajos conjuntos. Dado que en todo el mundo se utilizan las mismas clasificaciones de rocas y geomorfología, los mismos nombres para minerales y fósiles, las mismas divisiones del tiempo geológico, es fácil integrar los sitios de interés geológico a una lista mundial.

En lo relacionado con geología, se cuentan, geoformas, miradores, afloramientos, senderos, estructuras, yacimientos o minas, minerales, fósiles, observatorios, museos, centros de investigación, edificaciones y monumentos construidos, enchapados u ornamentados en rocas de especial belleza. Las características relevantes de los subtipos atractivos geoturísticos, son, entre otros: dimensión, altura, calidad y agentes modeladores del paisaje; nombre, definición, litología, edad y origen de unidades; pliegues, fallas, diaclasas; caracterización de las minas, nombre de mineral o roca; clasificación, ambiente y edad de fósiles; señalización sobre peligros geológicos (deslizamientos, zonas de inundación, acantilados, cráteres volcánicos en actividad). Como características relevantes extra geológicas, se tiene en cuenta: infraestructura vial y de acceso, servicios, transporte (tipo y frecuencia), facilidades turísticas, clima, flora y fauna, actividades humanas, significado del atractivo.

Patrimonio geológico, geodiversidad, georecursos culturales o geoconservación son términos aún hoy restringidos a la producción literaria de un selecto grupo de profesionales de la geología que agrupados en herméticas asociaciones de carácter



científico nos lamentamos periódicamente ante el escaso reconocimiento que las distintas Administraciones prestan al patrimonio geológico en las políticas de conservación.

ANTECEDENTES.

Al analizar lo hecho en el campo de la geoconservación a nivel internacional se observa que sólo en la última década ha habido un creciente interés mundial por la conservación del patrimonio geológico. Anteriormente, y en la práctica sólo en el siglo XX, se pensaba en la conservación del patrimonio cultural y de la flora y la fauna.

La *International Union of Geological Sciences* (IUGS) ha creado el *Global Geosites Working Group* (GGWG) para desarrollar el proyecto **Geosites**, iniciado en 1996. Geosites pretende realizar un catálogo internacional de Sitios de Interés Geológico de interés científico y didáctico para la ciencia geológica a escala planetaria. Corresponde a los distintos países identificar, seleccionar y proponer tales Sitios al GGWG. Aún no están suficientemente claro los mecanismos jurídicos que se articularán para la protección de estos Sitios, aunque una de sus finalidades será la de proponer candidatos al *Centro para el Patrimonio Mundial de la UNESCO* para su inclusión en el catálogo de elementos del *Convenio para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural* (Winblendon, W.A.P. et al., 2000). La *IUCN - UNESCO* apoya decididamente el proyecto Geosites, consciente, probablemente, de la desmesurada desproporción existente entre los elementos culturales declarados y los naturales, evidentemente desfavorable a estos últimos.

La propia *UNESCO*, a través de la *Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza* (UICN) es la impulsora de la segunda gran iniciativa relacionada con la protección del patrimonio geológico a escala mundial: el proyecto **Geoparks** (UNESCO, 1999). El proyecto Geoparks pretende identificar una serie de "parques geológicos globales" de especial significación para el desarrollo de fines científicos, educativos y socioeconómicos. Podrían definirse como las "Reservas de la Geosfera", pretendiendo complementar, de hecho, la ya existente Red de Reservas de la Biosfera del programa MaB de la UNESCO (Hombre y Biosfera).

Las dos iniciativas señaladas a escala planetaria suponen de hecho un línea de avance esencial para los geoconservacionistas, no sólo por lo que significan en si mismas, sino porque hará inevitable trasladar el debate de la geoconservación desde los hasta ahora herméticos ámbitos científicos a los administrativos, nacionales primero y autonómicos después.

PROPÓSITOS

Es importante acordar varios aspectos para sacar este tema adelante, como lo son: Definir conceptos, proponer tipos y subtipos de geotopos con sus aspectos a evaluar, la escala y criterios de valoración, la forma de representarlos y los formatos para realizar su inventario

Patrimonio geológico y minero.

El primero de ellos **patrimonio geológico**, quizás del que se pueda proporcionar una definición más precisa y aceptada: **elementos geológicos tales como formaciones y estructuras geológicas, paisajes geomorfológicos, yacimientos paleontológicos y mineralógicos, etc., de significativo valor para reconocer, estudiar e interpretar la historia y la evolución geológica de un determinado ámbito, región o territorio.** Pero ¿porqué es tan importante para la sociedad y no sólo para los geólogos o los



geocientíficos?. Sencillo: se trata de un registro geológico que almacena una valiosísima información acerca de los climas, los ecosistemas y los paisajes del pasado que ayuda a interpretar y reconocer los procesos geológicos, biológicos y ecológicos que acontecen en la actualidad en nuestro planeta; puede decirse, por tanto, que ese registro constituye la **Memoria de la Tierra**. No es posible, por ejemplo, conocer la historia de la vida sin conocer la de nuestro Planeta. Constituye un **Bien Común** que forma parte inseparable del **Patrimonio Natural y Cultural de la Humanidad**. El patrimonio geológico es, por otro lado, un **recurso natural no renovable** y, por tanto, finito, agotable; su destrucción es siempre irreversible, su desaparición conlleva la pérdida de una parte de la memoria de nuestro Planeta.

Cuadro 1. EL PATRIMONIO GEOLÓGICO.

Se considera patrimonio geológico el conjunto de recursos naturales no renovables de valor científico, cultural o educativo que permiten reconocer, estudiar e interpretar la evolución de la historia de la Tierra y los procesos que la han modelado

El registro preservado en los materiales geológicos y en el paisaje actual es único y la mayor parte de él es extremadamente frágil. El aprovechamiento que se hace y el desarrollo de la actividad humana inciden en muchos casos de manera negativa en su buena conservación. El registro que se pierde no puede ser nunca más recuperado debido a su carácter de no renovable e irreparable, y por tanto es urgente la necesidad de comprenderlo y protegerlo..

El único registro de la historia de nuestro planeta se encuentra en los materiales geológicos sobre los que se desarrolla la vida. Las rocas, los fósiles y el paisaje son la memoria de la Tierra. En estos elementos reside la clave para la comprensión de los cambios y los acontecimientos que han tenido lugar en nuestro planeta durante miles de millones de años; la parte más reciente de este registro incluye la evolución de la vida y también del hombre.

La **geodiversidad**, por su parte, siendo un término más impreciso de definir y, sobre todo, de medir mediante indicadores concretos, se relaciona con **la variabilidad que es posible encontrar en un determinado territorio en cuanto al número y la calidad de registros geológicos de interés para la ciencia y la educación**.

El término **georrecurso cultural** amplía el horizonte de definición respecto al de patrimonio geológico y se relaciona íntimamente con el de geodiversidad: una mayor geodiversidad en un territorio va a proporcionar, sin duda, un mayor elenco de georrecurso cultural potencialmente aprovechables en el mismo. Podría definirse en este sentido un georrecurso cultural como un **elemento, conjunto de elementos, lugares o espacios de alto valor geológico que cumplan al menos una de las condiciones siguientes:**

- **que tengan un elevado valor científico y/o didáctico y, por tanto, deban ser objeto tanto de una protección adecuada como de una gestión específica** (concepto, por tanto paralelo, e incluso, si se quiere, idéntico al de patrimonio geológico), o
- **que sean susceptibles de ser utilizados y gestionados como recurso con la finalidad de incrementar la capacidad de atracción global del territorio en el que se ubican y, en consecuencia, de mejorar la calidad de vida de la población de su entorno** (un georrecurso puede no tener un excepcional valor científico pero sí una alta potencialidad para una utilización económica, geoturística, por ejemplo).



La **geoconservación**, por último, define a una **corriente de pensamiento que aboga por la necesidad de poner en práctica políticas activas de conservación del patrimonio geológico y de la geodiversidad**, del mismo modo y con la misma intensidad que las ya avanzadas en materia de conservación del patrimonio biológico y de la biodiversidad, y, preferentemente, de manera no disociada de éstas.

Los términos patrimonio geológico, geodiversidad, georrecursos culturales y geoconservación encuentran sus homólogos, por tanto, en los de patrimonio biológico, biodiversidad, biorrecursos culturales y bioconservación, sin embargo son mucho menos o nada conocidos por el ciudadano medio, familiarizado, no obstante, con los segundos.

A esta tendencia está contribuyendo una circunstancia decisiva: **la observación del patrimonio geológico no sólo como un recurso científico o educativo sino como un recurso económico (georrecurso) de interés en la aplicación de estrategias de desarrollo sostenible (geoturismo) sobre un determinado territorio, especialmente en aquellos declarados espacios naturales protegidos.**

La utilización económica de los georrecursos culturales exige previamente una definición clara de los criterios de uso y gestión de tales elementos, que, a su vez, precisa previamente de una protección legal eficaz de cada uno de ellos, para lo cual es imprescindible, evidentemente, su identificación y valoración. No existe, por el momento, un inventario valorado de este tipo de recursos, ni a nivel nacional, ni en el ámbito de la Provincia de Holguín y el Municipio de Moa.

El patrimonio geológico minero en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

El Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y su Grupo de Patrimonio Geológico Minero deben ser, sin duda, un escenario de referencia en el contexto del Estado Cubano a la hora de coordinar tales estrategias con las políticas de conservación (bioconservación) que viene desarrollando desde hace más de una década.

Sus grandes unidades geológicas provienen de la lenta evolución de antiquísimos océanos y continentes diferentes (**diversidad paleogeográfica**). Alberga una representación de prácticamente todos los tipos de rocas conocidas (**diversidad litológica**). De edades que abarcan toda la escala cronológica del tiempo geológico, desde el oscuro y desconocido Triácico a los tiempos actuales (**diversidad cronológica**). Representativas de múltiples y variados ambientes sedimentarios y biológicos, con un rico registro fósil, que comprende desde las primitivas formas de vida a nuestros antepasados más directos (**diversidad paleontológica**). En las que es posible reconocer todo tipo de eventos y procesos geotectónicos (**diversidad estructural**). Procesos internos que, a su vez, han condicionado la génesis de importantísimos yacimientos minerales (**diversidad mineralógica**). Todo ello modelado externamente por el más completo espectro de procesos morfogenéticos conocidos, desde los relictos sistemas de la Sierra Maestra y Cristal hasta los semi desiertos de Guantánamo, desde los representativos ambientes kársticos y fluvio - kársticos hasta los sistemas fluviales de nuestros ríos actuales y de sus precursores, desde los dinámicos sistemas fluvio - litorales de marismas y estuarios atlánticos hasta los genuinamente eólicos y marinos de acantilados, playas y cordones dunares litorales (**diversidad geomorfológica y paisajística**).

Geodiversidad y patrimonio geológico, en suma, de un incalculable valor para la ciencia geológica, que puede proporcionar, además, un impresionante abanico de georecursos



culturales en las estrategias de desarrollo socioeconómico de la red más extensa de Espacios Naturales Protegidos de la Cuba Otriental.

Por otro lado, bajo la denominación de proyecto **territorial de patrimonio geológico**, el ISMM trabaja en la actualidad en un ambicioso programa cuyo objetivo genérico sería evaluar las posibilidades de acometer la puesta en valor de toda esta riqueza patrimonial bajo la denominación de un producto cultural, didáctico, científico recreativo y turístico común asociado a un itinerario regional que conectaría los espacios de los GEOSITES. Su objetivo final sería, una vez definido el producto, promocionar, bajo una marca única, la red de servicios, infraestructuras y equipamientos de carácter ambiental y cultural de un gran itinerario regional que enlazaría los GEOSITES y otras áreas de valor ambiental y/o cultural en la actual provincia de Holguín, Guantánamo apoyando decididamente con ello las políticas de desarrollo rural en áreas económicamente desfavorecidas y activando la puesta en valor de este tipo de recursos, infrautilizados para estos objetivos concretos.

Hasta fecha reciente, sin embargo, todas estas políticas de puesta en valor de la riqueza patrimonial natural, cultural e infraestructural de los espacios que conforman al territorio antes dicho ha estado orientado básicamente hacia la utilización del patrimonio biológico, ecológico, etnográfico y antropológico. Los georrecursos culturales, sin embargo, no han sido suficientemente considerados, por lo general, como un activo natural y cultural de igual importancia en la oferta educativa y de desarrollo socioeconómico de estos espacios rurales, a pesar de su reconocida riqueza y valor. Parece, por tanto, el momento oportuno de reconducir esta situación. Parece también que se están dando los primeros pasos.

Por lo que se refiere al primer problema histórico, la inexistencia de un marco legal de apoyo a la protección, debe señalarse la aprobación por parte de la Asamblea Nacional del Poder Popular de un Decreto Ley que da soporte legal a la declaración, protección y gestión de los Monumentos Naturales entre los que se incluyen algunas, insuficientes desde luego, **formaciones geológicas y yacimientos paleontológicos de interés científico, elementos singulares del patrimonio geológico y geológico – minero**, etc. Aún así se carece aún de un inventario sistematizado de georrecursos para toda la Comunidad que posibilite tanto su protección como su utilización.

El camino, por tanto, está por recorrer, aunque se ha superado quizás el trayecto más importante, su inicio. A I ISMMM le corresponde ahora esta importante tarea, que, debería fundamentarse sólidamente, en las siguientes líneas de trabajo:

- Establecer los mecanismos precisos para la protección legal efectiva del Patrimonio Geológico mediante la coordinación de las reglamentaciones en materia ambiental, urbanística y territorial.
- Revisar adecuadamente los niveles de protección establecidos para el Patrimonio Geológico. Se dispone en el caso de los Parques Naturales de una oportunidad de oro para ello en el iniciado proceso de revisión y redacción de la segunda generación de los Planes de Ordenación de los Recursos Naturales (PORNs) y Planes Rectores de Uso y Gestión (PRUGs), tras el período de vigencia de los anteriores, redactados hace prácticamente una década.
- Completar sin complejos el catálogo de Monumentos Naturales con aquellos elementos patrimoniales de valor geológico excluidos en la actualidad del territorio de la RENPA.



- Habilitar líneas funcionales de coordinación con el Estado y con los organismos internacionales responsables de desarrollar los proyectos Geosites y Geoparks.
- Establecer una Estrategia sobre Geodiversidad.
- Acometer decididamente el Inventario Cubano de Georecursos Culturales
- Desarrollar instrumentos eficaces que posibiliten la incorporación de los georecursos en las estrategias de desarrollo sostenible del territorio También en este caso el inicio de la redacción y aprobación de los primeros Planes de Desarrollo Sostenible de los Parques Naturales proporciona una magnífica oportunidad para ello.
- Incorporar el espíritu de la geoconservación en los programas escolares y de educación ambiental con la misma intensidad con la que se realiza en materia de bioconservación, utilizando los mecanismos ya establecidos para tal fin.
- Impulsar la componente geológica en la formación y la capacitación en el campo profesional de la interpretación ambiental.

METODOLOGÍA

Una forma práctica es utilizar unos formularios con el fin de tener un inventario de patrimonio geológico, los cuales se pueden adaptar para llenarlos en Excel u otro sistema de base de datos. Unos cuantos países están en el proceso de hacer propuestas y organizar metodologías para el mismo fin. Tras algunas reuniones internacionales a fines de años anteriores, se cuenta con mas consenso y criterios comunes para los formularios; por el momento lo que haga individualmente cada país por su cuenta, será una contribución importante para enriquecer las propuestas definitivas.

TIPOS Y SUBTIPOS DE GEOTOPOS

Geotopos de interés científico:

Localidades tipo donde afloran ejemplos representativos de la historia y evolución de la Tierra y de la Vida: Geositos. Columnas tipo de unidades definidas, perfiles tipo. Estratigráfico, Paleontológico, Mineralógico Paleoclimático, Geomorfológico.

Minero Geotopos de interés didáctico: histórico, científico, cultural

Afloramientos naturales o artificiales que caracterizan algún proceso geológico
Corte de carretera o camino, Mina, Cantera, Excavación
Museos, Centros de investigación, Observatorios vulcanológicos

Geotopos de interés turístico, recreativo, descanso y salud:

Miradores, Senderos, Termas, y de igual modo las minas y canteras

Geotopos relacionados a historia y cultura

Hay geotopos que no se pueden clasificar dentro de un solo tipo o subtipo, pues tienen diferentes intereses y aprovechamientos, y en ellos se encuentran los Mineros.

PARAMETROS PARA INVENTARIAR LOS GEOTOPOS

Una ficha para identificar y caracterizar individualmente un geotopo de acuerdo a todos sus aspectos. Incluye la descripción detallada de sus características específicas de interés científico, didáctico, turístico. Por ejemplo, descripción de columna tipo de la



Formación X, descripción petrológica del afloramiento Y, enumeración de los fósiles de la localidad Z.

Además de todas las variables, lleva las referencias bibliográficas, y si es posible, una fotografía.

ASPECTOS A EVALUAR

Para la evaluación de los Geotopos es importante entrar a considerar un enfoque mucho más amplio. Para ello hacerse unas preguntas generales sobre el aspecto que se quiere valorar, es bastante útil. La Tabla 1 ilustra mejor esta situación.

Tabla #1 : Evaluación de los geotopos.

PREGUNTAS GENERALES A RESPONDER	DIMENSIONES DE VALOR
¿Cuales son las posibilidades de cubrir las necesidades de base? ¿Cuál es el punto de partida para el desarrollo económico y social?	VALOR PARA EL DESARROLLO
¿Cuales son las potencialidades que hacen de la región una zona estratégica? ¿Cuales son las ventajas territoriales que podrían servir de base para impulsar la competitividad y el crecimiento económico?	VALOR ESTRATEGICO
¿Cual es la contribución del medio natural a la calidad de vida del sitio? ¿Existen atractivos patrimoniales y culturales?	VALOR PATRIMONIAL
¿Cuales son los aspectos mas sensibles del medio natural? ¿Cuales son las amenazas que podrían bloquear el desarrollo o afectar el bienestar social?	VALOR DE SENSIBILIDAD

Cada una de las dimensiones de valor tiene una explicación propia desde el medio físico, pero para nuestro caso, hagamos énfasis en el *Valor patrimonial (Vp)* : Se refiere a la disponibilidad de atractivos naturales (espacios y recursos) que por su calidad y su interés (como soporte de vida, como escena natural, como activo para la ciencia) ameritan una consideración especial en cuanto a su durabilidad.



Hay aspectos de valor intrínseco, objetivos y subjetivos, de los Geotopos que dan un valor en sí, independientemente de situaciones ajenas al objeto:

Rareza (singularidad). Hay objetos geocientíficos raros a nivel global hasta local, que por su rareza deben ser protegidos y conservados.

Integridad o Integralidad, en el sentido de Totalidad (todas las partes de una formación compleja). Hay unidades que muestran el total de un proceso o suceso espacial o temporal.

Representatividad de algún proceso o suceso de la historia de la Tierra. Forma típica de representarse ciertos procesos o sucesos.

Prominencia (frente a otros objetos similares). Cuando son múltiples las representaciones, no se pueden inventariar y proteger todas, se escoge las más destacadas, o más accesibles, o más visibles; se reserva otras para casos de falta de las primeras.

Estado de conservación y originalidad. Se escoge los objetos que en lo posible estén sin o con poca intervención humana, lo que no implica que una destrucción parcial amerite descartar un objeto del inventario.

Belleza. Es un concepto subjetivo que, sin embargo, es posible cuantificar según cánones de sentido común.

Cualidad didáctica. Presentación adecuada o no para fines educativos.

Interés científico. Localidades reservadas para estudios posteriores.

Importancia histórico cultural. Sitios donde se localizan minas antiguas, canteras, testigos de catástrofes por fenómenos naturales.

Aspectos de valor extrínseco, que pueden aumentar o disminuir el valor por motivos ajenos al geotopo en sí, no sólo para la investigación, sino para visitas turísticas:

Situación geográfica. Para facilitar visitas, mientras más cerca de centros más poblados, más valor.

Visibilidad. Un objeto puede ser destacable, pero podría ser observable o no en toda su representatividad o magnitud según si se presenta sin o poco meteorizado, no cubierto por vegetación, no urbanizado.

Accesibilidad. La menor o mayor dificultad de acceder al sitio donde se encuentra un objeto de interés.

Originalidad. Nada o poco intervenido por el Hombre, es decir, natural. Pero hay geotopos producidos por el Hombre, que no por no ser natural, son importantes y valiosos, como aquellos resultantes de la actividad humana. Afloramientos en cortes de caminos y carreteras, y en excavaciones resultantes del tendido de infraestructura en general, así como las actividades económicas: minería, canteras.

Importancia internacional, nacional, regional, municipal o local. Por el valor intrínseco del objeto geocientífico, este tiene un valor en una escala espacial.

ESCALA DE VALORACIONES

Para evaluar el geopotencial se viene utilizando una escala de 5 a 1, se adopta la misma escala, significando en este caso, respectivamente, muy alto, alto, regular, bajo y muy bajo interés geocientífico de un geotopo. Cuando el máximo puntaje posible para evaluar un aspecto es 10, se multiplica la escala de valores por dos.

La sumatoria de las valoraciones individuales para cada aspecto da un valor máximo de 100, que sitúa el objeto dentro de cierta jerarquía de 1 a 5. De 0 a 20, jerarquía 1 muy bajo interés geocientífico. De 21 a 40, bajo interés. De 41 a 60, regular interés. De 61 a 80, alto interés. Y de 81 a 100, objeto de muy alto interés geocientífico. Estos criterios se



pueden ordenar como se sugiere en la Tabla 3. En general, para reducir un poco el subjetivismo, las técnicas de grupo como el método Delphi (BAL KEY, N.C. 1968) podría usarse

Tabla # 4: Ejemplos de inventario de sitios de interés geoturístico en las localidades de las provincias de Holguín y Guantánamo

IDENTIFICACIÓN		UBICACIÓN			CARACTERÍSTICAS				
Código	Nombre	Municipio	Distancia más cercana	Vía de acceso	Altitud	Dimensión	Tipo	Subtipo	Características generales
			Nombre	Km.					

CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN

De mayor a menor, de 5 a 1, se valora cada aspecto.

Rareza (singularidad). Muy raro, raro, corriente, común, muy común.

Integridad. Completo (total), casi completo, parcial, incompleto, destruido.

Representatividad de algún proceso o suceso de la historia de la Tierra. Muy representativo, importante, corriente, poco representativo, indiferente.

Prominencia. Único, pocos, varios, suficientes, muchos.

Estado de conservación. Conservado, algo deteriorado, estado aceptable, recuperable, irreparable.

Belleza. Espectacular, bello, agradable, corriente, carente de belleza.

Cualidad didáctica. Muy alta, alta, regular, baja, muy baja.

Interés científico. Muy alto, alto, regular, bajo, muy bajo.

Importancia histórico cultural. Muy alta, alta, regular, baja, muy baja.

Situación geográfica. Muy cerca, cerca, regular, lejos, muy lejos.

Visibilidad. Muy visible, visible, regular, poco visible, invisible.

Acceso. Muy fácil, fácil, regular, difícil, muy difícil.

Originalidad: Sin intervención, poco intervenido, regular intervención, muy intervenido, destruido.

Importancia. Internacional, nacional, regional, municipal, local.

Para ilustrar la propuesta de valoración de los geotopos, en la Tabla 4 se hace la valoración de cada uno de los casos de geoturismo de la Tabla 1.

Tabla 4 Valoración de los geositos para diferentes localidades

NOMBRE DEL ATRACTIVO	VARIABLE	CALIDAD				APOYO			SIGNIFICADO				VALORACIÓN	
	FACTOR	Valor intrínseco	Valor extrínseco	Entorno	Estado de conservación	Acceso	Servicios turist.	Asociados atract.	Local	Regional	Nacional	Internac.	Puntos	Jerarquía
PUNTAJE MÁXIMO		15	15	10	10	10	10	5	2	4	7	12	100	1-2-3-4-5

MECANISMOS DE REPRESENTACIÓN Y SIMBOLOGÍA



Además de elaborar las fichas e inventariar los geotopos, se deberán consignarlos en mapas. Los sitios de ubicación de los diferentes tipos y subtipos de geotopos en los mapas correspondientes, se propone que sean representados con los símbolos convencionales utilizados para fósiles tipo fauna y flora, mina, minerales, miradores, senderos.

Fauna fósil, un amonite estilizado

Flora fósil, una ramita con tres hojitas

Mina, dos picas cruzadas

Minerales, un cristal de cuarzo estilizado

Mirador, líneas en dirección de visual

Sendero, línea con indicación de estaciones de interés

Museo, una M mayúscula

Centros de investigación y observatorios, CI

Geotopos de valor histórico o cultural, "monumento" estilizado

Geositios, una G mayúscula

Estratigrafía, estratos plegados estilizados

IMPACTO CIENTÍFICO, TECNOLÓGICO, SOCIAL Y ECONOMICO

Hay una serie de objetos geocientíficos cuya inclusión en un listado de geotopos pertenecientes al patrimonio geológico de la nación permite su conservación para fines de investigación científica. La posibilidad de estudiar los fenómenos de la Naturaleza ocurridos a través de la historia geológica permite comprender los fenómenos que ocurren en el presente y los que ocurrirán en el futuro, muchos de los cuales si son catastróficos, pueden servir como herramienta para el ordenamiento territorial y la planificación de todo tipo de obras.

Además de la aplicación en prevención de desastres, lo cual tiene un impacto social y económico fundamental, y tener en cuenta los geotopos en los planes de ordenamiento territorial, muchos sitios son aptos para aprovecharse económicamente con fines turísticos y eco turísticos, generando empleos directos e indirectos en prestación de servicios.

El interés por la salvaguarda del patrimonio geológico ha crecido fuertemente desde la Declaración internacional de Digne (1991), con motivo del I Simposio Internacional sobre Patrimonio Geológico

El registro preservado en los materiales geológicos y en el paisaje actual es único y la mayor parte de él es extremadamente frágil. El aprovechamiento que se hace y el desarrollo de la actividad humana inciden en muchos casos de manera negativa en su buena conservación. El registro que se pierde no puede ser nunca más recuperado debido a su carácter de no renovable e irreparable, y por tanto es urgente la necesidad de comprenderlo y protegerlo.

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



CONCLUSIONES

En el reciente Informe de la Comisión Mundial de Cultura y Desarrollo de la UNESCO, que lleva el significativo título de *Nuestra diversidad creativa* (1997), se constataba que “la humanidad invierte cada vez más en ‘el futuro del pasado’”, es decir, en la preservación de su patrimonio cultural (Hampâté, 1997: 120). El proyecto de inventario y de catálogo del patrimonio geológico minero en la región Olgúin Guantánamo utiliza las denominaciones de geótopo y de geozona para nombrar respectivamente los puntos o los lugares y las áreas de interés geológico, cuya consideración por parte de los particulares y de la Administración deberá tenerse en cuenta.

El proyecto de patrimonio geológico minero del ISMMM recomienda que usar el geo turismo de patrimonio geológico minero ayuda mitiga amenazas a la conservación de la Geodiversidad, podría volverse un cianótico en otra parte para las iniciativas, donde las demandas de turistas pueden ser equilibradas con las necesidades y las tradiciones culturales de personas locales, el paisaje y ambiente. Trabajando con gerentes, industria y personas locales los sitios de patrimonio geológico minero apunta para reunir educación de conservación y planea, el desarrollo comercial, entrenamiento y marketing techniques para crear a un modelo por usar turismo para promover la protección de habitats importantes. Una parte importante del proyecto es involucrar a operadores de la gira en sitio las actividades específicas para crear productos de turismo mejores y los sistemas de dirección sustentables. El proyecto de geositos de patrimonio geológico minero aseguran ese turismo sustentable y no impacta estos lugares negativamente. Pero hay también el problema de por qué los geositos necesitan desarrollar turismo en el primer lugar - para generar ingreso para los parques y los incentivos económicos para las comunidades locales.

La puesta en valor del PGYM requiere:

- Participación y coordinación de todas las entidades publicas
- Conducción a mejorar el ambiente
- Hace necesaria la participación y el compromiso de todos los sectores de la comunidad.
- La necesidad de la formación de profesionales en la temática.
- Crear un marco legal apropiado que garantice la protección y conservación del PGYM
- Contribuye de forma global al desarrollo sostenible
- Elaborar lenguaje y metodología
- Puede llevarse a cabo, tanto o durante como después de la actividad minera.
- Requiere de una gestión integral
- Requiere del ordenamiento territorial.
- Su inclusión en la evaluación del impacto ambiental.
- Genera una cultura que debe ser considerada patrimonio.
- Contribuye a mejorar la imagen de la minería y la geología.
- Es el marco idóneo de acercamiento a la ciencia y tecnología de la sociedad.
- Contemplarse en los proyectos de cierre de minas.
- El PGYM no tiene frontera.
- Un aspecto importante a considerar en la puesta de valores del PGYM es la seguridad de las instalaciones.

La defensa del patrimonio geológico minero como componente cultural, turístico, científico, académico etc, puede ser un instrumento eficaz para defender



un futuro sustentable, pero la crítica cultural y la transgresión creativa siguen siendo tan necesarias como la conservación.

RECOMENDACIONES

Con estas propuestas de trabajo, una vez que se hayan homologadas por las diferentes entidades, se debe implementar un plan piloto en unas u otras localidades, para ensayar el modelo y hacerles los ajustes o modificaciones necesarias. De igual modo, una vez adelantada la lista de los geotopos, se debe proponer qué protección requiere cada objeto y qué usos se le debe dar; Según la valoración de cada uno de sus aspectos y sus diferentes usos posibles, se les clasifica el grados de protección necesarios para cada caso. En una fase posterior se tendría que definir su mantenimiento, y de dónde saldrían los fondos para ello.

La Discusión en redes temáticas, chats, listas de correo y seminarios internacionales, ONG's, podrán constituirse en garantes este Patrimonio Geológico nuestro mientras sea respetado, disfrutado, apreciado, aprovechado y sobre todo conservado, por las diferentes generaciones que lo visiten.

Proponer a la Comisión Nacional de Patrimonio el desarrollo del programa que permita conservar los geositos y puntos de interés geológico mineros del país.

Bibliografía

CLEAL, C. J.; THOMAS, B. A. 1999. A Provisional World List of Geosites for Palaeozoic Palaeobotany.

<http://ibs.uel.ac.uk/ibs/palaeo/pfr2/geosites.htm>

GARCÍA CORTES, A., BARETTINO, D. y GALLEGU, E. (2000): Inventario y catalogación del Patrimonio Geológico español. Revisión histórica y propuestas de futuro". *Patrimonio Geológico: Conservación y Gestión*. D. Barettino, W.A. P. Wimbledon y E. Gallego (eds) pp 51 – 71. Madrid (España), 2000.

GREEN, M.J.B. & PAINE, J. (1997): State of the world's protected areas at the end of the Twentieth Century. *Proceedings, IUCN/WCPA Symposium on Protected Areas in the 21st Century: from islands to networks*. Albany, Australia, November 1997, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, U.K., 35 pp.

ProGEO. 1999. The European Association for the Conservation of the Geological Heritage. <http://www.sgu.se/progeo/>

STRASSER, A. et al. 1995. Geotope und der Schutz erdwissenschaftlicher Objekte in der Schweiz: ein Strategiebericht. Arbeitsgruppe Geotopschutz Schweiz, Fribourg. 27 p.

UNESCO (1999): unesco Geoparks Programme. Proc 156th Session of UNESCO Executive Board, 156 Ex/11, Paris, France, 11 March, 1999, 4 pp.

WIMBLENDON, W.A.P, ISHCENKO, A.A, GERASIMENKO, N.P., KARIS, L.O.SUOMINEN, V. JOHANSSON, C.E Y FREDEN,C. (2000): Proyecto Geosites, una iniciativa de la Unión Internacional de las Ciencias Geológicas (IUGS). La ciencia respaldada por la Conservación. *Patrimonio Geológico: Conservación y Gestión*. D. Barettino, W.A. P. Wimbledon y E. Gallego (eds) pp 73 – 100. Madrid (España), 2000.

WIMBLENDON, W. A. P. 1996. Geosites. ProGEO News, N° 4. 5 p. Stockholm.
(http://www.sgu.se/progeo/news/96_4f/geosite.html)



CONCEPTOS y DEFINICIONES

Patrimonio geológico: Por patrimonio geológico se entienden los georecursos renovables y no renovables, los vestigios geológicos, formados y dejados por la acción geológica de la fuerza motriz interior y exterior durante prolongados períodos históricos geológicos de la evolución del globo terráqueo. Constituye parte importante del ambiente ecológico. Los **Lugares de Interés Geológico** son áreas o zonas que muestran una o varias características consideradas de importancia dentro de la historia geológica de una región natural. Son recursos no renovables de carácter cultural que conforman el Patrimonio Geológico de una región. Conjunto de objetos y sitios pertenecientes a la “memoria” de la Tierra. No son patrimonio de países individuales, sino de toda la Humanidad y de todas las formas de vivientes.

Geotopos: son porciones espacialmente delimitadas de la geoesfera con un significado geológico, geomorfológico o geoecológico especial. Pueden ser estáticos o activos. Deben conservarse para las futuras generaciones. Deben preservarse de influencias que alteren su sustancia, estructura, forma o evolución natural (Strasser et al, 1995). Es sinónimo de objeto de interés geocientífico.

Geosítios: propuesta de traducción de *geosites* (Wimbledon, W. A. P. 1996) para significar sitios de interés global para el inventario que permite la reconstrucción de la historia de la Tierra y de la Vida, y las correlaciones a nivel mundial.

Geoconservación: conservación del patrimonio geológico representado en los geotopos y los geosítios.

Inventario: listado de los geotopos. Incluye su valoración o evaluación.

Geotopos de interés científico: aquellos que permiten ser investigados por profesionales de las diferentes ramas de las geociencias para obtener resultados sobre la historia y evolución de la Tierra y de la Vida, de procesos geomorfológicos y cambios de clima.

Geotopos de interés didáctico: aquellos que se utilizan con fines educativos desde el nivel pre-escolar a universitario; también son útiles en ecoturismo.

Geotopos de interés escénico: paisajes que pueden ser aprovechados con fines turísticos.



1. ANEXOS.

Anexo 1

Tabla #1 Clasificación del patrimonio geológico cubano. Rafael Guardado Lacaba

No.	Tipo de patrimonio geológico	Características conceptuales.
1	Estratigráfico	Se representan por capas, secuencias de fenómenos sedimentarios, estratos, formaciones geológicas, complejos geológicos estructurales, otros.
2	Tectónico	Representado por fallas, pliegues, ventanas tectónicas singulares, estilos deformacionales de indudable valor
3	Geomorfología	Formas singulares del relieve, características geológicas que le confiere al terreno una fisiografía donde predominan los relieves escarpados. Esta condición se ve incrementada por la acción de diferentes procesos y fenómenos geológicos que generan diferentes formas superficiales de cauces fluviales que excavan profundos desfiladeros y valles, terrazas marinas, cárnicas y otros complejos paisajísticos de alto valor.
4	Petrológico y mineralógico	Aquellas rocas y minerales, complejos litológicos que generan un valor geológico, educativo, cultural, científico y económico.
6	Paleontológico y Geológico Histórico.	Por su naturaleza se une lo geológico con lo biológico, en ello se interrelacionan los elementos biogeológicos o paleontológicos representando los diferentes periodos de evolución del territorio, región etc., incluido el testimonio de la vida. Los fósiles juegan un elemento clave. Lo componen los grandes ejemplos didácticos que han sido testimonio de singularidad paleogeográfica evolutiva y de la Geología Histórica de la región.
7	Geológico Económico	Componen los distintos cuerpos meníferos, yacimientos minerales útiles de singular importancia económica y científica. Menas, enriquecimiento mineral de alto valor científico, educativo, cultural etc.
8	Hidrogeológico	Componen los diferentes sitios de complejos acuíferos, tipos de aguas minerales, medicinales, otros.
9	Ingeniero Geológico y Geoambiental.	Se representan aquellos sitios de gran interés geotécnico y geomecánico, que tiene gran incidencia antrópica, zonas de deslizamientos, erosión, carsificación, hundimiento, expansión de arcillas, sismicidad etc., actividad antrópica sobre el medio geológico de alto valor.



Tabla # 2: División de los terrenos con fines patrimoniales. Rafael Guardado Lacaba

Parque geológico patrimonial	Aquellos terrenos que reflejan un marcado interés geológico ambiental
Sector geológico patrimonial	Aquellos sectores de terrenos o territorios que reflejan un interés geológico ambiental
Monumento geológico	Aquellos afloramientos que reflejan interés geológico ambiental

Figura 1. Ficha de los diferentes sitios de interés geológico.

1	Código: 0.313					
2	Nombre: Paisaje geomorfológico Yunque de Baracoa					
	Tipo: Geología					
	Subtipo: Paisaje geomorfológico					
3	Ubicación	<table border="1"> <tr> <td>X</td> <td>736 000</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>190 000</td> </tr> </table>	X	736 000	Y	190 000
X	736 000					
Y	190 000					
	Distancia centro más cercano	3 Km. de Baracoa				
	Altitud:	560 metros				
	VALORACION					
4	Situación geográfica	5 Buena				
	Viabilidad	5 Carretera				
	Acceso	5 Fácil				
	Originalidad	5 Natural				
5	Rareza	10 Único en la				
	Integridad	10 integridad				
	Representatividad	10 Representación de los fenómenos cársticos				
	Prominencia	10 Varios kilómetros cuadrados				
6	Estado de conservación	10 Buena				
	Belleza	5 Espectacular				
	Cualidades didácticas	10 Fines educativos y geoturísticos				
	Interés científico	10 Estudios de Espeleología y el carso				
7	Importancia histórico-cultural	5 Incremento del conocimiento y la cultura de la región				
	Puntos	100				
	Jerarquía	5 Muy alto interés geocientífico				
	Descripción					
	<p>Monte tutelar de la Ciudad Primada de Cuba, con 560 metros de altitud que yace sobre tobas volcánicas sedimentarias originalmente en el lecho de un mar. Esta mesa presenta un imprescindible carso que comienza a poco más de 400 metros de altitud, completamente perforado por casimbas, furnias, diente de perro y cuevas; cubierto por un bosque en gran parte formado por Majaguas. Las furnias permiten la rápida infiltración del agua de lluvia, la que es así conducida hasta el contacto con las tobas, donde comienza a circular más o menos horizontalmente en el contacto estratigráfico, entre ambas formaciones</p>					



NUEVOS RESULTADOS DE LAS INVESTIGACIONES GEOFÍSICAS PARA EL PROYECTO PREPARACIÓN PARA EMERGENCIAS SÍSMICAS EN LA MUNICIPALIDAD DE PILÓN.

Eric M. Escobar Pérez

Sociedad Cubana de Geología, Filial Santiago. Bloque R-97 Apartamento 9, Distrito José Martí, Santiago de Cuba Email: tonyp@copextelsc.co.cu

RESUMEN

Durante los meses de Mayo-Junio del 2002, se realizaron investigaciones geofísicas de campo en el Municipio de Pílon, provincia Granma, para el proyecto preparación para emergencias sísmicas en la municipalidad de Pílon.

Para la interpretación geofísica se utilizaron software, tales como RESIXP para la interpretación de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) y los sistemas Surfer 7.0, AutoCAD Map R2, el sistema Geosoft para el procesamiento de los datos magnéticos, así como el programa WIN 2D Inversión, de M.H.Loke (1997) para la interpretación de la Tomografía Eléctrica. Se incluyeron los datos anteriores de Sondeos Eléctricos Verticales realizados en el año 1987 para el acueducto de Pílon, conformando así la red de investigación con los trabajos presentes. Sobre el área poblacional se densificó la red de puntos de SEV.

Los resultados alcanzados muestran las características de los campos físicos regionales del bloque Pílon y en particular de la cuenca Pílon. El estudio de la intrusión salina en los depósitos aluviales, su extensión lateral y en profundidad, constituyen los resultados principales del conocimiento de las características ingeniero-geológicas de la cuenca, mostrando las heterogeneidades, complejidad y alternancia de los sedimentos cuaternarios.

Como dato interesante de la interpretación magnética (transformación de la ecuación homogénea de Euler) es que desde el punto de vista estructural vemos una imagen sobre la cuenca Pílon, que proponemos sea la presencia en profundidad de un intrusivo granitoideo cubierto por parte del paleógeno y las formaciones cuaternarias. Todas estas conclusiones se correlacionan con los demás datos sísmológicos y geológicos obtenidos en estas últimas investigaciones.



ATLAS AMBIENTAL DEL MUNICIPIO BAUTA

Ing. José F. Alcaide Orpí, Lic. Efrén Jaimez Salgado, Ing. Jorge Olivera Acosta, Esp. Mario Guerra Oliva, Lic. Rosa Leal Ramírez, Msc. Ernesto Rocamora Alvarez, Lic. Ismael Hernández de la Oliva, Ing. Betty Gutiérrez Pérez.

Instituto de Geofísica y Astronomía. Calle 212 No. 2906 e/ 29 y 31. La Coronela, La Lisa, Ciudad de La Habana, Cuba. C. Eléct: alcaide@iga.cu

RESUMEN

El Atlas ambiental del municipio Bauta, constituye un importante resultado del proyecto titulado: "Evaluación ambiental integral del municipio Bauta"; para la obtención del mismo fueron elaborados un grupo de mapas temáticos que sirven para caracterizar y definir el estado actual del medio ambiente en el territorio estudiado.

Para la obtención de los diferentes mapas del resultado, se partió inicialmente de la valiosa información recopilada durante la etapa de diagnóstico ambiental de dicho territorio, aportadas por las direcciones e instituciones del municipio (Poder Popular, Dirección de Servicios Comunes, Dirección Municipal de Salud, , Estado Mayor de la Defensa, Dirección de Higiene y Epidemiología, Geocuba y otras) donde se brindó de manera general, una actualización del estado en que se encuentran las diferentes direcciones municipales, y una breve caracterización del estado del medio ambiente del territorio.

Para la confección de todos los esquemas y mapas en soporte digital, se utilizaron varios programas informáticos o softwares, Los principales softwares empleados fueron: MapInfo Profesional 5.0 y Surfer 7.0 realizándose la georeferenciación sobre una base cartográfica apropiada. La escala de los mapas presentados, va acorde con la información inicial que se contó, para esto se utilizó la escala mas detallada y actualizada que se dispuso

Los resultados obtenidos, lo constituyen un grupo de esquemas y mapas temáticos que se podrán ser utilizados para investigar el alcance y las causas de los principales problemas ambientales detectados en las diferentes etapas de trabajo, que abordaron los estudios de este proyecto de investigación y constituyen un valioso instrumento para la educación y la gestión ambiental que podrá ser utilizado por los organos competentes del territorio del municipio Bauta.

ABSTRACT

The Bauta environmental Map is an important result in the project of Bauta's Environmental Evolution. For that result some thematic maps were prepared , which is able to both characterized and define the environment current state of the study area.

The final maps from this territory were obtained by using all the valuable information gathered during the environmental diagnosis stage. This information was supplied by municipality institutions environmental management, Geocuba and some others). They updated us on the status of the different municipality regions and also gave us a brief characterization on the status of the environment within the territory.

In order to make all the digital maps and the associated information , several computer programs were used. Among them, we can mention: MapInfo Professional 5.0 and Surfer 7.0, noting that the georeferencing was executed from a suitable cartographic base. The scales of the presented maps was selected in accordance with the initial available information, so the most updated and detailed scale was used to show all the results.

The results obtained in this investigation might play an important roll in getting the education and the environmental manages. This information will be available to be used by those organisms and institution of the territory for a more efficient environmental management.



Introducción

La elaboración de obras cartográficas complejas, reflejan un elevado nivel de estudio geocientífico en los territorios, a la vez que sirven de base para la realización de nuevos trabajos de investigación, planificación, ordenamiento territorial y toma de decisiones operativas de acuerdo a la escala planificada. La integración temática de los materiales tratados junto a la generalización de las investigaciones precedentes permiten incorporar la dimensión ambiental en el análisis de las condiciones geológicas de los territorios estudiados y enriquecer el conocimiento del medio ambiente en Cuba.

El Atlas ambiental y su texto explicativo, así como las bases de datos integradas a estos, desarrollados sobre un Sistema de Información Geográfico (SIG) constituyen un resultado importante resultado del proyecto financiado por el CITMA provincial de La Habana, titulado: "Evaluación ambiental integral del municipio Bauta", [Alcaide, J., 2001].

La investigación tuvo como objetivo general realizar la valoración del estado del medioambiente con vista a mejorar la planificación y gestión ambiental del territorio.

Para la obtención de este resultado fueron elaborados un conjunto de mapas temáticos que permiten caracterizar y representar el estado actual del medio ambiente en el territorio sobre una base cartográfica adecuada, posibilitando al mismo tiempo investigar las causas, el alcance, y las perspectivas de los principales problemas ambientales (naturales y/o antrópicos) detectados en las diferentes etapas de trabajo, [Alcaide, J. 2001; Díaz M. 1998]

Materiales y métodos empleados.

Los materiales que sirvieron de base para el desarrollo del trabajo se relacionan a continuación:

- Hojas Cartográficas a escala 25 000, del territorio estudiado.
- Fotos aéreas a escala 1:37 000 y 1:62 000 del territorio seleccionado.
- Datos aportados por la Dirección de Arquitectura y Urbanismo, Acueducto y Alcantarillado, Salud Pública, Higiene y Epidemiología, Servicios Comunes, Estado Mayor de la Defensa Civil y los Órganos de Dirección del Gobierno (Poderes Populares) del municipio estudiado.
- Mapas temáticos especializados (Geológico, Geomorfológico, Genético de suelo, Uso Actual de Suelos) realizados o revisados por los autores y que sirven de herramientas bases para la obtención de otros mapas, [Alcaide J., 2001].

Se utilizaron para el procesamiento de la información los siguientes softwares : SURFER V.7, MapInfo. V.5.5, Vertical Map. V.2.5, para las bases de datos se utilizó el Excel 2000 y como texto para la memoria escrita el Word 2000.

Los objetivos en los cuales se fundamentó el trabajo fueron los siguientes:

- Sistematizar, actualizar y generalizar las evaluaciones geoambientales realizados anteriormente en estos municipios, en una obra única.
- Disponer de una base informativa multidisciplinaria, con una adecuada precisión cartográfica, que sirviera de partida, para evaluar las transformaciones del medio natural (geológico) y la influencia del medio socioeconómico del territorio en su estado.



- Proporcionar un nivel de conocimiento geocientífico homogéneo para todos los territorios en contenido y formas de presentación de los resultados que sirvan de base para la planificación de trabajos posteriores.
- Caracterizar las condiciones ambientales basándose en el estudio del medio geológico que permite identificar los principales problemas que constituyen peligros para la comunidad.
- Desarrollar la cartografía automatizada, (implementación de un SIG) que permitirá de forma operativa realizar la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes sobre los aspectos que inciden en la protección ambiental y el manejo sostenible del geosistema y otros componentes medio ambientales.
- Desarrollar una base de datos para los componentes del medio geológico y socioeconómico soportados sobre un SIG, lo que permitirá la actualización y monitoreo de los problemas ambientales detectados.
- Suministrar a los órganos de dirección del gobierno de todos los elementos que sobre amenazas geológicas y ambientales están presentes en el territorio y las medidas para su eliminación o atenuación de los efectos existentes.

Para la obtención de los diferentes Mapas temáticos del resultado se siguió la siguiente secuencia de trabajo:

- Valoración de los antecedentes y estado actual de la temática tratada, esta incluye la realización de un análisis bibliográfico completo sobre los trabajos anteriores en el territorio estudiado, así como la búsqueda, consulta, recopilación y análisis de la información especializada tanto nacional como extranjera, [Cendrero A. 1999].
- Reconocimiento del territorio (realización del inventario Ambiental), esto incluye la visita del territorio por el grupo multidisciplinario de especialistas en las diversas temáticas que serán tratadas.
- Determinación de la estructura temática de la obra. Aquí se determinan los mapas con sus contenidos a partir de la valoración de la bibliografía consultada (componentes del medio Físico y del medio socio-económico que integrarán los mapas temáticos), las escalas de trabajo y de representación, las formas de salidas, así como la definición del colectivo de autores, coautores y colaboradores que forman parte del trabajo.
- Representación cartográfica, tabular y literal de los resultados. Se definen las salidas de los resultados propuestos, formatos de impresión, memoria explicativa a los mapas, bases de datos, etc.

Resultados y Discusión:

Algunos de los mapas temáticos obtenidos fueron:

Mapas temáticos del medio físico:

- Mapa geológico: El mapa Geológico se obtuvo del levantamiento geológico a escala 1: 50 000 de la provincia de La Habana, Iturralde M. , 1985. Con el auxilio de este mapa se confeccionaron los mapas Ingeniero Geológico , el geomorfológico y el mapa Hidrogeológico. (Figura # 1)

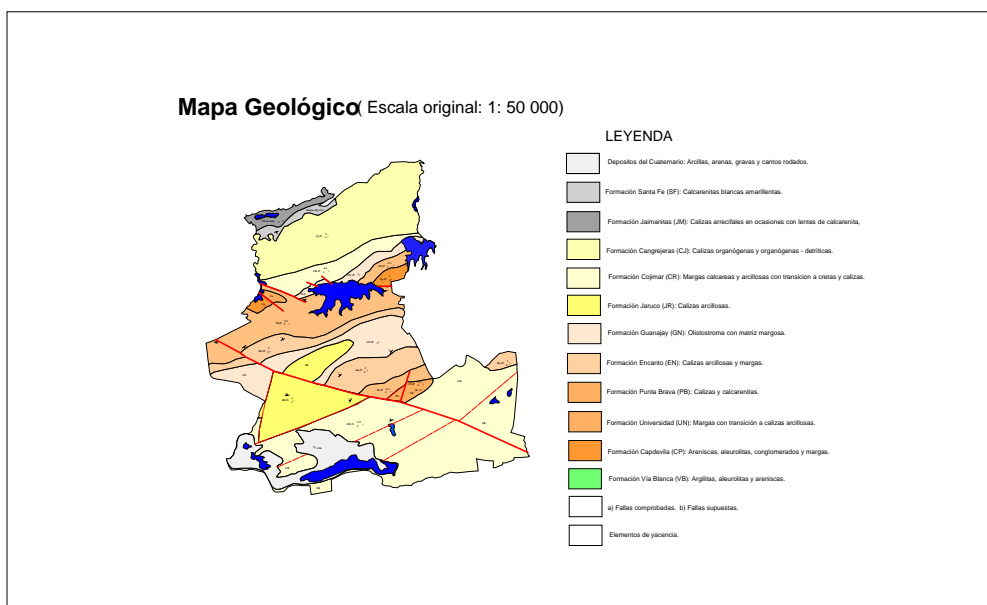


Figura # 1: Mapa Geológico.

- **Mapa Geomorfológico:** La interpretación geomorfológica y su representación cartográfica, se realizó sobre la base de las hojas cartográficas existentes escalas 1: 25 000, también se utilizaron las fotos aéreas a diferentes escalas existentes. El resultado de la interpretación de gabinete, fue validado con recorridos de campos que abarcaron los diferentes tipos de relieves presentes en el territorio estudiado. (Figura # 2)

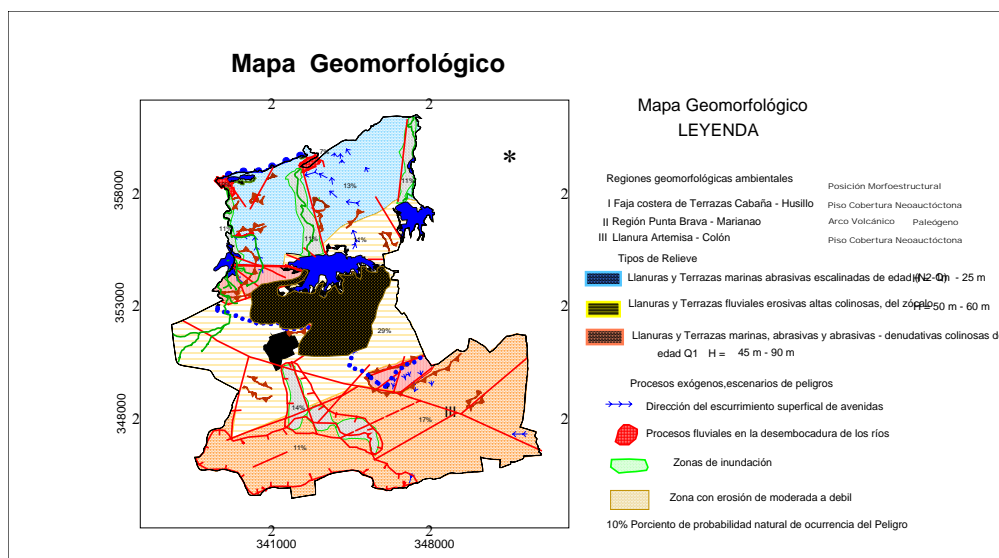


Figura # 2: Mapa Geomorfológico

- **Modelo Digital de Elevación del Terreno y el Mapa de la Red Hidrográfica:** Teniendo en cuenta la existencia de hojas cartográficas con escala 1:10 000, se procedió a la preparación de las mismas para la digitalización de todos los datos que intervienen en la confección del Modelo Digital del Relieve (MDR), para ello se trazaron todas las corrientes superficiales que existen en el área (Cañadas, ríos y corrientes intermitentes) con su correspondiente ordenamiento fluvial. Todos los datos (red de drenaje, curvas de



nivel, puntos de cimas y depresiones) fueron digitalizados y a partir de ellos, se generó una matriz regular mediante el software Surfer, utilizando el método Kriging de interpolación, con un radio de influencia de 300 metros y ocho puntos por octante, quedando una matriz resultante con una densidad de 10 000 puntos por km². La cual fue correctamente validada por la total correspondencia con las curvas de nivel de las hojas topográficas. Posteriormente fue pasado el grid a formato MapInfo y procesado en dicho Software.

- Mapa de Erosión Actual de los Suelos: Los criterios empleados en este trabajo para la estimación de la erosión actual de los suelos del área de estudio, se basaron en la determinación cuantitativa del % de pérdidas por horizontes pedológicos, y la ayuda que ofrece el uso simultáneo del sombreado del Modelo Digital de Elevación (MDE) del relieve. (Figura # 3)

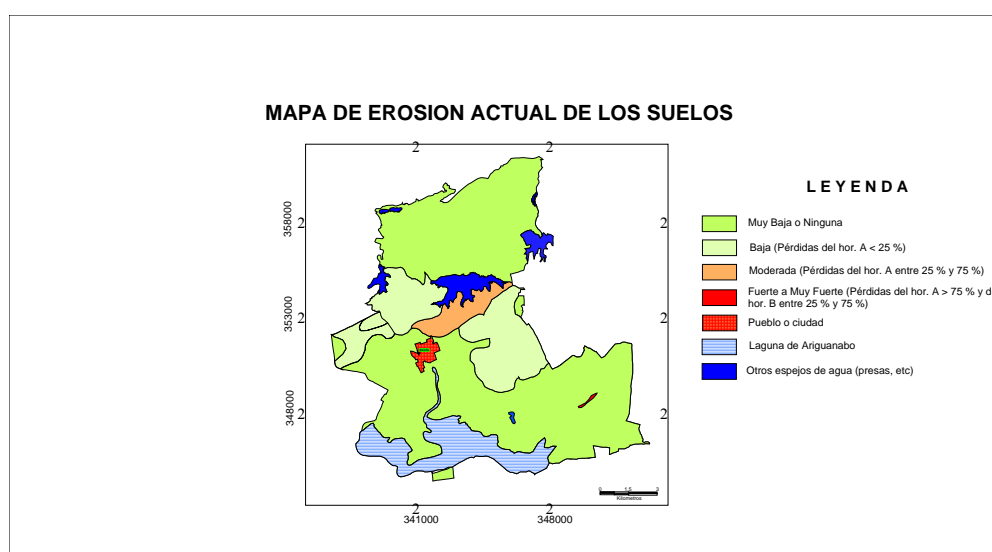


Figura # 3: Mapa de Erosión Actual de los suelos

Mapas temáticos del medio socioeconómico:

Los mapas que integran la parte socio económica , se determinaron a partir de aquellos aspectos del medio socioeconómico que estuvieran vinculados o relacionados con acciones que provoquen modificaciones al medio físico (Objetivos económicos, Uso actual y tenencia de la tierra, hidroeconomía, fuentes contaminantes, impactos provocados por las fuentes) y aquellas que fueran indicadores de mejoras en calidad de vida (Instituciones Sociales (Educación y salud), Turismo y Recreación, , Asentamientos y vías de comunicación).

La información contenida en estos mapas es de carácter puntual y se confeccionaron a partir de los datos aportados por las diferentes fuentes de información a nivel municipal (Dirección de Arquitectura y Urbanismo, Dirección de Salud Pública, Departamento municipal de estadística, Servicios Comunales, Acueducto y Alcantarillado, Higiene y Epidemiología, Órganos del Gobierno, etc, correspondiente a cada municipalidad) y la misma se encuentra contenida en una base de datos en formato Excel, la cual es susceptible a modificar y actualizar. (Figuras # 4, # 5)

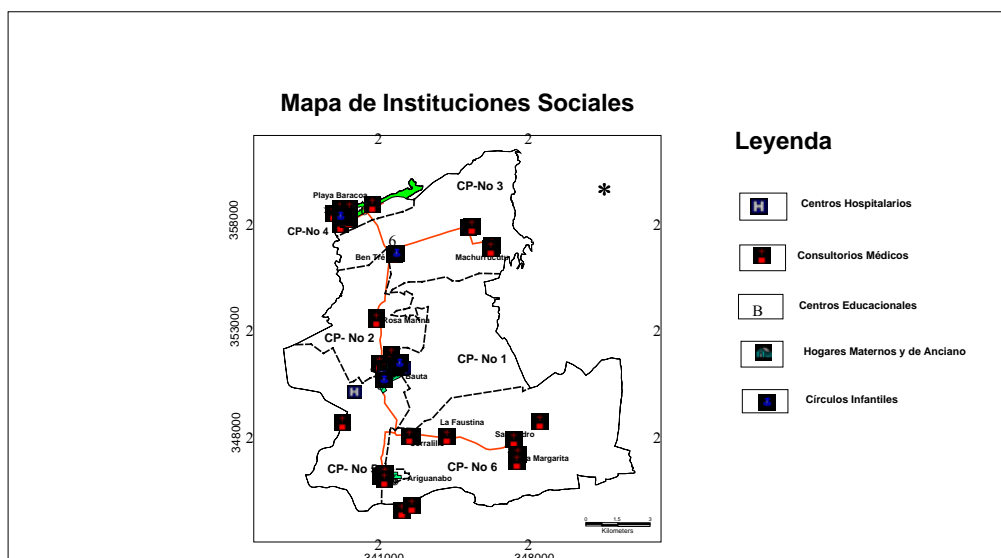


Figura # 4: Mapa de Instituciones Sociales

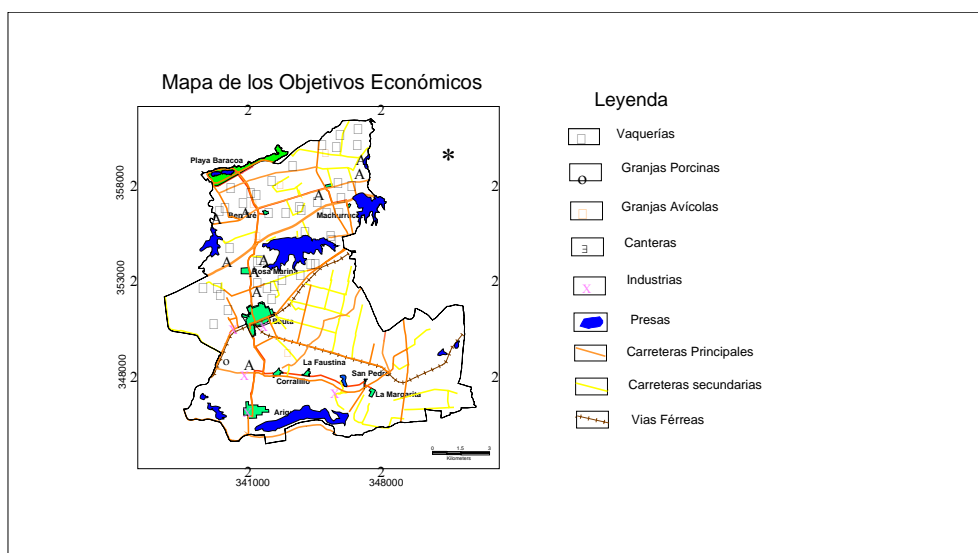


Figura # 5: Mapa de Objetivos económicos

Mapas temáticos integrados:

Los mapas integrados fueron elaborados a partir de las facilidades que presenta la utilización e implementación de un Sistema de Información Geográfica (análisis y superposición de diferentes capas temáticas), estos mapas recogen la información contenida en varios mapas especializados y se integra la misma en una sola capa temática cuya información generaliza aspectos homogéneos o complejos del tema tratado, tal es el caso del mapa de Escenarios de Peligros Ambientales (Figura # 7) , Mapa de Focos y Fuentes contaminantes (Figura # 6) y Mapa de Ambientes morfodinámicos.

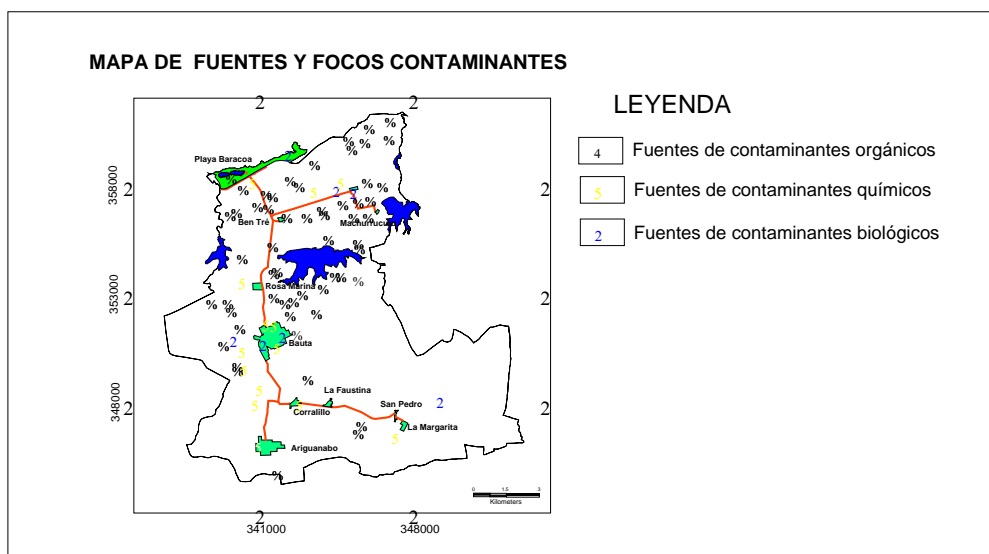


Figura # 6: Mapa de Fuentes y Focos Contaminantes

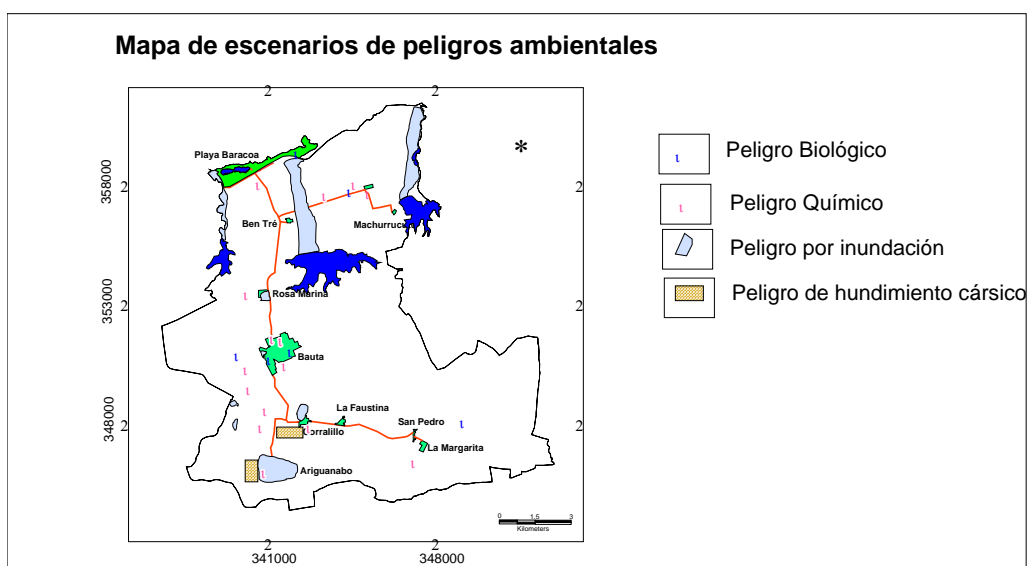


Figura # 7: Mapa de Escenario de Peligros

Conclusiones.

1. La cartografía geoambiental constituye una de las herramientas básicas para la fundamentación de los planes de ordenamiento territorial y de planificación ambiental. Ya que a partir de los mapas elaborados, se puede dar una evaluación precisa del estado del medio geológico y evaluar las funciones de este, como fuente de recursos, como soporte de las actividades humanas y como receptor de los residuos, obteniéndose de esta forma una visión integral de la acción transformadora del hombre



sobre la naturaleza y como la misma puede conducirse en aras de un desarrollo sostenible.

2. La cartografía digital ambiental desarrollada sobre un SIG permitirá a los gobiernos provinciales y las delegaciones provinciales del CITMA contar con la base cartográfica necesaria para la toma de decisiones, en todos los aspectos que inciden en la protección ambiental y el manejo sostenible del geosistema y otros componentes medio ambientales, así como la actualización de las bases de datos ambientales y el monitoreo de los problemas ambientales detectados.
3. Los principales problemas ambientales detectados en el territorio estudiado son:
 - Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas
 - Existencia de lagunas de oxidación sin tratamientos en todos los municipios.
 - Inadecuada disposición de los residuales sólidos urbanos y deficiente servicio de recogida de basura.
 - Alta vulnerabilidad de la zona costera a las penetraciones del mar durante eventos meteorológicos severos.
 - Deforestación de las márgenes de los ríos.
 - Contaminación de los suelos
4. Los principales Peligros a los que se expone la población del Territorio son:
 - Inundaciones. (por modificaciones del drenaje natural, mal manejo del Relieve carsico (colmatación o rellenos de cavernas), eventos extremos, etc).
 - Contaminación.(Vertimientos de industrias, contaminación del aire, Uso extensivo de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura, etc.)
 - Hundimientos en carso. (Presencia de cavernas, furnias, etc)
 - Peligros biológicos (existencia de centros de Investigación Científica, criaderos de animales, mal manejo de residuos sólidos urbanos, etc.)
 - Peligros climatológicos (eventos extremos)

Bibliografía

- Alcaide J., et all (2001). Estudio Integral Ambiental del Municipio Bauta. IGA. Inédito. Ciudad de la Habana. Cuba, p. 1-98.
- Alcaide J., et all (2001). Atlas Ambiental del Municipio Bauta. IGA. . Inédito Cuba, p. 1-26.
- Cendrero. A. et all (1999). Geología y ordenación de espacios litorales, análisis de casos. Separata. España, p. 1-8.
- Departamento de Estadística Municipal Bauta (2000). Datos demográficos del municipio Bauta.
- Díaz, M, (1998). Diferenciación Ambiental del Municipio Bauta. Evaluación Integral de su Ciudad. Tesis presentada en opción al título de Master. Universidad de la Habana. Facultad de geografía. Ciudad de la Habana. Cuba, p. 1-102.



GEOQUIMICA AMBIENTAL Y MICROFAUNA EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL BLOQUE L AL NORTE DEL ARCHIPIÉLAGO SABANA-CAMAGÜEY

V. Estrada-Sanabria¹ ; L. Pérez Estrada²

¹Geocuba Estudios Marinos. Punta Santa Catalina s/n Regla 11200 C. de La Habana.

E. mail: viktor@emarinosa.geocuba.cu

²Centro de Investigaciones del Petróleo. Calle Washington # 169 esq. Churrucá Cerro, C. de la Habana E. mail: perezl@ceinpet.inf.cu

RESUMEN

Los trabajos de Línea Base Ambiental para la prospección petrolera a riesgo en el bloque L, permitieron ejecutar labores de sondeo geológico para evaluar la capa del suelo en la referida estructura. A partir de dos muestras patrones, colectadas en las columnas recuperadas, fue formulado como problema científico: la determinación de sus datos geoquímicos y faunísticos. Trazado como objetivo la evaluación de sus composiciones granulométricas, paleontológicas, mineralógicas y los contaminantes metálicos.

Aplicados los métodos: hidrográfico, oceanográfico, muestreo y documentación geológica, y de perforación utilizado un muestreador de pistón por gravedad Tsurumi Seiko, lanzado desde el buque ULISES, con auxilio por un carrete con 1 200 m de cable de acero,

Los análisis fueron: granulométrico en la variante de vía humedad; metales pesados por la técnica de espectrometría por absorción atómica.; mineralógico para la fracción pesada total con la identificación y cálculo del contenido reportado; y el análisis paleontológico a partir de los retenidos, posterior al tamizado: 0,60; 0,40 y 0,20 mm, con un microscopio binocular marca WILD Heerbrugg con objetivo de 500x.

Como resultados ambas muestras patrones fueron clasificados en limo - arcillo – arena, de coloración gris claro a crema, con restos de foraminíferos, ostrácodos, algas, gasterópodos, pelécipodos, pterópodos. Los minerales descritos fueron carbonato, magnetita, limonita, cuarzo, serpentina, anfíboles, hematina y las concentraciones promedios de **(Zn, Pb, Cd, Cu, Cr, y Ni)** menores a 100 g/t

El coeficiente de correlación entre ambas es de 0,97, en los restantes parámetros calculados las diferencias obtenidas fue mínima.

ABSTRACT

The works of line base environmental necessary for the oil prospecting to risk of the PETROBRAS INTERNATIONAL in the block L. They allowed to execute works of geologic drilling as solution to the problem of evaluating the marine floor in the one referred structure by qualitative a biotic data, being traced as objective to determine the granulometric composition, paleontological, mineralogical and metallic pollutants. In general it was applied the hydrographical, method, of perforation with sampler for gravity, geologic and of laboratories.

As result of the drilling on the horizon of recent witness silts were obtained with longitude among 0,5 – 1 m. classified lithogenous and biogenous components, of clear gray coloration to cream with abundant remains of bentoncs foraminiferos, mollusks, ostracoda and algae. The mineralogical composition described for the heavy fraction integrates its mineral species as: carbonates, loadstone, limonite, quartz, serpentine, amphibole, hematite and fragments of rock. Also in the womb there are reported contents of heavy metals (Mg, Zn, Cr, Pb and Cu).



Introducción

El conocimiento geológico sobre los sedimentos cuaternarios en los fondos de aguas profundas para la zona económica exclusiva es muy escaso en las publicaciones sobre las geociencias en Cuba, donde existe la referencia de (Vega y otros, 1990).

Los trabajos de Línea Base Ambiental efectuados durante el mes de mayo de 1999 para el identificado como Bloque **L** localizado al norte del Archipiélago Sabana – Camagüey a solicitud de la Compañía PETROBRAS INTERNATIONAL, previo a las labores de prospección petrolera fue el móvil para el problema técnico de evaluar por datos abióticos la capa superior del suelo en la referida estructura. Se planteó como objetivo determinar la composición granulométrica, paleontológica, mineralógica y la presencia de contaminantes metálicos. Los métodos aplicados fueron: hidrográfico, geológico, perforación, oceanográfico y de laboratorios con auxilio del Buque de Investigación Científicas (BIC) ULISES. Los mismos posibilitaron obtener muestras de sedimentos correspondientes a cotas batimétricas entre 200 y 500 m.

Los resultados indicaron la presencia de sedimentos básicamente terrígena con influencia carbonatada y abundantes restos de microfauna perteneciente a los ambientes de plataforma externa a batial con escaso contenido en minerales y metales pesados.

Materiales y métodos

En la ejecución del trabajo al **N** de los cayos Fragoso y Coco se empleó la infraestructura del proyecto Corriente y los servicios del buque “ULISES”. Los métodos de investigación aplicados fueron: hidrográficos, geológicos, oceanográficos, perforación y de laboratorios todos descritos en (Alfonso y otros 2 000, Estrada - Sanabria y otros 2 000; Morales y otros 2 000); sin embargo expondremos las particularidades relacionadas con las labores en el bloque.

Hidrográfico – Empleado el sistema de posicionamiento global (GPS) para el registro de las coordenadas en las actividades de localización, traslado y control de la posición del buque en las estaciones evaluadas en la categoría de complejas por el parámetro de la profundidad y ubicación de algunas en el área del corredor marítimo internacional.

Perforación – Utilizado un muestreador de pistón por gravedad Tsurumi Seiko de fabricación japonesa, lanzado desde el buque con auxilio por un carrete con 1 200 m de cable (Ø 8 mm) de acero. El peso de 80 Kg del equipo fue el óptimo para perforar los sedimentos con desviaciones despreciables a los efectos de los regímenes de circulación oceánica a través de la columna de agua con un promedio de 430 m.

Oceanográfico – Complementario con el lanzamiento de sonda para el registro de las velocidades y dirección de las corrientes oceánicas en el marco del proyecto Corriente.

Geológico – Esencial en la documentación primaria y muestreo de los sedimentos perforados en la docena de estaciones complejas ejecutadas sobre el **Bloque L**. Siendo identificadas como las muestras patrones representativas (MP-1 y 2) para el citado bloque, que fueron obtenidas en las columnas de sedimentos con longitudes de 0,55 y 1m correspondientes a las estaciones : No.1 (22° 51', 775 **N**; 79° 31',571**W**) y No. 8 (22° 44', 6 **N**; 78° 40',1 **W**), donde las profundidades registradas fueron de 403 y 430 m.



Laboratorios – Los ensayos y análisis para las muestras patrones fueron los siguientes:

Granulométrico: Aplicado en la variante de vía humedad con empleo del Microcomputer Screener F1-91 de fabricación alemana y la siguiente serie tamices: 4; 2; 1.0; 0,50; 0,25; 0,125; 0,062; 0,039; 0,024 mm.

Metales pesados: Efectuado en la Empresa “Isaac del Corral”. Las muestras recibieron la digestión con HCl_2N para metales bioasimilables y luego el tratamiento con la técnica analítica de espectrometría por absorción atómica según los rangos entre 1 y 6 000 g/t.

Mineralógico: Ejecutado para la fracción pesada total con la identificación y cálculo del contenido en (g/t) para las especies minerales reportadas, fue realizado en el Instituto de Geología y Paleontología.

Paleontológico: Desarrollado a partir de los retenidos granulométrico parciales según la serie de tamices citada. Las subpoblaciones de microfauna contenida en los treces sobre/muestras posterior a la labor de tamizado utilizando los tamices: 0,60; 0,40 y 0,20 mm, fueron estudiadas bajo un microscopio binocular marca WILD Heerbrugg con objetivo de 500x en el Dpto. Micropaleontológico del Centro de Investigaciones del Petróleo.

Resultados y discusión

En la Tabla I fueron reflejados los retenidos por tamices que confirmaron la presencia de sedimentos muy finos influenciados por los residuos biogénicos. En la Tabla II el análisis estadístico reveló un coeficiente de correlación que se aproxima a la unidad. En los restantes parámetros calculados las diferencias obtenidas fueron mínimas.

Tabla I.- Resultados granulométricos retenidos por tamices.

Diámetro del tamiz Ø	MP- 1 (%)	MP- 2 (%)
4	2,48	0,00
2	2,61	4,75
1	2,00	5,54
0,5	3,20	15,45
0,25	13,57	0,00
0,125	15,29	30,0
0,062	28,81	25,97
0,039	22,00	9,71
0,024	8,00	5,00



Tabla II – Evaluación estadística

Parámetros	MP-1	MP-2
Moda	0	0
Mediana	8	9,71
Desviación. Standard	9,72	10,4
Aver. de Desv. Stan	8,02	9,28
Desviación Cuadratica	756,90	657,5
Kurtosis	0,42	0,37
Covarianza	95.82	
Coef. de Correlación	0.97	
Desv. St de la población	9,17	10,28

En las investigaciones publicadas por (Martínez y otros 1994; Cortés y otros 2000, Nuñez y otros 2000) es indicado que los sedimentos cuaternarios (arenas biogénicas, los guijarros de playas y los bancos de tormentas) pertenecientes al flanco exterior de la plataforma somera del Archipiélago Sabana – Camagüey entre los cayos Guillermo y Romano, no se hayan contaminados por metales pesados y/o los residuos de hidrocarburos o sus derivados.

Expuestos en la Tabla III los datos referentes a las concentraciones de los elementos metálicos (**Zn, Pb, Cd, Cu, Cr, y Ni**), sus promedios resultaron inferiores a los 100 g/t.

Tabla III Contenido metálicos en los sedimentos y en la columna de agua.

ELEMENTOS	CONTENIDO PROMEDIO	
	En la columna de agua (µg/ l)	en los sedimentos (g/t)
Zn	0,0516	65
Pb	0,01338	10
Cd	0,004184	<1
Fe	0,02114	Nd
Cu	0,0057	5
Cr	< 0,05	14
Ni	<2	<2

Observación: **Nd** – no determinado.

Los valores obtenidos son considerado válidos para un tiempo relativamente mayor, permiten calificar un estado actual de área no polucionada para el Bloque **L**, aunque lógicamente son muy superiores a las mediciones registradas en la columna de las aguas oceánicas según (Nodarse y otros 2000).

En particular para el elemento **Zn** fue inferida una génesis de naturaleza terrígena regional, en cambio para el elemento **Pb** es considerado un origen asociado a las acciones antrópicas por el trafico marítimo en los canales de San Nicolás y Las Bahamas, donde la característica más común es un flujo de las corrientes oceánicas en la dirección **E**, con velocidades, inferiores a 1



nudo (52 cm /s). En cambio el flujo hacia el **W** es un fenómeno de comportamiento no estable en el tiempo para algunos tramos de los citados canales, siendo más frecuentes al **N** de Cayo Coco según (Canet 1999).

En la tabla IV están reflejadas las especies minerales reportadas que fueron: magnetita, carbonato, cuarzo, limonita, anfíbol, hematita y serpentina. Lo anterior tiene su explicación en la posición confinante del borde meridional del **Bloque L** a una provincia mineralógica de tipo carbonatada de la plataforma marina insular cubana, la cual posee un predominio de la fracción paramagnética. y recibe aporte de los cuerpos de granitoides de Manicaragua y Sibanicú – Las Tunas, ambos con aureolas geoquímicas cuproferrosas y altos valores de elementos siderófitos según (Montano y otros 1998, Rodríguez y otros 1992).

Tabla IV. Composición mineralógica en las fracciones pesadas

	Minerales	MP- 1 (g/t)	MP-2 (g/t)
1	Magnetita	889	-
2	Carbonato	97,7	83,4
3	Cuarzo	19,9	-
4	Limonita	0,00	29,6
5	Anfíbol	3,00	-
6	Serpentina	0,9	-
7	Hematita	1,7	-
8	Arcilla	10,9	17
9	Rocas	-	69,1

Los especímenes identificados en el estudio microfaunístico correspondieron a la familia de los foraminíferos, ostrácodos, algas, gasterópodos, pelécipodos, pterópodos. También observados restos de espículas de esponjas, alcionarios y espinas de equinodermos. La presencia de especímenes de aguas someras reportados por (Huelves y otros 1998) puede inferirse como vinculada con la actividad de las corrientes turbidíticas.

En particular para la MP-1 el predominio en variedad y contenido de la microfauna bentónica puede ser atribuido a dos causas geoambientales básicas:

A - La línea de compensación del carbonato de calcio que limita la presencia de microorganismos planctónico.

B – Las particularidades del sedimento para conservar los restos bentónicos.

En la Tabla V es presentada el conjunto de microfauna común, que fue observada en la composición general para las muestras patrones estudiadas. En cambio la Tabla VI contiene solo las especies reportadas exclusivamente en la composición paleontológica de la MP –1.



Tabla V. Listado de la microfauna común en las muestras

Amphistegina gibbosa
Archaias angulatus
Articulina sagrai
Cancris cf sagrai
Chilostomella sp
Dentalina sp
Dentalina cf communis
Globorotalia menardi
Globorotalia truncatulinoides
Horglundina elegans
Loxostomun sp
Pseudonodosaria conatula
Pyrgo denticulada
Quinqueloculina lamarckiana
Siphonina pulcra
Tretomphalus bulloides
Uvigerina flintii
Uvigerina peregrina
Planulina foveolata
Pulleniatina obliqueoloculata

En la muestra MP-2 solo observamos: **Quinqueloculina (Bosciana, Poeyana) Reusella sp, Rosalina candeiana y Rotorbinella rosea**

Tabla VI. Listado de la microfauna exclusiva para la MP - 1

Anomalina cf. Globulosa
Asterigerina carinata
Cymbaloporeta suammosa
Globigerinoides altiapertura
Globigerinoides ruber
Globobulimina squammosa
Gyroidinoides altiformis
Leticulina spp
Loxostomun sp
Melonis affinis
Neoconorbina terqueen
Peneroplis proteus
Rotorbinella rosea
Sphaeroidinella dehiscens
Spiroloculina ornata
Spiroplectammina floridana
Textularia candeiana
Triloculina linneiana
Globorotalia immadurus



Conclusiones

Las escasas concentraciones metálicas determinadas para (**Zn, Cr, Pb, Cu, Ni y Cd**) en los testigos de sedimentos con longitudes entre 0, 5 y 1m, permitieron corroborar el criterio de una región oceánica no polucinada en su base geoquímica. Lo anterior es un criterio geoambiental de control para la etapa preparatoria de la exploración del Bloque L.

En la composición mineralógica descrita en los sedimentos, predomina la fracción paramagnética compuesta por carbonatos, magnetita y los residuos de rocas erosionados de la plataforma marina y borde del talud insular. Los valores de concentraciones registradas no son representativos

Es reportada una abundante microfauna básicamente de foraminíferos bentónicos representado por un conjunto de cuarenta y tres especímenes, en cambio fueron solo cinco los del tipo plactónicos.

Bibliografía

- Alfonso, I.; G. Godínez; C. Salazar. (2000): Empleo de la sismica de reflexión marina en las aguas profundas del Canal de Bahamas. En Libro de Resúmenes V Taller Internacional Informática y Geociencias GEOINFO. Editor Sociedad Geológica de Cuba, pp 90
- Canet, J. (1998): Informe Proyecto Corriente. GEOCUBA Estudios Marinos. Ciudad de La Habana.
- Cortés, I.; D. López; M. Blanco. (2000): Calidad de las aguas en la zona entre los cayos Fragoso y Guillermo al Norte del Archipiélago Sabana – Camagüey. Revista Contribución a la Educación y Protección Ambiental, ISCTN. Editorial Academia, La Hab. Volumen 1 pp.185 – 188.
- Estrada – Sanabria, V.; J. Canet. (2000): Datos del sondeo geoambiental sobre la superficie del bloque gasopetrolífero L, N del Archipiélago Sabana – Camagüey (inédito) Arch. Estudios Marinos.
- Huelves, J.; M. Chávez.; V. Ramos.; S. García. (1998): Foraminíferos bentónicos recientes de la plataforma insular del Archipiélago Sabana – Camagüey. Una aproximación a los factores que controlan su distribución. Geología 98' Memorias. Versión Resumida I, 315 – 318.
- Martínez, M.; R. Pérez.; A. Rodríguez; M. Martínez. (1994): Metales pesados en los sedimentos marinos en el sector comprendido entre Cayo Medio y Guillermo. III Congr. de Ciencia del Mar. Resúmenes pp.217.
- Montano, J.; J. Moreira.; J. Cruz; J. Bravo; D. González. (1998): Mapa metalogénico de Cuba Central a escala 1: 250 00. Geología y Minería 98' Memorias Versión Resumida I, Editado por el Centro Nacional de Información Geológica, 449 – 452.
- Morales, A.; S. Montalvo.; L. Peñalver y otros. (2 000): Línea base ambiental para prospección petrolera. Revista Contribución a la Educación y Protección Ambiental, Cátedra de Medio Ambiente I S C T N. Editorial Academia, Volumen 1 pp.44 – 49
- Núñez, A.; M. Díaz.; I. Ramos; J. Colas; S. Miller.; E. Ibarra.; M. Laza; R. Teuteló. (2 000): Procedimiento analítico para enfrentar derrames de petróleo. Revista Contribución a la Educación y Protección Ambiental, ISCTN. Editorial Academia, Volumen 1 pp.149 – 155.



Rodríguez, R.; E. Hernández.; V. Estrada-Sanabria. (1992): Nuevos datos acerca de los placeres minerales pesados útiles en la plataforma insular cubana. En Revista Tecnológica Vol. XXII (No.1, 14 -20).

Vega, L.; J. Foyo. (1990): Estudios sedimentológicos de un perfil de la estructura Caimanes (Fosa Oriente). En Revista Ciencia de la Tierra y el Espacio. Editorial Academia, La Habana

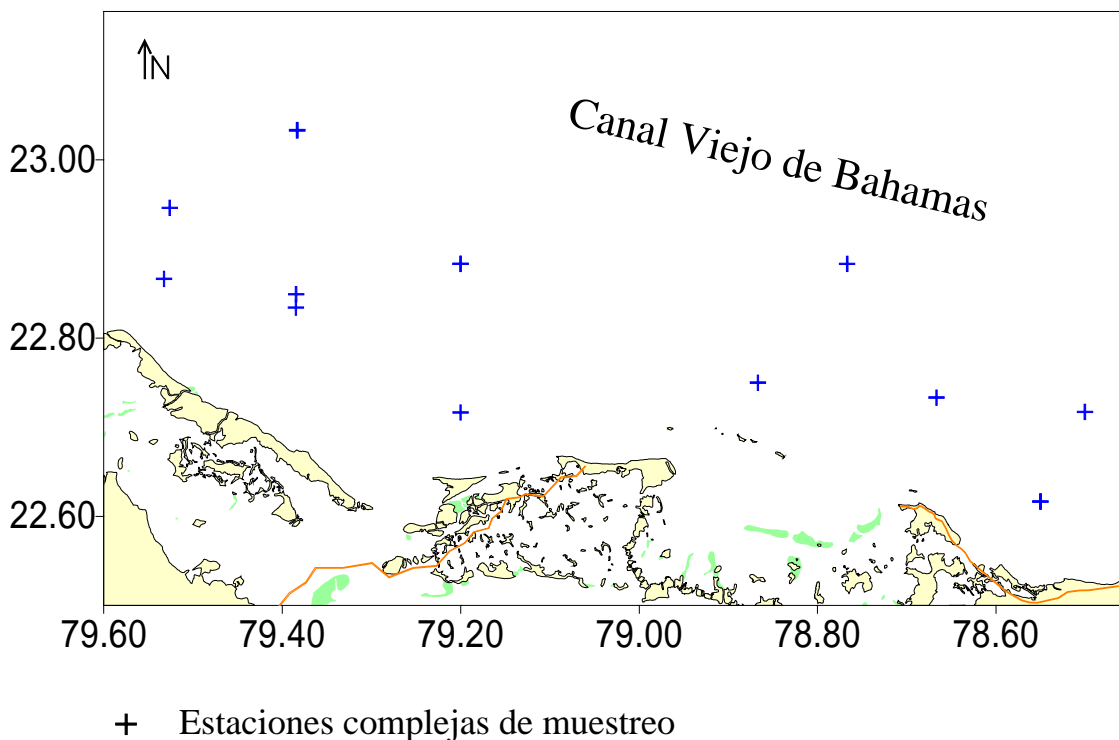


Fig. 1. Región de estudio y distribución de las estaciones de muestreo



ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD AMBIENTAL SOBRE UN ÁREA DE CAYO LARGO DEL SUR

José Gandarillas Hevia, Moraima Alvarez Ortiz

GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina s/n. Regla. Ciudad de la Habana, Cuba.

RESUMEN

En la Ensenada de Guanabacoa, Cayo Largo del Sur, se realizó un estudio de prefactibilidad ambiental, donde se ejecutaron investigaciones geólogo-geofísicas con el objetivo de definir las características geotécnicas de las rocas y suelos existentes, para el dragado de un canal desde la Marina Marlin hasta el lugar elegido por el cliente para la construcción de una marina e instalaciones turísticas.

El área se dividió en dos sectores:

- I. Área del trazado del canal de acceso a la marina
- II. Área proyectada para construcción de instalaciones turísticas

En las investigaciones se emplearon los siguientes métodos: hincado mediante una varilla graduada de 3.5 m y tubo muestreador de 1.5 m de longitud, batimetría acompañante y sistema de posicionamiento GPS. La Sísmica Somera de Refracción se utilizó en el sector II para conocer las fronteras sísmicas correspondientes a cambios litológicos y/o de propiedades físicas, además de valorar las características geotécnicas de suelos y rocas.

Como resultado se obtuvo que los primeros metros del corte geológico hasta la cota de -3.5 m de profundidad en el sector I está compuesto por sedimentos no consolidados, arenosos de grano fino; siendo la profundidad de yacencia del techo de la roca consolidada, inferior a los -3.5 m, garantizando el dragado del canal de acceso en sedimentos no consolidados. En el sector II las excavaciones se realizarán en la roca calcarenita, la cual puede ser excavada con medios mecánicos.

ABSTRACT

In the Ensenada de Guanabacoa, Cayo Largo del Sur, was carried out a study of environmental prefeasibility, where geologist-geophysical investigations were executed with the objective of defining the geotechnical characteristic of the rocks and floors existent, for the dredged of a channel from the Marlin Marine until the elected place for the client for the construction of a marine one and tourist facilities.

The area was divided in two sectors:

- I. Area of the layout of the access channel to the marine.
- II. Projected area for construction of facilities tourist

In the investigations the following methods were used: it sinks by means of a graduate bar of 3.5 m and sample tube of 1.5 m of longitude, accompanying bathymetric and GPS positioning system. The Shallow Refraction Seismic it was used in the sector II to know the frontiers seismic corresponding to lithologic changes of physical properties, besides valuing the geotechnical characteristic of floors and rocks.

As a result it was obtained that the first meters of the geologic cut until the bench mark of -3.5 m of depth in the sector I is compound for not consolidated silts, sandy of fine grain; being the depth of rest of the roof of the consolidated rock, inferior to the -3.5 m, guaranteeing the one dredged of the access channel in not consolidated silts. In the sector II the excavations will be carried out in the rock calcarenita, which can be dug with mechanical means.



Introducción

El presente trabajo refleja los resultados de un estudio de prefactibilidad ambiental en la Ensenada de Guanah, Cayo Largo del Sur, donde se ejecutaron investigaciones geólogo-geofísicas con el objetivo de definir las características geotécnicas de las rocas y suelos existentes en el área del trazado del canal de acceso a la marina y en el área proyectada para construcción de instalaciones turísticas

En el extremo oriental del archipiélago de los Canarreos se halla Cayo Largo del Sur, con una longitud total de algo más de 25 Km y un ancho que fluctúa entre 0,5 y 5 Km. Su ubicación al borde de este talud expone a la costa sur al embate directo del mar abierto, donde predominan los procesos erosivos y en la costa norte una dinámica exógena muy atenuada con procesos acumulativos.

Se emplearon los siguientes métodos: hinca mediante una varilla graduada de 3.5 m y tubo muestreador de 1.5 m de longitud; batimetría acompañante y Sísmica Somera de Refracción. Como resultado en el **sector I** (trazado del canal de acceso) no fue detectada la roca hasta la cota de -3.5 m. El **sector II** se caracterizó por tres horizontes: arena, calcarenita y caliza organógena situando las excavaciones en la roca calcarenita, la cual puede ser excavada con medios mecánicos.

Materiales y métodos

Se diseñó un esquema de investigación con la utilización de los siguientes métodos:

Sísmica Somera de Refracción: Se utilizó en el sector II para conocer las fronteras sísmicas correspondientes a cambios litológicos y/o de propiedades físicas, además de valorar las características geotécnicas de suelos y rocas a partir de las relaciones entre V_p y V_s . Para su ejecución se empleó una estación sísmica **ABEM-TERRALOC** de fabricación sueca que cuenta con 12 canales de recepción, la excitación se realizó por golpes en ambos extremos, para la obtención de hodógrafos de encuentro; la equidistancia entre canales fue de 3 m con longitudes de puestas de 33 m, realizándose en total 20 puestas sísmicas, 16 para V_p y 4 para V_s .

Calas de contacto: Para la determinación de la potencia de los sedimentos en el sector I se realizaron 29 calas y como apoyo a la SSR en el sector II fueron 27 calas. Se utilizó una varilla graduada de acero de 30 mm de diámetro y 3.5 m de longitud, *la que fue hincada manualmente*.

Hinca a percusión de muestreador manual: En cada punto de muestreo se realizó la descripción macroscópica del material in situ. Para ello fue utilizado un muestreador manual a percusión con un diámetro interior de 63.5 mm y una longitud de 1.50 m, realizándose un total de 18 hincas. Las muestras tomadas fueron enviadas al laboratorio para los ensayos de: Granulometría, Hidrómetro, Peso Específico, Petrografía.

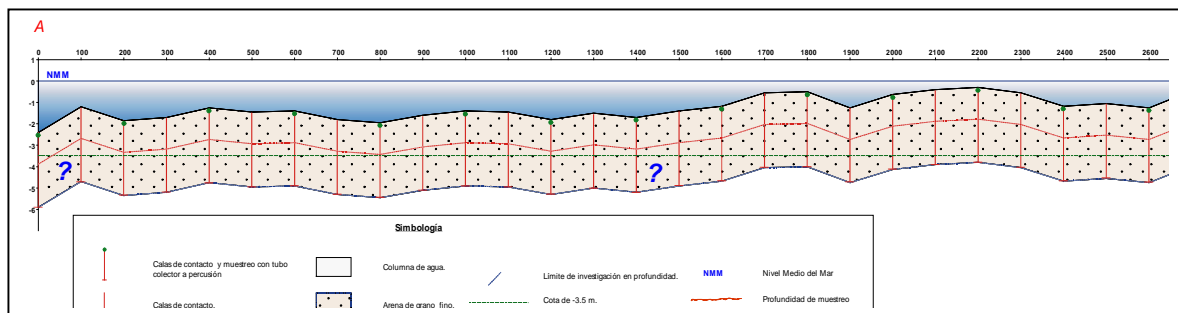
Posicionamiento: sistema de posicionamiento GPS, variante autónoma en el sector I y en el sector II para la geodesia la base planimétrica se realizó por Método de Poligonometría y la base altimétrica mediante poligonal de Nivelación Técnica. La escala de los trabajos fue 1:5 000



Resultados y discusión

Sector I

En el perfil geológico (AB) realizado en este sector, observamos que en los puntos investigados se tocó el basamento rocoso por debajo de la cota de dragado de -3.5 m de profundidad. El espesor de los sedimentos no consolidados que componen el corte geológico es superior a los 3.5 m asegurándose el dragado en estos sedimentos. La profundidad del fondo tiene forma regular.



Los ensayos de laboratorio o

demonstraron que los sedimentos muestreados son: Arena muy fina, poco densa, de color blanco amarillento, de origen biogénico con las siguientes propiedades físicas:

Tabla de Perfil Geológico a lo largo de la línea AB obtenidas laboratorios. (Sector I)

Propiedades Físicas de los ensayos de

No. de Muestra	Granulometría(Según Norma ASTM-D)		Peso Específico
	Clasificación (Tamiz)	% Retenido	
Todas	-Grava (72.6-4.76 mm)	0.2 %	2.8 g/cm ³
	-Arena Gruesa(4.76-2.00 mm)	0.8 %	
	-Arena Media (2.00-0.42 mm)	1.7 %	
	-Arena Fina (0.42-0.074 mm)	93.3 %	
	-Limo (0.074-0.005)	4 %	
	-Arcilla (<0.005)	0.0 %	

Sector II

La interpretación de la SSR se pudo caracterizar el corte, identificándose tres horizontes sísmicos:

1. **Capa "0":** Es la más superficial, limitado en profundidad por el nivel freático y constituido por la combinación de arena fina de origen eólico y de la meteorización de los afloramientos de calcarenitas, ocupa las oquedades del terreno, es inferior a 1 m. Posee una velocidad media de las ondas longitudinales (Vp) de 553 m/s y de las ondas transversales (Vs) de 83 m/s.
2. **Capa "1":** Está formada por roca calcarenita, con espesores desde los 6 m hasta 10 m, de muy baja Resistencia y de color blanco; subyace a la **capa "0"** y cuando aflora es de color grisáceo en los casquetes de meteorización. Al Este de los perfiles de SSR presenta zonas



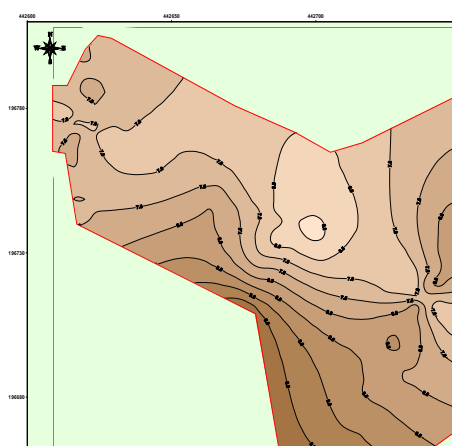
de muy débil cementación, asociadas a la gran saturación de la roca por la cercanía ó presencia del manto freático. La Vp media es de 1522 m/s y la Vs media es de 210 m/s.

3. **Capa "2":** Constituye el basamento calizo que subyace a la calcarenita, con una Vp media de 2470 m/s y una Vs media de 1217 m/s. Es una caliza organógena es de color blanco-crema, su profundidad de yacencia varía entre -6.3 m y -10.6 m a partir del nivel del terreno.

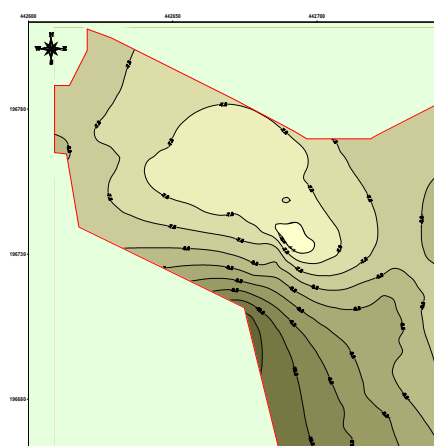
Propiedades Físico – Mecánicas obtenidas a partir de las relaciones Vs/Vp. Sector II

Capa	Litología	Densidad (γ) g/cm ³	Coefficiente de Poisson (μ)	Resistencia a la Compresión axial (Rc) Kg/cm ²	Módulo de Elasticidad (E)	FKP
0	Arena fina	1.7	0.48	-	-	-
1	Calcarenita saturada	1.98	0.49	20.7	2694.4	0.9
2	Caliza	2.2	0.34	138	88998.8	3

Los ensayos de laboratorio comprobaron que los sedimentos no consolidados presentes en la zona son arenosos de granulometría fina, y que las muestras de los casquetes de meteorización y del material que rellena las oquedades del terreno son : calcarenita débilmente cementada. y arena.



**Mapa de isopacas de la roca calcarenita.
sector II**



**Mapa de isohipsas de la roca caliza.
sector II**

Como se puede apreciar en ambos mapas resultados de la digitalización de los perfiles obtenidos por la SSR, el basamento calizo buza hacia el **SW**, siendo los espesores de calcarenita mayores en esta dirección, lo cual nos brinda una información orientativa sobre la disposición de las rocas calcarenitas y calizas de forma areal.

Conclusiones y recomendaciones.

Sector I



- 1- En todo el trazado del canal de acceso (Perfil AB) no fue detectada la presencia del basamento rocoso hasta la cota de -3.5 m.
- 2- En dicha zona, yace una Arena Fina, poco densa, según muestreo realizado hasta 1.5 m por debajo del fondo.
- 3- El estudio realizado en este sector es **preliminar**, y por lo tanto recomendamos que se haga un Estudio Ejecutivo para Dragado, cuando este se vaya a ejecutar.

Sector II

- 1- En el sector se detectaron 3 capas (capas "0", "1" y "2") por los resultados de la SSR, Además fueron corroboradas las dos primeras capas por observación directa.
- 2- Desde el punto de vista de la excavabilidad la capa "1" presenta un **FKP** de 0.9, un **coeficiente de esponjamiento** de 1.3, y clasifica como **A-3** según clasificación de la **HRB**. Por sus propiedades antes mencionadas esta capa permite ser excavada con medios mecánicos ligeros y/o pesados. Además puede ser usada como material de relleno para carreteras y viales.
- 3- Como puede observarse en los perfiles de SSR el techo de la Caliza se presenta por debajo de la cota máxima de dragado del área (-3.5 m).
- 4- La capa "0" no tiene interés ingeniero - geológico por su poco espesor y disposición aleatoria en el terreno.
- 5- Se muestran de manera **orientativa** los valores de las isolíneas de los espesores de la calcarenita y del techo de la caliza respectivamente, ya que estos estudios son preliminares (Prefactibilidad), deben ser analizados tomando en cuenta lo anterior. Se recomienda en una etapa posterior que la red de investigaciones abarque toda el área en una escala mayor.
- 6- Por el alto grado de saturación de la capa "1" la V_p se ve incrementada aproximadamente hasta la velocidad de la onda en el agua, por lo que recomendamos que las propiedades físico - mecánicas calculadas, en particular: E , μ , γ , sean corroboradas con ensayos de laboratorio, para eliminar cualquier ambigüedad que pueda introducir la influencia del agua en los cálculos dinámicos.
- 7- El manto freático se encuentra a una profundidad que oscila entre los 0.2 - 1 m, esto se corroboró por resultados de la SSR y por observación directa.



Bibliografía.

- Cruz , R. (1989): Informe Ingeniero - Geológico para Proyecto Técnico - Ejecutivo. Cayo Largo del Sur. UA#2, ENIA - MICONS.
- Carrodegua, C. (1992): Mapa de Vegetación Marina del Archipiélago de los Canarreos y el Sur de la Isla de la Juventud. Empresa Occidental de Geodesia y Cartografía. ICGC.
- García, E. (1994): Estudio de los Grupos Insulares y Zonas Litorales del Archipiélago Cubano con Fines Turísticos. ICGC - ACC, T.4: Isla de la Juventud y Archipiélago de los Canarreos.
- Iturralde M. Contribución a la geología de la Provincia La Habana.
- Gandarillas, J. P. Castillo. (1997): Estudio de Impacto Ambiental para la construcción del Hotel Lindarena. Cayo Largo del Sur



ESCENARIOS DE PELIGROS EN LOS SUBAMBIENTES MORFODINÁMICOS DE LAS MONTAÑAS DE TRINIDAD Y DE LAS MONTAÑAS DE SANCTI- SPÍRITUS

Mario G Guerra Oliva⁽¹⁾, Yhoama González Jorge⁽¹⁾

(1) Instituto de Geofísica y Astronomía

RESUMEN

El macizo de Guamuhaya, al igual que otros macizos montañosos del país, constituye una relevante región desde el punto de vista de los ecosistemas que contiene así como de las condiciones ambientales de su geosistema, por lo que se dedican a su estudio, numerosos especialistas provenientes de múltiples disciplinas.

En el macizo se desarrollan diversos eventos que constituyen peligros naturales, entre los cuales se pueden citar: movimientos espontáneos de masas, inundaciones súbitas lineales, inundaciones temporales de tipo areal, procesos cársticos con diferentes grados de desarrollo asociados a nodos morfoestructurales y que generan peligros superficiales y subterráneos. Enmarcados en esta región y con el objetivo de identificar las zonas de ocurrencia de estos peligros se confeccionaron un conjunto de mapas temáticos pragmáticos, a escala 1: 100 000, utilizando tecnología SIG.

Los mapas temáticos obtenidos permitieron mostrar además de los principales escenarios de peligros geomorfológicos naturales que modifican el relieve en el macizo, las condiciones ambientales actuales del sistema y los problemas ambientales que estos peligros pueden provocar.

El estudio del macizo de Guamuhaya reveló una vez más que los eventos geológicos y procesos morfodinámicos futuros que modificarán los sistemas ambientales están muy relacionados con la modelación de las pendientes, la erosión fluvial, la compensación isostática (neotectónica) y los procesos cársticos.

ABSTRACT

Guamuhaya is one of the most important regions in Cuba due to its particular environmental conditions coming from mountain landforms that identify it. Therefore a wide number of specialists research in it taking to account different point of view. Geomorphologies are included in specialist interested in it because some natural process take place there can be considered potentially hazard.

Main hazard processes are mass movement, flooding and subsidence due to its carstic nature. Mass movements occur have great dimensions and together with subsidence depend on tectonic events. Floods are located in flood plains and depressions.

Variety of hazard process encouraged to carry out the research as part of mountain project where main objective was identifying vulnerable areas. As a result a geomorphologic pragmatic map at scale 1:100 000 was obtained using GIS technology. Others important results obtained were environmental problems could affect region.

Introducción

Los macizos montañosos del país constituyen regiones de gran importancia a nivel nacional



pues en ellos se desarrollan condiciones ambientales peculiares que dan vida a ecosistemas de gran fragilidad y muy característicos de este tipo de ambiente. La importancia de estas zonas ha tributado a un programa nacional de la montaña para el estudio de las características de cada uno de los macizos montañosos del país que permita planificar el posterior manejo del mismo y lograr su desarrollo de forma sostenible.

En el marco de este proyecto se llevó a cabo el estudio del macizo montañoso de Guamuhaya donde se enfatizó en los peligros naturales que ocurren en dicha región. Para el estudio de los escenarios de peligros fue confeccionado un mapa geomorfológico pragmático a escala 1: 100 000, utilizando tecnología SIG que resumió la información temática existente y elaborada para este proyecto sobre la base de identificar aquellos aspectos geomorfológicos que permitieran identificar y cartografiar los escenarios de peligros naturales existentes en el macizo.

El macizo está conformado por dos grandes cúpulas Trinidad y Santi-Spiritus, en las cuales los niveles de alturas no sobrepasan los 1200m. El mismo presenta un escenario geológico complejo que motiva la ocurrencia de diversos procesos exógenos generadores de peligros.

MATERIALES Y METODOS

El análisis geomorfológico del macizo de Guamuhaya, se realizó sobre la base cartográfica y digital del Modelo de Elevación Digital de resolución 50m y utilizando una plataforma SIG, que permitió obtener mapas morfométricos auxiliares para su posterior análisis del relieve e interpretación.

La metodología utilizada para la caracterización morfoestructural del relieve proviene del Sistema de Levantamientos Geomorfológico del ITC (Verstappen et al, 1991) que define el mapa geomorfológico pragmático como aquel donde la información que se revela solamente responde al objetivo propuesto (la identificación de los escenarios de peligros) mientras que para la jerarquización de las unidades morfodinámicas, ambientes y sistemas morfodinámicos ambientales, se tuvo en cuenta además de esta bibliografía, los principios elementales de la clasificación morfoestructural del relieve cubano (Díaz et al., 1986), y la clasificación de Cendrero et al., (1994).

En los análisis morfoestructurales y ambientales las herramientas de cartografía, análisis y de modelado de los Sistemas de Información Geográfica, jugaron un papel fundamental, al permitir en muchos casos, su obtención automática.

El mapa geomorfológico pragmático fue obtenido sobre la base del análisis de los pisos altitudinales del relieve, la separación de las unidades geomorfológicas erosivas fundamentales a partir de la información de los Modelos Digitales del terreno (Modelo Digital de Pendientes, Modelo de elevación Digital) y la interpretación de una serie de mapas auxiliares elaborados con estos fines.

Dentro de los mapas auxiliares creados estuvieron un mapa de lineamientos, nodos morfoestructurales y bloques neotectónicos.

El mapa de lineamientos fue obtenido cartografiando los elementos lineales del relieve. A estos elementos lineales les fue realizado un procesamiento estadístico sencillo con el objetivo de reconocer los patrones de orientación y frecuencia que controlan a las alineaciones del relieve a escala regional.



La coincidencia de lineamientos y/o fallas fue cartografiada y representada en el mapa de nodos morfoestructurales.

Las áreas homogéneas morfoestructurales limitadas por lineamientos activos fueron identificadas y separadas como bloques neotectónicos siguiendo el criterio de Díaz (1986) que expresa que el escalonamiento de las superficies de nivelación de las morfoestructuras es el resultado de los levantamientos neotectónicos generales, diferenciados e interrumpidos, y cuya representación posee un carácter profundamente morfoestructural. Estos bloques a su vez fueron divididos y agrupados de acuerdo a la intensidad de amplitud de los movimientos recientes en: débiles, moderados, intensos y muy intensos, representados por los siguientes intervalos, hasta 300 m, entre 300-500 m, entre 500-700 m y más de 700 m respectivamente. La información anterior fue creada en forma de base de datos e incorporada en el proyecto SIG.

En estas áreas fueron analizadas las pendientes tomando como criterio el de las pendientes anómalas, es decir, la pendiente media de la región más dos veces la desviación estándar ($\mu_h + 2\sigma$). Este criterio permitió diferenciar las unidades en fuerte y moderada erosión.

Toda la información obtenida luego de la caracterización morfoestructural del relieve fue utilizada para la preparación de los mapas ambientales de Ambientes y Sistemas morfodinámicos así como de escenarios de peligros.

El criterio de Cendrero et al. (1994) fue tomado para la jerarquización del territorio atendiendo a sus unidades morfodinámicas ambientales y estas a su vez para obtener las unidades erosivas.

Las áreas entre los bloques también fueron sujetas a un análisis ya que ellas constituyen en sí morfologías potencialmente inundables. En general estas áreas se corresponden con depresiones estructurales no cárnicas, depresiones cárnicas y valles provenientes de la red fluvial en general.

Finalmente, los principales escenarios de peligros fueron obtenidos y cartografiados con el uso de las herramientas de cartografía del sistema empleado.

Resultados y Discusión

Caracterización morfoestructural y morfométrica

El macizo montañoso de Guamuahaya, limitado por el piso altitudinal de Premontañas a montañas bajas (hasta 500 m), se encuentra ubicado, desde el punto de vista morfoestructural, en el Piso del basamento plegado de Cuba y en específico en la unidad morfotectónica de los Macizos Meridionales, de acuerdo con Díaz et al., (1986).

La morfoestructura primaria de la etapa orogénica de la región, que se refleja en el relieve es del tipo de Cúpula–Bloque, antiforme (Peraza et al.,1989). El posterior reajuste del relieve, originó una morfología compleja del tipo de bloques neotectónicos activos con tendencia a ascensos verticales y subverticales. Estos bloques están asociados a pisos altitudinales de morfología concéntrica, debido al reajuste morfotectónico reciente, ocurrido en el Mioceno Superior.



La depresión de la cuenca del Río Agabama, está ubicada en el piso morfoestructural de la Cobertura Neógeno–Cuaternaria y presenta características de un relieve erosivo acumulativo del tipo de alturas y Premontañas (inferiores a los 300 m). Esta depresión, constituye una estructura superpuesta del piso morfoestructural, del tipo graben-sinclinal de la cobertura neoauctóctona, formada por depósitos de la llanura y terrazas fluviales y en específico de las fases de los lechos bajos y altos de inundación del Río Agabama.

Se reconocen ocho pisos altitudinales en la región del macizo de Guamuahaya:

Llanuras bajas (0–20 m), Llanuras medias (20 – 80 m), Llanuras altas (80 – 120 m), Alturas medias (120 – 200 m), Alturas grandes (200 – 300 m), Submontañas (300 – 500 m), Montañas pequeñas (500 –1000 m), Montañas bajas (1000 – 1500 m).

Estos pisos altitudinales están distribuidos de manera diferenciada en las dos cúpulas que componen el macizo. En la cúpula de Trinidad, la disposición espacial de los pisos altitudinales es bastante concéntrica y guarda una buena correlación con la estructura geológica. Los bloques neotectónicos están bien definidos y diferenciados morfoestructuralmente. Se identifican los mayores bloques hacia el centro oeste y noreste de la cúpula, con predominio de relieves de montañas pequeñas.

En la cúpula de Sancti–Spiritus, la distribución de los pisos no es concéntrica aunque si esta bien correlacionada con la estructura geológica. Su morfología es en forma de bandas orientadas de oeste a este, enmascarando su expresión morfológica de bloques. Los pisos de menor altura se ubican en la depresión del río Agabama, conformando el relieve de terrazas y llanuras fluviales bajas, altas, alturas medias y grandes, las cuales constituyen el relieve de articulación entre las cúpulas.

El análisis de los alineamientos del relieve permitió la identificación de 110 alineamientos regionales, cuyo análisis de frecuencia mostró como resultado que las direcciones predominantes en el macizo son de 40°, 80°, 140-160°. Los intervalos de 40°, 140-160° se corresponden con la dirección NE – SW que refleja las direcciones principales del evento de la orogenia cubana.

El reordenamiento morfoestructural hacia la estructura neotectónica de bloques verticales y subverticales, está expresado en la dirección 80° por lo que se interpreta que la neotectónica en el área, esta bien reflejada en la morfología del relieve.

El análisis de los nodos morfoestructurales permitió seleccionar las áreas tectónicamente activas, aún sujetas a análisis con datos sismológicos.

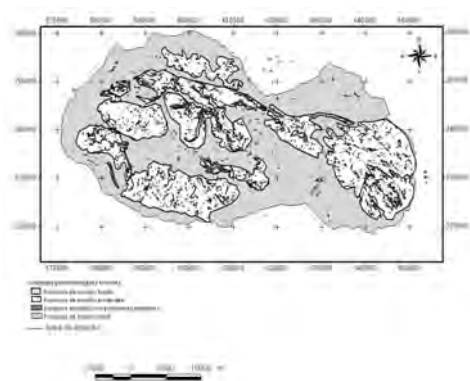
Utilizando los alineamientos anteriores se identificaron un total de 53 bloques neotectónicos, caracterizados atendiendo a la amplitud de sus ascensos. La interpretación de la distribución espacial de los bloques locales, indicó que las mayores amplitudes de ascensos neotectónicos ocurren en la cúpula Trinidad con intervalos de 800 m.

Dentro de los bloques fueron calculadas las pendientes con la ayuda de las herramientas del SIG. Los menores valores de pendientes se localizan hacia los bordes inferiores de los macizos montañosos y fuera de éstos, alcanzando valores de hasta 6°, mientras las mayores se localizan en las laderas de ambas cúpulas alcanzando valores de hasta 45° . La mayor distribución espacial se corresponde con el intervalo 25 – 30 grados.



A partir del análisis de la distribución de pendientes anómalas ($\mu_h + 2\sigma$) fueron identificadas las unidades geomorfológicas erosivas (figura1), destacando las de mayor intensidad. Estas unidades en su mayoría contienen más de un bloque neotectónico y fueron diferenciadas en unidades con fuerte y moderada erosión.

En sentido general la mayor intensidad de erosión se correspondió con el sur, oeste y noroeste de la cúpula Trinidad.



Las áreas con erosión moderada se ubicaron en el resto de las cúpulas y específicamente entre los 500 y 800 m de altitud de la cúpula Trinidad. En la cúpula de Sancti-Spiritus, la distribución mas compleja de las pendientes y los pisos altitudinales, condicionó una distribución más uniforme de erosión fuerte y moderada.

Figura1: Unidades erosivas

Jerarquización morfodinámica del relieve

El macizo está dividido en dos ambientes morfodinámicos ambientales bien definidos: Ambiente morfodinámico de Montaña y Ambiente de la Cuenca del Río Agabama.

El primer ambiente morfodinámico consta de dos subambientes, que están determinados por su similitud morfoestructural: subambiente Montañas de Trinidad y subambiente Montañas de Sancti-Spiritus.

Dentro del ambiente de montaña se reconocen 12 sistemas morfodinámicos agrupados en dos tipos principales: sistemas tectónico-erosivos y tectónicos litológicos

Los sistemas morfodinámicos tectónicos-litológicos se ubican en litologías cársicas con distintos grados de desarrollo de este proceso. En estos sistemas están incluídas litologías tales como metacarbonatos, metavulcanitas carbonatadas asociadas a relieves de montañas.

Los sistemas morfodinámicos tectónicos – erosivos se localizan en materiales no carbonatados agrietados, entre las que se encuentran anfíbolitas, rocas metamórficas, metaterrígenos, rocas efusivas sedimentarias, ofiolitas (ultrabásicas), e intrusivos (granitoides). Se destacan en ellos relieves de Premontañas, montañas bajas y pequeñas.

En el ambiente de la Cuenca del Río Agabama se reconocen los sistemas morfodinámicos de depósitos terrígenos superpuestos de la cobertura en litologías areno-arcillosas-turbaseas, conglomerados-brechosos y arenas arcillosas-carbonatadas de relieves de llanuras y terrazas fluviales.



Escenarios de peligros

El análisis pragmático realizado con la combinación de los elementos de la jerarquización del relieve y la interpretación morfoestructural y morfométrica logró identificar los principales escenarios de peligros.



Figura 2 Mapa de áreas
potencialmente inundables

Los escenarios de peligros relacionados con los movimientos espontáneos de masas están asociados a las unidades erosivas anteriormente cartografiadas y que se caracterizan por presentar escarpes abruptos (pendientes anómalas), tanto en sistemas carsificados como no carsificados (Figura1).

Las inundaciones súbitas lineales pueden esperarse en los cauces de los ríos, donde el nivel de las aguas de avenidas, no sobrepasan los límites del lecho o cauce aparente o las temporales de tipo areal, en las depresiones y valles interiores del relieve estructural no cársico y en ocasiones valles fluvio cársicos y cársicos,

donde el grado de la carsificación impida la rápida infiltración de las aguas.(Figura 2)

Los escenarios de peligros relacionados con nodos morfoestructurales fueron identificados pero aún sujetas a comprobación.

Finalmente es importante resaltar que los peligros cársicos en general están presentes en la región y sus mayores probabilidades de ocurrencia son en formas cársicas relacionados con nodos morfoestructurales, donde pueden presentarse peligros superficiales y subterráneos.

Conclusiones

Se relacionan los principios básicos de la clasificación morfoestructural del relieve Cubano con la jerarquización de unidades morfodinámicas hasta la categoría de sistemas morfodinámicos en el territorio.

Se reconocieron dos ambientes morfodinámicos y 12 sistemas morfodinámicos asociados.

Se identifica a escala regional los principales escenarios de peligros geomorfológicos naturales potenciales que pueden ocurrir en el territorio.

Se reconocen como procesos amenazantes, los de laderas, inundaciones, neotectónicos y cársicos (denudación cársica)

Bibliografía

- Cendrero, A., J. R. Díaz y E. Francés, 1996: Geología y ordenamiento de Espacios Litorales. Análisis de Casos. Separata.
- Departamento Operaciones, 2001: Antecedentes de ocurrencias por fenómenos naturales dañinos inundaciones en la Región Central de Cuba). Ciudad La Habana. Cuba. Defensa Civil (2000a): "Defensa Civil del territorio y Planes de Evacuación en caso de desastres."



- Díaz-Díaz, J. L. et al, 2000: Fenómenos y Procesos Geomorfológicos y su papel en las transformaciones Ambientales de la Sierra de Trinidad. Un procesamiento para su estudio. Inst de Geografía Tropical.
- Díaz-Díaz, J. L. et al., 1986: Los Principios Básicos de la Clasificación Morfoestructural del Relieve Cubano y su Aplicación en la Región Centro – Oriental de Cuba. ACC. Inst de Geografía Tropical.
- Díaz-Díaz, J. L. , 1989: Relieve. Morfoestructura 1: 2 000 000, IV – IV.3.1. Nuevo Atlas Nacional de Cuba
- Guerra, M. G. , 1998: Análisis Topológico del Relieve. Geología y Minería 98, Memorias II. La Habana.
- Guerra, M. G. , 2002: Atributos e Indicadores Geomorfológicos Ambientales en los diferentes sistemas morfodinámicos ambientales cubanos. Forum XIV de Ciencia y Técnica IGA 2002. Libro de Resúmenes.
- Hernández, J. R. et al, 1994: Estudio Geotectónico Bidimensional y Tridimensional ínter bloques: Una nueva categoría neotectónica para la determinación de morfoestructuras montañosas. Sobreretiro. Investigaciones Geográficas. Boletín del Inst de Geografía. Número 38. México
- Magas-García et al., 1997: Elementos Geomorfológicos Básicos para el análisis y determinación de zonas de fallamiento activo en las condiciones de Cuba. Sobreretiro.
- Orbera, L , 1989: Constitución Geológica. Neotectónica, 1: 2 000 000. III III-3.1. Nuevo Atlas Nacional de Cuba
- Peraza, P. et al., 1989: Relieve. Geomorfología. 1: 1 000 000 IV – IV.3.2-3. Nuevo Atlas Nacional de Cuba.
- Verstappen and VanZuidam., 1991: El Sistema ITC para Levantamientos Geomorfológicos. ITC. Publicación Número 10



APLICACIÓN DE LA GEOFÍSICA MARINA EN LOS ESTUDIOS DE DRAGADO.

Jorge Luis Perdomo Castillo⁽¹⁾, Ismael González Metauten⁽²⁾ y José Gandarillas Hevia⁽¹⁾

⁽¹⁾GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina s/n. Regla. Ciudad de la Habana, Cuba.

⁽²⁾IGA. Calle 212 # 2906 e/ 29 y 31, La Lisa, ZP 11 6000, Ciudad de la Habana, Cuba; fax: 33-9497

RESUMEN:

El presente trabajo recoge algunos resultados de la aplicación de los métodos de la geofísica marina en estudios de dragados de primer establecimiento y de restitución o corrección; ejemplificando con las investigaciones realizadas en un sector del río Almendares (desde la ensenada de la Chorrera al puente de Piedra), el área circundante a la Marina Gaviota, Varadero y el canal de acceso al puerto de Cárdenas.

Los métodos empleados fueron levantamiento batimétrico, hidromagnético, de sísmica de reflexión y refracción someras, sonar de barrido lateral, calas geotécnicas y muestreo geológico, penetrometría estática de cono, sondeos con calas de contacto y ensayos de laboratorio, además del estudio de la señalización marítima. Se empleó para todos el sistema de posicionamiento global en la variante diferencial (D.G.P.S).

Los resultados del río Almendares y Marina Gaviota se representan en mapas de espesores de sedimentos blandos, tipos de fondo, perfiles ingeniero - geológicos y de profundidad del lecho marino y techo de la roca o sedimentos consolidados. Se resumen los ensayos de laboratorio y la clasificación para dragado de los materiales encontrados. En el canal de Cárdenas se muestran los límites espaciales, niveles interiores (escalones) y los posibles cuerpos sumergidos que pudieran entorpecer las labores restitución del canal, además de la posición actualizada de las boyas de señalización.

Finalmente se demuestra el gran valor práctico de la aplicación de las investigaciones geofísicas marina en los estudios para dragado, actuando como métodos de avance, que nos permite reducir considerablemente el costo y tiempo de duración de dichos estudios.

ABSTRACT

The present work resume some results in the application of marine geophysical methods to dredging studies of first establishment and restitution or correction; we show the investigations carried out in a Almendares river zone, the surrounding area from Marina Gaviota, and the access channel to the port of Cardenas.

Were used a complex of methods that include: bathymetryc sounding, hidromagnetic survey, seismic reflection and shallow refraction, side scan, geotechnical borings, geological sampling, continuous penetration test, and laboratory analysis. The global positioning system was used in differential variant (D.G.P.S).

The results from Almendares River and Marina Gaviota are represented in maps of thickness of soft silts, bottom types, depth of the bottom, and depth of rock base or consolidated silts together with engineering - geological profiles. The laboratory analysis and the classification for dredging materials are summarized. In the port of Cardenas are shown the channel boundaries, and the possible submerged bodies that represent risks in the restitution works, besides the position of signaling float.

Finally the great practical value in the application of marine geophysical investigations is demonstrated through dredging studies, acting as primary methods which allows to decrease cost and time of this studies in a considerably way.



Introducción

En el presente trabajo se presentan los resultados de la aplicación de las investigaciones geofísicas marina para los dragados de primer establecimiento de un sector del río Almendares desde su desembocadura (ensenada de la Chorrera) hasta el denominado puente de Piedra y el espacio acuoso circundante a marina Gaviota, Varadero y de restitución o corrección del canal de acceso al puerto de Cárdenas. Estos trabajos se realizaron a solicitud de la entidad presupuestada Parque Metropolitano de la Habana (P.M.H), Inmobiliaria ALMEST Varadero y el Departamento de Inversiones de CUPET respectivamente.

En la actualidad el P.M.H constituye uno de los proyectos urbanísticos que pretende desarrollar el gobierno con vistas a propiciar el programa de saneamiento ambiental y la creación de un centro de esparcimiento y disfrute para los pobladores y visitantes, con un área de 700 Ha dedicadas al desarrollo forestal, la jardinería y la agricultura debe convertirse en el pulmón verde de la capital. El río Almendares junto a sus bosques de galería constituye una de sus principales atracciones y como se conoce su cauce inferior se encuentra azolvado y en ciertos tramos casi estrangulado, restándole capacidad de drenaje durante las grandes avenidas en período lluvioso y el estancamiento de las aguas durante la sequía. De lo anterior se desprende la necesidad de ejecutar un dragado de dicho sistema fluvial lo más económico y efectivo posible, el cual facilitara las maniobras de reparación o botadura de las embarcaciones que actualmente se reparan o construyen en los Astilleros Chullima y el saneamiento ambiental del río.

En caso de marina Gaviota las investigaciones geofísicas marina se ejecutaron como parte de los estudios necesarios para el proyecto de remodelación y ampliación de dicho entorno.

Por su parte el canal de acceso al puerto de Cárdenas ubicado íntegramente en la bahía de homónima, costa norte de Matanzas, es una de las zonas de mayor actividad marítimo portuaria del país. Por dicho canal se transportaban antes de la construcción del Oleoducto Cárdenas – Varadero, el crudo y el azúcar refino cubano, de ahí que sea vital la conservación y/o mantenimiento de las condiciones óptimas que garanticen la navegación y el tráfico marítimo segura por dicho canal para lo cual se requiere mantener un calado mínimo de - 7.0 m y una señalización adecuada. Consultar fig.

No 1.

Materiales y métodos

Además de la gran cantidad de información recopilada sobre los trabajos precedentes en las áreas bajo estudio se empleó un complejo racional de métodos geólogo -geofísicos compuesto por:

Sector del río Almendares y Marina Gaviota

- Levantamiento sísmico de reflexión somera
- Levantamiento hidromagnético
- Sondeo batimétrico acompañante
- Sondeos con calas de contacto
- Muestreo geológico submarino y análisis de laboratorio
- Perforaciones geotécnicas y muestreo geológico submarino



- Ensayos de laboratorio
- Levantamiento sísmico de refracción somera
- Penetrometría estática de cono.

Sector canal de acceso

- Levantamiento con Sonar de Barrido Lateral
- Levantamiento hidromagnético
- Sondeo batimétrico acompañante
- Estudio de la señalización marítima.

En todos los casos las investigaciones geofísicas estuvieron precedidas de un levantamiento hidrográfico en escala 1:1000, empleándose, para georreferenciar las investigaciones con la precisión requerida, en correspondencia con la escala de los trabajos y la tarea técnica a resolver el sistema de posicionamiento global en la variante diferencial (**DGPS**) el cual permitió que los errores en la determinación de las coordenadas de las estaciones fueran incluso inferiores a ± 1.0 m.

Durante el levantamiento sísmico de reflexión somera se utilizó un perfilador sísmico continuo NEC - 19c, de fabricación japonesa, con fuente de emisión sparker (chispeador) y un hidrófono de 11 elementos sensibles como receptor. El levantamiento hidromagnético por su parte se ejecutó con el Hidromagnetómetro protónico 7704 en la variante de sensor a remolque con un ciclo de muestreo de 2 s, empleándose el Sonar 3000 de barrido lateral en los rangos de 75 y 150 m respectivamente y la ecosonda Atlas Deso 20 con dos frecuencias de trabajo bien definidas 33 y 210 KHz para el levantamiento morfológico y el sondeo batimétrico acompañante.

Para las perforaciones se utilizaron dos máquinas universales rotación – percusión Stratadrill 36 de procedencia inglesa, montada sobre patana. Las muestras de sedimentos no consolidados recuperadas durante el muestreo geológico fueron debidamente identificadas e invadas a los laboratorio de mecánica de suelos y roca de la Empresa nacional de Investigaciones Aplicadas del MICONS donde se les practicaron los ensayos físicos – mecánicos y químicos de clasificación correspondientes.

Resultados y discusión

Como resultado de la aplicación combinada de los métodos geólogo- geofísicos e hidrográficos y del procesamiento realizado a los datos obtenidos fueron construidos los siguientes materiales gráficos:

Sector río Almendares y Marina Gaviota

- Mapas de profundidades hasta el lecho del río y el fondo marino (Isobatas) respectivamente, con la ubicación de los objetos sumergidos más importantes para el primero. Consultar fig. No.2.
- Mapas de profundidades hasta el techo de la roca o sedimentos consolidados (Isohipsas) para ambos casos, con una cota de investigación relativa de - 6.0 m para el primero. Consultar fig. No.3.
- Tabla resumen de los ensayos de laboratorio y clasificación de los materiales a dragar según su dificultad para la extracción y descarga respectivamente.



- Columnas litológicas de cada cala perforada y perfiles ingeniero – geológicos asociados para el segundo caso.
- Mapas de espesores de sedimentos no consolidados (Isopacas) para ambos casos y tipos de fondo para el primero. Consultar fig. No.4.

Para la determinación de las isobatas, isopacas e isohipsas en las zonas de profundidades muy bajas (menor de 0.5 m) se realizaron sondeos puntuales y mediciones con una varilla metálica graduada cada 0.1 m y con una longitud máxima de 6.0 m, desde un bote auxiliar de remos en el río Almendares. Mientras que para las zonas pantanosas o de difícil acceso en Marina Gaviota utilizamos la Penetrometría estática y la Sísmica somera de refracción. En ambos casos para la diferenciación y clasificación de los tipos de fondo detectados se emplearon básicamente los resultados de los ensayos de laboratorio de las muestras de sedimentos colectadas y la información geológica consultada.

Sector canal de acceso

- Mapas morfológicos (27) en escala 1: 1000 donde aparecen representados los límites espaciales, niveles interiores (escalones) y los posibles objetos superficiales sumergidos que pudieran entorpecer o impedir las labores de dragado de restitución del canal de acceso, además de la ubicación actualizada de sus medios de señalización. Consultar fig. No.5.

Los resultados de la determinación de las coordenadas reales de los boyas de señalización se representan en forma de tabla conjuntamente con sus posiciones recomendadas según el proyecto de balizamiento inicial, lo que facilita la comparación y el análisis objetivo de los mismos.

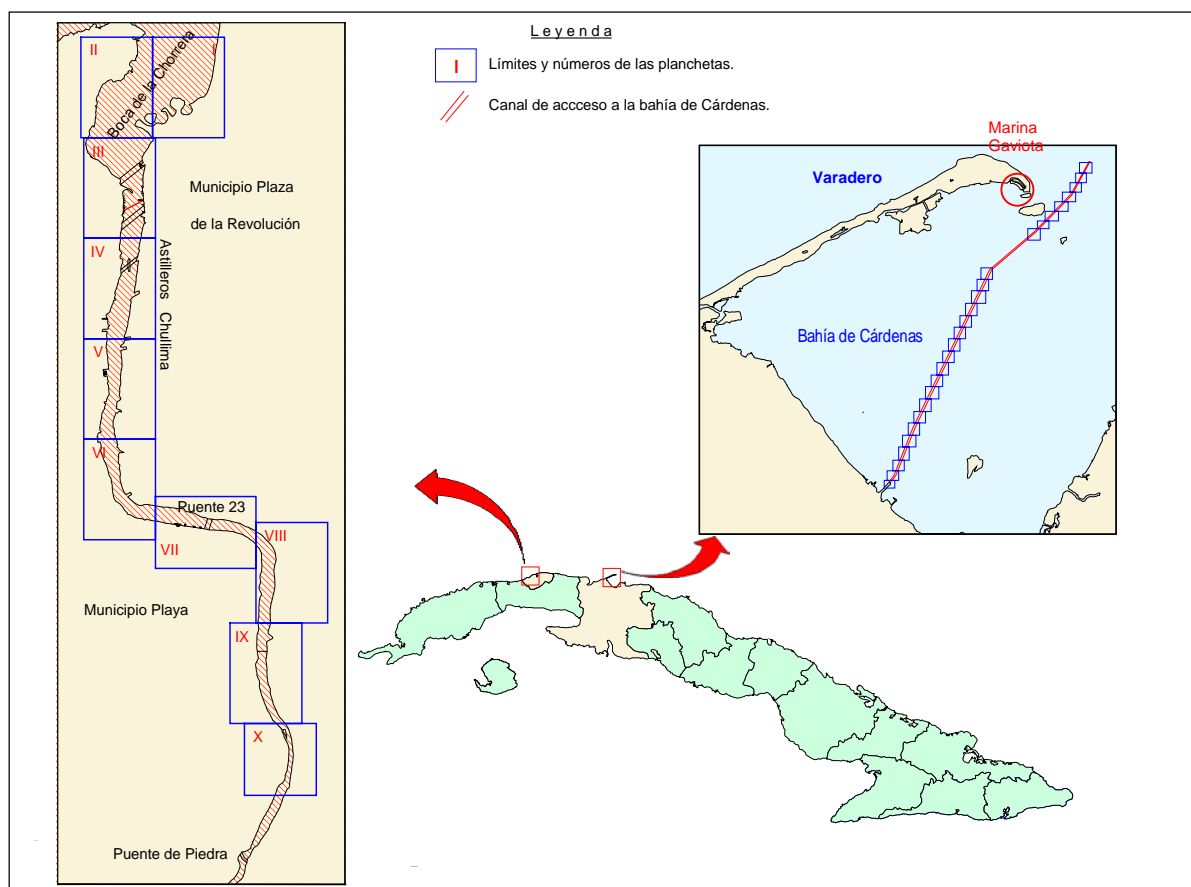


Fig. No.1. Ubicación de las zonas de trabajo.

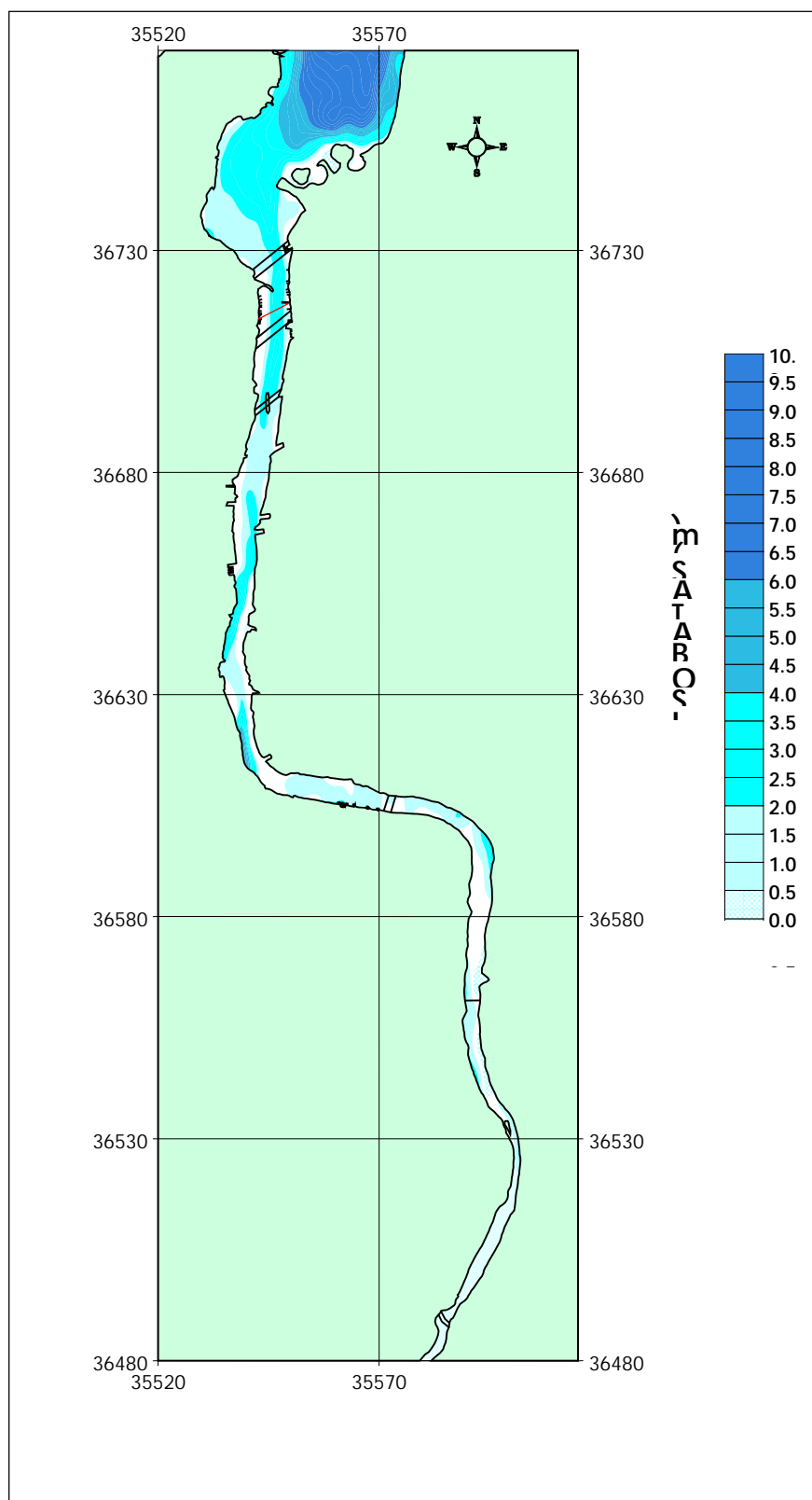


Fig. No. 2. Mapa de profundidades hasta el lecho del río Almendares.

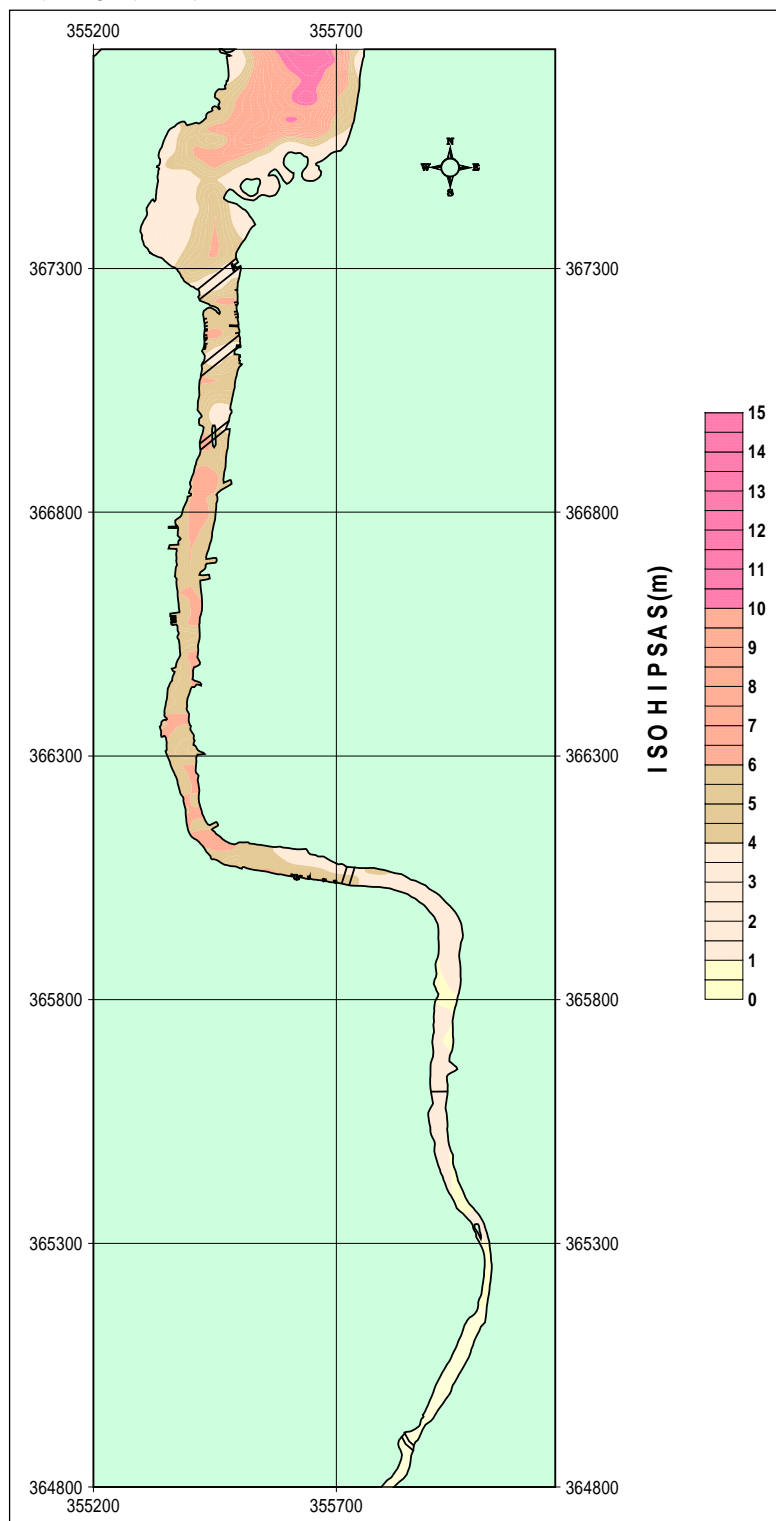


Fig. No. 3. Mapa de isohipsas del río Almendares.

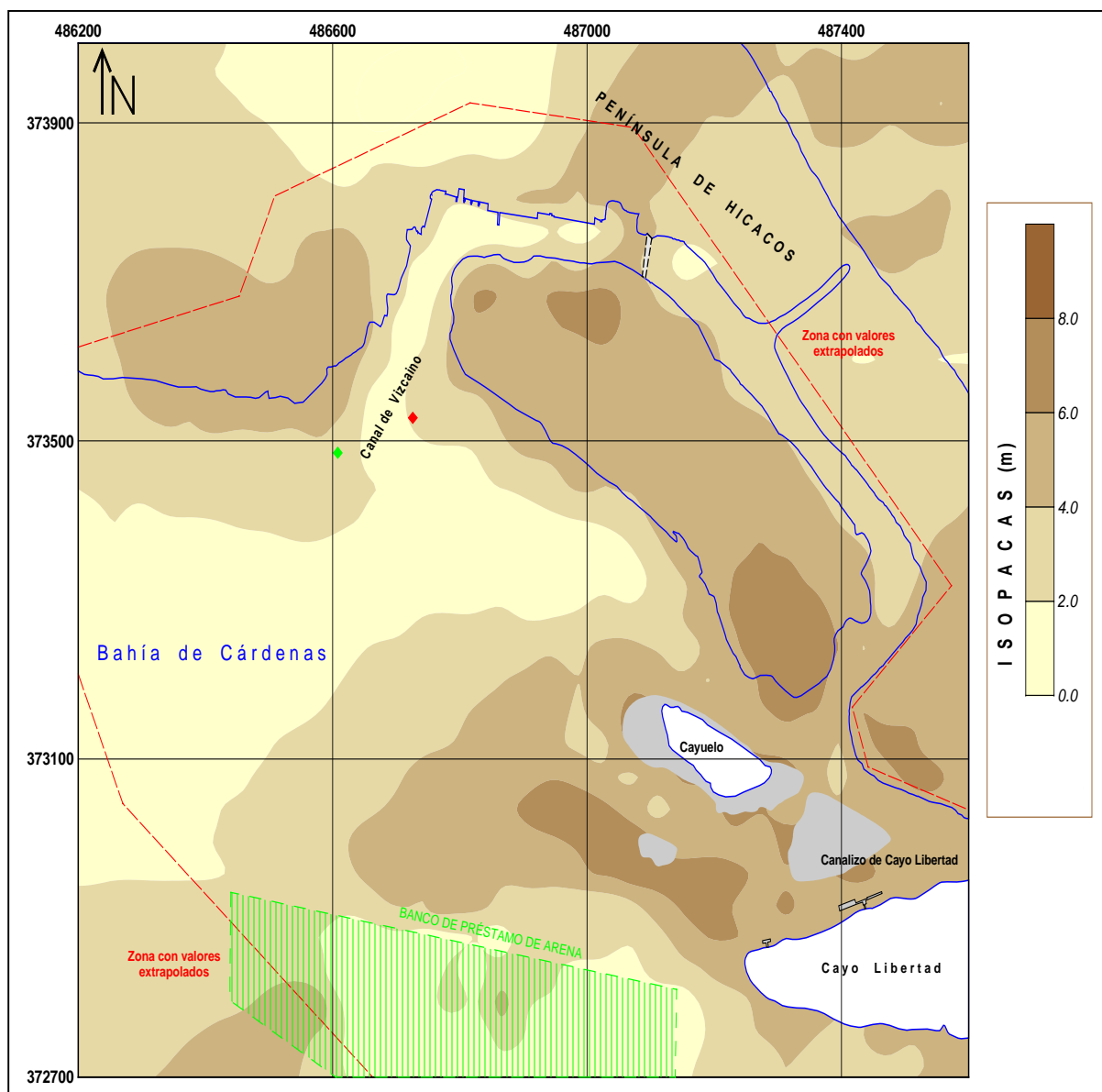


Fig. No. 4. Mapa de espesores de sedimentos no consolidados. Marina Gaviota, Varadero, Matanzas.

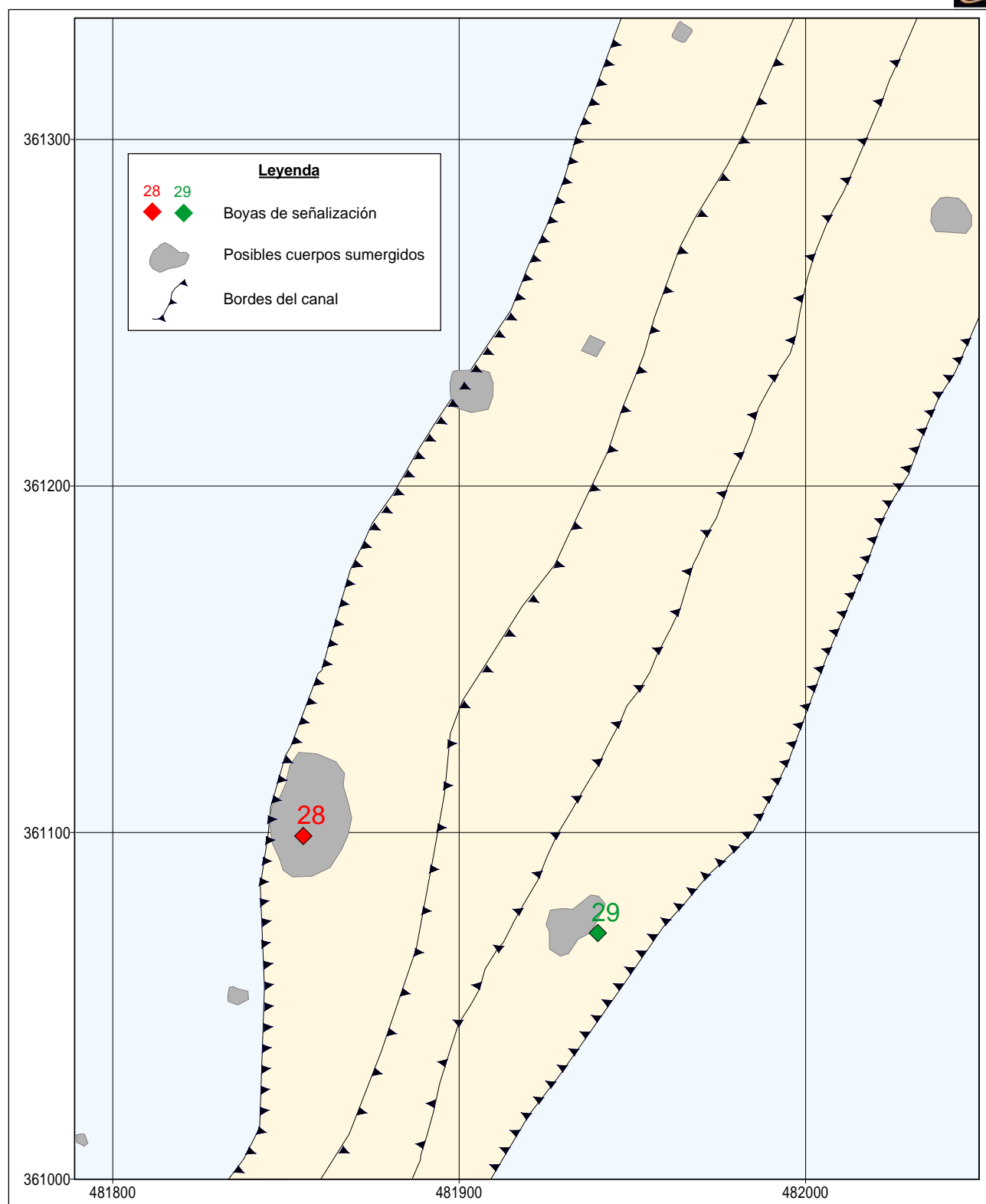


Fig. No. 5. Mapa morfológico (vista parcial) del canal de acceso al puerto de Cárdenas. Matanzas.



Conclusiones

Del análisis de toda la información consultada y representada en los mapas de los diferentes atributos obtenidos, se llega al convencimiento del gran valor práctico que tiene la aplicación de las investigaciones geólogo-geofísicas en los estudios para dragado, en cualesquiera de sus etapas o variantes, constituyendo la información aportada una potente herramienta que nos permiten:

- Reducir considerablemente el número de perforaciones ingeniero- geológicas innecesarias con la consiguiente disminución del tiempo de duración y del costo de los trabajos, seleccionando de forma operativa las regiones a detallar.
- Calcular el volumen y el tipo de material a extraer durante las labores de dragado de primer establecimiento o de corrección, de forma racional y segura tomando como base la información contenida en los mapas batimétricos y de profundidades hasta el techo de los sedimentos consolidados.
- Obtener algunos parámetros físico-mecánicos orientativos (módulos elásticos, densidades), útiles para la confección de un proyecto de dragado lo más eficaz y económicamente posible del área estudiada, a través de las mediciones geofísicas " in situs", por ejemplo con el método de refracción sísmica.
- Detectar y ubicar los objetos sumergidos, que yacen parcial o totalmente cubiertos por sedimentos friables y que por sus dimensiones y constitución puedan impedir o limitar los trabajos de dragado dependiendo fundamentalmente de la batimetría y la profundidad hasta el techo de los sedimentos consolidados (túneles, sifón para residuales, afloramientos rocosos aislado, grandes pesos muertos).
- Con la aplicación combinada del Sonar de Barrido Lateral, Hidromagnetómetro Protónico y el sondeo batimétrico acompañante cartografiar grandes extensiones, por ejemplo el Canal de acceso al puerto de Cárdenas, en un período de tiempo mucho menor que con el empleo de otras metodologías (levantamiento hidrográfico) micro - localizándose las causas y los lugares de mayores afectaciones tanto en la sedimentación como en la señalización, lo cual permite concentrar los recursos en estas direcciones.
- Los métodos de la geofísica marina, especialmente la Sismoacústica y el Sonar de barrido Lateral son altamente productivos y nos brindan una información continua del área estudiar sobre los limites en la vertical (profundidad), los espesores de sedimentos y las particularidades del fondo en la horizontal que determinan el dragado



Bibliografía

- Bello, R y S Medina. (1999): Batimetría ingeniera para la proyección de un Emisario Submarino en la zona de La Puntilla. Municipio Playa. Geocuba Estudios marinos.
- Menéndez, J. (1951): El túnel de Almendares. Revista Sociedad Cubana de Ingenieros. Vol. 11.
- Martínez, R. (1990): Informe ingeniero-geológico para proyecto técnico ejecutivo, Sifón para residuales bajo el río Almendares. ENIA
- Perdomo, J. L. (1998): Resultados de las investigaciones geólogo-geofísicas para el dragado de limpieza del canal de acceso al puerto de Cárdenas. Bahía de Cárdenas. Geocuba Estudios Marinos.
- Perdomo, J.L. (1999): Resultados de las investigaciones geólogo-geofísicas para el dragado de un sector del río Almendares desde Boca de la chorrera hasta el puente de Piedra.
- Perdomo, J.L. y G. Godínez. (2000): Investigaciones ingeniero – geológicas y geofísicas para la remodelación y ampliación de marina Gaviota. Varadero, Matanzas.



ANALISIS GEOMORFOLOGICO PRAGMATICO AMBIENTAL EN EL EXTREMO CENTRO ESTE DE LA SIERRA DE LOS ORGANOS

Yhoama González Jorge⁽¹⁾, Mario G Guerra Oliva⁽¹⁾, Marina B. Vega Carreño⁽²⁾, Ernesto Flores Valdes⁽³⁾.

⁽¹⁾*Instituto de Geofísica y Astronomía*

⁽²⁾*Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría*

⁽³⁾*Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos*

RESUMEN

En las investigaciones sobre la temática de riesgos, la información geomorfológica juega un papel fundamental ya que permite conocer a priori las características naturales que hacen vulnerable a la zona de estudio. Sobre esta base y para el estudio de peligros de la región centro este de la Sierra de los Órganos fue preparado el mapa geomorfológico pragmático a escala 1:100 000 utilizando un sistema de Información Geográfica y toda la información topográfica, geológica, hidrogeológica disponible. Los resultados del análisis de la información existente fueron reflejados en el mapa pragmático, el cual caracterizó la zona desde el punto de vista de los principales peligros que pueden afectarla.

Los principales escenarios de peligros identificados fueron: la erosión, inundaciones lineales y areales, nodos morfoestructurales y procesos cársmicos en general. Se pudo apreciar que de todos estos procesos el fenómeno más regionalizado es el proceso de disolución de los carbonatos (Carso), el cual se manifiesta en la zona con diversos grados de desarrollo en sus formas del relieve, tanto superficiales como subterráneas y donde fueron identificados sus sistemas morfodinámicos ambientales. A partir del estudio también fue posible reconocer la marcada dependencia de la localización de cada uno de estos escenarios de peligros con la geología (litología) y la tectónica existente.

ABSTRACT

Geomorphologic information plays an important role in the management of disasters because it allows to know characteristics from studied area, that make it vulnerable, accurate and easily. Therefore a pragmatic geomorphologic map is prepared to study hazard in center-eastern area from Sierra de los Organos. This map was prepared at scale 1:100 000 using different tools from Geographic Information Systems and all topographic, geological, hydrological information available. The results, obtained after analyzed all information, are showed in pragmatic map where it reveals principal areas affected by different hazards.

Main processes recognized in this area as hazard were: erosion, flooding, seismic and dissolution (Karst). The last process was considered more widespread although it reveals a different develop degrees and landforms (shallow or underground). Environmental and geomorphologic systems were identified and also established dependence among location of hazard units and geology and tectonics process.

Introducción

En las investigaciones sobre la temática de riesgos, la información geomorfológica juega un papel fundamental ya que permite conocer a priori las características naturales que hacen vulnerable a la zona de estudio.

Esta información geomorfológica puede ser expresada de diferentes formas teniendo en cuenta los objetivos de realización de los levantamientos. Los levantamientos sintéticos revelan las



relaciones ambientales entre las expresiones del terreno y los factores del paisaje; a su vez, los levantamientos analíticos proporcionan información sobre formas del relieve y procesos que ocurren destacando la morfogénesis y la morfocronología de ellos (Verstappen y Van Zuidam, 1991).

La interpretación de forma combinada de la información resultante de los anteriores levantamientos permite obtener mapas más aplicados a los estudios de peligros, los cuales utilizan las unidades de mapeo y la información geomorfológica detallada (proveniente de los mapas analíticos) y el contexto ambiental y las relaciones ecológicas del paisaje (proveniente de los mapas sintéticos) para asociar las diferentes unidades morfodinámicas y sus escenarios de peligro con los eventos naturales amenazantes frente a las cuales ellas son vulnerables. Esta interpretación es plasmada en un mapa geomorfológico pragmático el cual revela los resultados de investigaciones geomorfológicas guiadas desde el principio por un propósito específico frecuentemente en el contexto de un proyecto de planificación del desarrollo. (Verstappen y Van Zuidam, 1991).

Con el propósito de realizar posteriormente un mapa de peligros de la región centro este de la Sierra de los Órganos fue preparado un mapa pragmático que sirviera de base para este objetivo.

Materiales y Métodos

El mapa geomorfológico pragmático fue realizado a escala 1:100 000 utilizando un sistema de Información Geográfica (SIG). Para la preparación de los datos fue recopilada toda la información topográfica, geológica, hidrogeológica disponible. Los materiales en copia dura fueron digitalizados por el Grupo de Estudios Regionales y el Instituto de Geología y Paleontología, quienes proporcionaron el Modelo de Elevación Digital y el mapa geológico respectivamente. Estos, junto a otros datos ya digitales, fueron introducidos dentro del SIG en forma de capas.

- Modelo Digital de Elevaciones (formato ráster)
- Mapas morfométricos: Pendientes, Dirección de la pendiente, Disección vertical (formato ráster).
- Red de drenaje (formato vectorial)
- Mapa Geológico (formato vectorial)
- Mapa Tectónico (formato vectorial)

El mapa geomorfológico (Fig.1) fue obtenido sobre la base del análisis de los pisos altitudinales (Mapa Hipsométrico) existentes en el relieve y su reflejo en la geología. Este mapa fue el producto de la reclasificación del modelo de elevación digital teniendo en cuenta los criterios de Díaz et al (1986). En él se manifiesta la información de las morfoestructuras presentes y su asociación con los diferentes tipos de relieves. Estos relieves se dividieron en ambientes y sistemas morfodinámicos, sobre morfoestructuras cársicas y no cársicas.

La identificación de los ambientes morfodinámicos, se realizó en base al reconocimiento de las unidades con características homogéneas del territorio en cuanto a condiciones climáticas y morfoestructurales. La identificación de los sistemas ambientales, tuvo en cuenta la homogeneidad geomorfológica y litológica contenida dentro de estos ambientes (rasgos de procesos geomorfológicos y de detalle). Cendrero, et al (1994) y Verstappen and Van Zuidam (1991).



Estos sistemas morfodinámicos fueron obtenidos reclasificando el mapa geológico y agrupando las rocas de acuerdo a su composición litológica. Para ello se identificaron los diferentes complejos litológicos no carsificados y carsificados y a su vez dentro de estos complejos, identificados los sistemas morfodinámicos.

La clasificación de los sistemas morfodinámicos carbonatados fue realizada según los conceptos básicos acerca del carso de Llopis (1989), la información de diferentes autores sobre este proceso en la Sierra de los Órganos así como del relieve procedente del MDE.

Finalmente fueron identificados como sistemas cársicos a aquellas unidades geomorfológicas que por sus características morfológicas e hidrológicas de sus formas de absorción (sumideros), de conducción (cavernas) y de emisión (surgencias) constituyen entidades geomorfológicas e hidrológicas independientes.

Las formas de absorción, circulación y emisión no fueron cartografiadas por la escala del trabajo, sin embargo se presenta un corte esquemático representativo que muestra el funcionamiento de estos relieves cársicos de montañas en la Sierra de los Órganos incluyendo los tres grupos de formas del relieve anteriormente mencionados y su ubicación en estos macizos. Los sistemas a su vez fueron diferenciados atendiendo al grado de conocimiento de la exploración geoespeleológica y del funcionamiento hidrológico asociado de sus formas de conducción.

Por ultimo, fueron identificados los procesos geomorfológicos generadores de peligros y establecida su relación con los sistemas ambientales identificados.

Resultados y Discusión

La Sierra de los Órganos pertenece a la unidad morfotectónica de los macizos meridionales contenida en el piso morfoestructural del basamento plegado de la isla de Cuba según la Clasificación Morfoestructural de Díaz et al.(1986). Se caracteriza por rasgos morfoestructurales primarios, derivados de la tectónica de mantos en la etapa orogénica y su posterior modelado en bloques verticales diferenciados a partir de levantamientos neotectónicos posteriores. La litología asociada a estos levantamientos y su evolución en el tiempo se manifiestan en los rangos de valores de alturas y en su morfología.

Se destacan tres regiones morfoestructurales (figura1): Las Alturas de Pizarras del Norte, del Sur y la Sierra de los Órganos cada una de las cuales, se caracteriza por sus propia peculiaridad morfoestructural y por un complejo propio de morfoesculturas. A su vez, ellas están divididas en el sentido de los meridianos, por zonas de grandes alineamientos geomorfológicos en correspondencia, con el cuadro morfoestructural regional de la provincia.

La región morfoestructural de las Pizarras del Norte contenida en la región, es un tipo de morfoestructura tectónico-erosiva de edad relativa N2-Q caracterizada, por relieves no cársicos de llanuras, con alturas entre 120-300m y aisladas submontañas, con alturas entre los 300-500m en forma de horst y bloques aplanados, parcialmente diseccionados, con ascensos neotectónicos moderados. Puede considerarse como un macizo homogéneo en toda su extensión, pero donde se observa una diferenciación clara en bloques transversales.

La región morfoestructural de las Pizarras del Sur se caracteriza por relieves de alturas hasta 300-500m (submontañas), tectónico-erosivas también y en forma de horst y bloques en



ocasiones monoclinales y blindados, diseccionados, ligeramente diseccionados y planos. En esta unidad los relieves tienen una distribución característica destacándose principalmente hacia el centro, las submontañas, las cuales son bordeadas al norte y sur por alturas.

En ambas regiones los ríos siguen el patrón estructural y los valles constituyen límites entre los distintos tipos de relieve, ya que los mismos aprovechan las depresiones estructuro-litológicas.

La unión de estas dos regiones morfoestructurales constituye en si un ambiente morfodinámico denominado Alturas de Pizarras del Norte y el Sur que a su vez contiene determinados sistemas. Los sistemas de las Pizarras del Sur se limitan a sistemas en rocas terrígenas del complejo plegado de la formación San Cayetano, de edad J_{1-2} , que se extienden en forma de franjas a lo largo de la región. Hacia el Norte los sistemas están ubicados en rocas terrígenas, como fue anteriormente descrito, y en sedimentos poligenéticos. Las cortezas de intemperismo de las rocas provenientes de los sistemas cartografiados como Formación San Cayetano son

muy susceptibles de ser erosionadas por lo que aparecen señaladas en el mapa como zonas más vulnerables desde el punto de vista de los procesos erosivos denudativos y movimientos espontáneos de masas que pueden ocurrir en ella, así como las inundaciones de tipo lineal relacionadas con la red de drenaje.

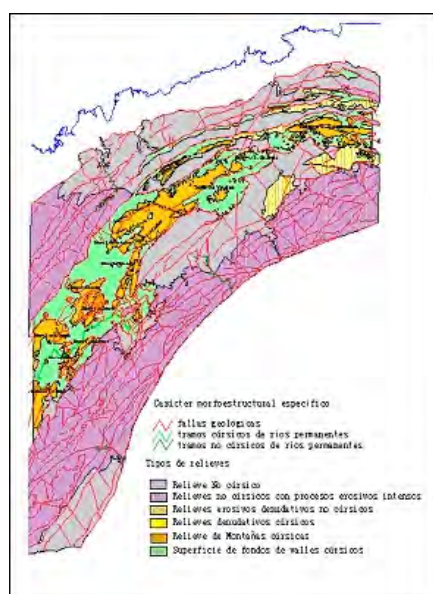


Figura 1 Mapa Geomorfológico pragmático

La otra región morfoestructural se corresponde con la Sierra de los Órganos, con morfoestructuras tectónico-litológicas-denudativas cársicas de edad relativa N2-Q. Los relieves van desde llanuras hasta montañas (500-1000m), estos últimos en sistemas de bloques y horst en mantos de sobrecorrimientos donde predominan las rocas carbonatadas. Esta región Sierra de los Órganos es peculiar dentro de los macizos cársicos de Cuba por la cantidad y diversidad de formas superficiales y subterráneas que presenta. Todo lo anterior conlleva a

que la región morfoestructural se describa mediante dos tipos de ambientes morfodinámicos diferentes: las superficies de fondos de valles cársicos, que constituyen la base de los mogotes y descritas morfoesculturalmente como llanuras, dolinas y valles (entre las negativas) y la

Sierra de los Órganos, que contiene las estructuras positivas cársicas (con predominio de cúpulas y conos llamados mogotes).

Los ambientes de superficies de fondos de valles cársicos se describen como superficies planas y formadas por sedimentos y depósitos aluviales y deluviales provenientes de rocas no carsificables muy vulnerables de ser inundadas.

El ambiente morfodinámico Sierra de los Órganos a su vez se dividió en sistemas atendiendo a la independencia hidrológica y geomorfológica de las entidades: Los sistemas fueron cartografiados como: Sierra de los Órganos, Sierra de Mesa, Sierra de San Carlos, Sierra del Resolladero, Sierra de Pica Pica, Sierra del Sumidero, Sierra de Gramales, Sierra de Cabezas, Sierra Quemado, Sierra La Cazuela, Sierra La Mar, Sierra Pan de Azúcar, Sierra de Celadas,



Sierra Chichones, Sierra del Infierno, Sierra del Medio, Sierra de Ancón, Sierra de Galeras, Sierra Guasasa, Sierra Guacamaya.

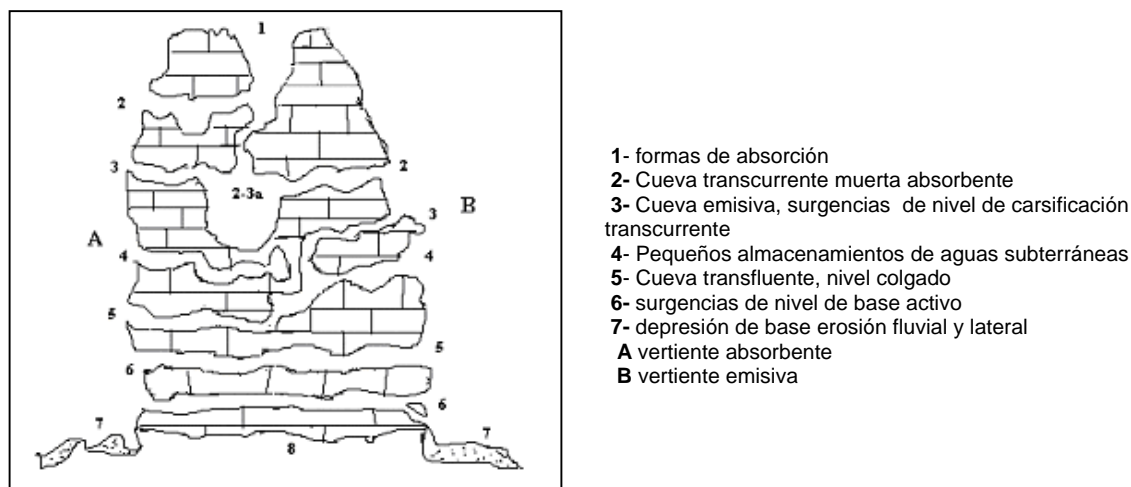
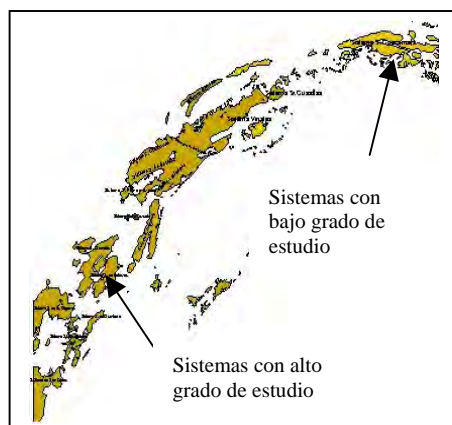


Figura 2 Corte Esquemático del funcionamiento hidrológico

La morfología de cada uno de estos sistemas es el resultado de la evolución del macizo frente a los procesos denudativos cárscicos, estructuro-tectónicos y la erosión fluvio-cárscica por lo que



algunas formas del relieve características de los procesos cárscicos pueden ser cartografiados en ellos. Un resumen de las formas del relieve superficiales y subterráneas que constituyen las formas de absorción, circulación, emisión de los sistemas y que a su vez caracterizan a los macizos cárscicos de la Sierra de los Órganos es presentado en la figura 2.

Es importante resaltar que no todas las formas anteriores existen para cada uno de los sistemas de esta región morfoestructural ya que la aparición o no de las formas depende de la evolución individual de cada uno de los sistemas. Sin embargo, se destaca que pueden existir

algunas de estas formas aún desconocidas para los macizos, lo que se atribuye a la diversidad en profundidad de grados de estudio y en accesibilidad a los sistemas que no permiten exploraciones espeleológicas detalladas (Figura 3).

La región morfoestructural Sierra de los Órganos tiene como peligros geomorfológicos asociados las caídas de material provenientes de este ambiente (formas positivas) y los derrumbes que tienen lugar en el interior de las innumerables cavernas que posee. Las formas de absorción, que en determinadas ocasiones pudieran estar relacionadas también con fenómenos de derrumbes pueden ser inferidas a partir de correlaciones con nodos estructurales. (Comunicación personal Ernesto Flores, Leslie Molerio). Otro peligro importante que se desarrolla en estas cavernas son las inundaciones.



Conclusiones

- Tal como ha sido descrito la erosión, inundaciones lineales y areales, derrumbes y caídas de material son los principales escenarios de peligros identificados en la Sierra de los Órganos.
- Es posible apreciar que de todos estos procesos el fenómeno más regionalizado es el proceso de disolución de los carbonatos (carso), el cual se manifiesta en las zonas con diversos grados de desarrollo en sus formas del relieve, tanto superficiales como subterráneas.
- Se reconoce la marcada dependencia entre la localización de cada uno de los escenarios de peligros con la combinación de litología y tectónica existente.

Recomendaciones

- Desarrollar trabajos de investigación a escalas más detalladas que permitan profundizar en los diferentes peligros que ocurren en la zona.
- Continuar las exploraciones espeleológicas que permitan estandarizar el grado de estudio de los diferentes sistemas del ambiente Sierra de los Órganos e incorporar toda esta información a una base de datos digital que permita una fácil interacción y actualización.

Referencias bibliográficas

- Cendrero A, J. R Díaz y E. Francés, 1994: Geología y Ordenación de espacios litorales: Análisis de casos. Separata
- Colectivo de autores, 1999: Mapa Geológico escala 1:100 000 Instituto de Geología y Paleontología, MINBAS.
- Díaz-Díaz J.L, 1986: Resumen del mapa geomorfológico de la Sierra de los Órganos 1:250 000. Manuscritos. Instituto de Geografía.
- Díaz-Díaz, J. L. et al., 1986: Los Principios Básicos de la Clasificación Morfoestructural del Relieve Cubano y su Aplicación en la Región Centro – Oriental de Cuba. ACC. Instituto de Geografía Tropical.
- González, Y., M. Vega, y K. Zubiaur, 2000: Procesamiento automatizado de la red de drenaje para la obtención de características litológicas y estructurales de la Sierra de los Organos. En CD Memorias 5to. Taller Internacional Informática y Geociencias, Ciudad Habana, marzo del 2000 ISSN 1028-8961.
- Guerra, M. G., 2002: Atributos e Indicadores Geomorfológicos Ambientales en los diferentes sistemas morfodinámicos ambientales cubanos. Forum XIV de Ciencia y Técnica IGA 2002. Libro de Resúmenes.
- Guilarte, C. M., P. J. Astraín, I. Díaz, 1995: Tecnología para la creación del modelo digital del relieve y cálculo de los modelos digitales morfométricos [inérito] Unión de Construcciones, EMPI
- Llopis-Llado N., 1989: Fundamentos de la Hidrogeología carsica. Introducción a la Geoespeleología. Editorial Pueblo y Educación.
- Van Zuidam, R. A, 1985: Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping Smith Publishers, The Hague, The Netherlands, 442 pp.
- Vega M, Y. González, K. Zubiaur, y J. L. Gil, 2000b: Utilidad del empleo de datos digitales del relieve y el drenaje de una región para estudios geológicos. Aplicación en la Sierra de los Organos. En CD Memorias II Congreso Internacional de Geomática, Ciudad Habana, mayo del 2000, ISBN 959-7160-01-3.



- Vega, M., K. Zubiaur, y Y. González, 2000a: Empleo del modelo digital del terreno para el estudio morfométrico de la Sierra de los Organos. En Memorias 5to. Taller Internacional Informática y Geociencias, Ciudad Habana, marzo del 2000. ISSN 1028-8961
- Verstappen H. Th., Van Zuidam R. A, 1991: El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos. Una base para la evaluación de recursos y riesgos naturales. Imprenta International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). p 89
- Verstappen y VanZuidam, 1991: El Sistema ITC para Levantamientos Geomorfológicos. ITC. Publicación Número 10



UTILIZACION DE LOS DATOS INGENIERO-GEOLÓGICOS, HIDROGEOLÓGICOS Y TECTÓNICOS EN LA MICROZONACION SÍSMICA DE ÁREAS DE OBJETIVOS ECONÓMICOS IMPORTANTES

Bertha E. González Raynal y Luis D. Pérez Lara

*Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Departamento Ciudad Habana
Calle 212 No 2906 e/29 y 31, Rpto. La Coronela, Lisa, Ciudad Habana
Telefs. 271 0953 271 0209 271 0644 271 4331 Telefax. 33 9497 e-mail cenais@iga.cu*

RESUMEN

El análisis de los datos ingeniero-geológicos, hidrogeológicos y tectónicos constituyen la base fundamental de las investigaciones de microzonación sísmica de asentamientos poblacionales y áreas de futura construcción de objetivos económicos importantes. Cuando se trata de ciudades y poblados, la información disponible para estos fines es generalmente escasa y se resume a la microlocalización de obras con una distribución irregular dentro del territorio. Además, son pocas las determinaciones de propiedades físico-mecánicas para las escalas de estos trabajos que oscilan, por lo general entre 1: 5000 y 1: 25000.

Por el contrario, esto no ocurre en las áreas de futuro emplazamiento de objetivos económicos de importancia capital como las Centrales Electronucleares, Centrales Hidroeléctricas y otras obras similares que poseen normas estrictas que deben ser de obligatorio cumplimiento para el otorgamiento de las licencias de construcción.

Mediante la realización de estas investigaciones en áreas pequeñas, a escalas muy detalladas, se ha obtenido información muy valiosa sobre relaciones cualitativas y cuantitativas, entre las características geológicas y la respuesta sísmica de los suelos que determinan la variación del efecto sísmico y la futura estabilidad de las construcciones.

Estas relaciones pueden ser extrapoladas, en muchos casos, a zonas de asentamientos poblacionales carentes de esta información para la realización de investigaciones de microzonación sísmica o determinación de la respuesta dinámica de los suelos.

En este trabajo, considerando como estudio de caso el área que había sido propuesta para la Central Electronuclear del Norte de Oriente, ubicada en la provincia de Holguín, los autores analizan el comportamiento de algunos parámetros determinantes en las variaciones del efecto sísmico y la respuesta dinámica de los suelos del área.

Los resultados del mismo, muestran la complejidad del análisis de la información ingeniero geológica, hidrogeológica y tectónica con fines de microzonación sísmica, y al mismo tiempo, ponen en evidencia la necesidad de que se cuente con determinaciones correctas de las propiedades físico-mecánicas, que sirven de base a la clasificación de los suelos.

Se destaca el papel de los contrastes de rigidez sísmica entre las diferentes capas del subsuelo, en la respuesta dinámica, determinada tanto por métodos experimentales como numéricos, específicamente, en la posición y buena definición de los picos espectrales.

El análisis de la influencia de la tectónica local en la peligrosidad sísmica de áreas pequeñas, muestra que en las zonas de fallas y fracturas geológicamente comprobadas, se deben considerar incrementos de hasta + 0,5 grados de intensidad, y trazar corredores de seguridad a lo largo de dichas estructuras, por su potencial incidencia en la estabilidad de las edificaciones.

ABSTRACT

The behavior of different engineering-geological, and hidrogeological parameters that are determinant in seismic effect variations and seismic response of soils is analyzed in this paper. The former selected area for the construction of a nuclear power plant in northeastern Cuba was considered as a case study. Examples of the influence of local tectonics in the seismic hazard of small areas are also given.



INTRODUCCION

Las observaciones macrosísmicas sobre los efectos de los terremotos fuertes, muestran que los mayores daños ocurren, como promedio, en las estructuras que se asientan en suelos con condiciones geológicas desfavorables.

Ya en la década de los años 50, Popov, V. y otros investigadores rusos, estimaron las variaciones de la intensidad sísmica ΔI en la escala MSK, para una serie de perfiles típicos donde se integraban características geológicas, ingeniero-geológicas, hidrogeológicas y tectónicas generales de áreas ubicadas en diferentes zonas de la antigua Unión Soviética. La extrapolación de esos estimados a otros sitios donde no hayan sido reportados aun sismos fuertes, constituye la filosofía y el basamento del método de microzonación sísmica conocido por Analogías Ingeniero-Geológicas.

El método de Analogías Ingeniero-Geológicas como fue concebido originalmente por sus autores, posee un carácter cualitativo, y tiene el inconveniente de que para cada uno de los perfiles típicos, las variaciones de la intensidad sísmica pronosticadas son el resultado de la suma de las ΔI debidos a diferentes factores que no interactúan de la misma forma en todos los casos.

En los últimos años, dada la importancia que presenta la estimación precisa de las variaciones de la intensidad sísmica, especialmente en las áreas de construcción de objetivos económicos importantes, se han introducido algunos parámetros físico- mecánicos en el análisis y clasificación de los suelos en categorías. Estos parámetros son, entre otros el índice de consistencia (**lc**), el coeficiente de poros (**e**), la porosidad (**n**), la resistencia a compresión (**Rc**) y la rigidez sísmica (**ρV**), donde **ρ** es la densidad y **V** la velocidad de propagación de las ondas sísmicas longitudinales o transversales.

Por otra parte, se ha logrado estimar cuantitativamente la influencia de la humedad del suelo, la profundidad de yacencia del manto freático y la tectónica de fallas en el peligro sísmico local.

El objetivo de este trabajo, es abordar la problemática del calculo de las variaciones del efecto sísmico básico, que pueden producir los mencionados factores de forma general e individual, tomando como ejemplo el área propuesta para la construcción de una central electronuclear en la zona nortoriental de nuestro País. La razón de utilizar como ejemplo estas áreas, es la detallada escala de trabajo y la cantidad, precisión y calidad de los datos geológicos que sirven de base a la microzonación sísmica de las mismas.

IDENTIFICACION DE CONDICIONES INGENIERO-GEOLÓGICAS TÍPICAS

El Método de Microzonación Sísmica de las Analogías Ingeniero-Geológicas, se basa en la identificación dentro del área investigada, de condiciones análogas o similares a ciertas condiciones típicas para las cuales, las variaciones de la intensidad sísmica son conocidas de antemano (Medvedev, 1973 y 1977). Esta identificación permite realizar una predicción de estas variaciones con respecto a un suelo promedio (de categoría II), donde $\Delta I=0$, y de los incrementos de la intensidad sísmica con respecto al granito. Este ultimo estimado, resulta muy útil cuando se determina el factor de amplificación del suelo por métodos experimentales o numéricos, con respecto a la roca.

Como estudio de caso, se seleccionó un área de 3 km² de superficie, que constituía el emplazamiento propuesto para la construcción de la Central electronuclear del Norte de Oriente



(González, B. y otros, 1991). La misma está constituida, en su mayor parte, por sedimentos eluviales que conforman la corteza de intemperismo de rocas básicas y ultrabásicas del Cretácico.

En dicha área fueron identificados los perfiles típicos 4, 7, 8, 10 y 11 de la clasificación de Popov (Medvedev, 1977). El perfil con mayor representatividad es el compuesto por eluvio de rocas y semirrocas en estado húmedo o seco. A este perfil le corresponden incrementos de la intensidad sísmica de +1.

En la Fig.2 se muestran las columnas litológicas de 22 calas ingeniero-geológicas interceptadas por dicho perfil. En las mismas se observan variaciones en lo que respecta a la composición litológica y granulométrica del eluvio, que está en dependencia de la naturaleza de la roca y de su grado de meteorización. Por otra parte, existen diferencias significativas en la potencia de la capa eluvial y en las profundidades de yacencia del manto freático.

Los factores antes mencionados, inciden en la peligrosidad sísmica a escala local y por esta razón, las variaciones de la intensidad sísmica ΔI corresponden a este perfil típico no resultan iguales en todos los casos.

CLASIFICACION DE LOS SUELOS EN CATEGORIAS

Para la clasificación en categorías se utilizó, en este caso específico, la Norma SNIP II-7-81. En dicho código se establece que para la diferenciación de las categorías II y III de los suelos, se deben considerar los valores del índice de consistencia I_c y del coeficiente de poros e .

En el caso de las rocas y semirrocas, para determinar si pertenecen a las categorías I y II, se toman en consideración otros parámetros como la porosidad n , la densidad natural ρ y la resistencia a la compresión R_c .

Los parámetros I_c y e están íntimamente relacionados con la humedad del suelo (W). Por ejemplo, los valores de e (superiores a 1,0) están asociados, por lo general, a suelos arcillosos húmedos ($W > 25\%$) (Bajtanova, A., 1973).

Ha sido demostrado experimentalmente que la humedad del suelo incrementa el efecto sísmico. S. V. Medvedev (1977) obtuvo la relación empírica siguiente:

$$\Delta I = e^{-0,04h^2} \quad \text{donde } h \text{ es la profundidad de yacencia del manto freático} \quad (1)$$

Mediante esta fórmula se estimaba el incremento debido a ese factor. Sin embargo, investigaciones geólogo-geofísicas realizadas posteriormente, demostraron que dentro del intervalo $h=0-10$ m, las variaciones de la intensidad sísmica no coincidían para todos los tipos de suelo. Debido a esto, Ershov (1983), introdujo un coeficiente en la fórmula anterior, que puede tomar valores entre 0-1 en función de la composición litológica, granulométrica y grado de compactación del suelo. A medida que el suelo sea más compacto, el coeficiente disminuye hasta alcanzar el valor cero para la roca sana.

En el área investigada, el valor del coeficiente de poros e , oscila entre 0,57 y 0,80. Este amplio intervalo de variación, es una muestra de la heterogeneidad en la composición del eluvio, a la que se hace referencia anteriormente.



De acuerdo con la curva teórica de variación de la intensidad ΔI en función de e (Bajtanova, A. N., 1973) (Fig. 3), ΔI puede oscilar entre 1,3 y 2,1 dentro de un área; aunque en nuestro caso específico no supera el valor de 1,5.

La velocidad de propagación de las ondas sísmicas longitudinales V_p , que caracteriza el comportamiento del suelo, disminuye con el aumento de e . En la Fig. 4, aparece representada, con línea discontinua, la curva de dependencia entre V_p y e obtenida por los autores, a partir de los datos experimentales del área investigada, donde predominan las rocas básicas intemperizadas. En la misma figura aparece representada con línea continua, la curva obtenida por Bajtanova (1973) para las rocas carbonatadas. Del análisis comparativo de ambas curvas, se puede concluir que la velocidad de propagación de las ondas sísmicas longitudinales V_p , disminuye de forma mas o menos brusca con el aumento de e , para los diferentes tipos litológicos.

INFLUENCIA DE LA TECTONICA LOCAL EN EL INCREMENTO DE LA INTENSIDAD SISMICA

Las fallas y fracturas que afectan un área, deben ser consideradas en los trabajos de microzonación sísmica, por constituir un peligro potencial para las construcciones.

La zona dislocada constituye un volumen donde la roca presenta una alteración de sus propiedades físico-mecánicas. En muchos casos, las dimensiones de esta zona son considerables si se le compara con las de las edificaciones que pueden ser construidas dentro o en las proximidades de su radio de influencia.

En la actualidad no existe una clasificación única de las fallas desde el punto de vista ingenieril. No obstante, con los fines de la microzonación sísmica, resulta de interés clasificar las mismas, atendiendo a su longitud, ancho y capacidad de actuar como barreras, que puedan condicionar, en un momento dado, las condiciones hidrogeológicas locales.

De acuerdo con el criterio de algunos autores (Kriger et al., 1981), resulta también imprescindible tener en cuenta la constitución y características particulares de la zona de dislocación tectónica, su influencia en el campo de ondas sísmicas y la posibilidad de que dicha zona ocurran desplazamientos.

En las zonas de fallas, cuyo ancho puede variar desde centímetros hasta los cientos de metros, se identifican subzonas con diferente grado de alteración. En la microzonación sísmica resulta importante conocer el espesor de la zona triturada y las características de estas subzonas, para poder determinar cuan diferente es su comportamiento del de las zonas vecinas.

Sobre la base de algunas determinaciones de la densidad ρ y de la velocidad de propagación de las ondas longitudinales V_p en los basaltos milotinizados y sanos, que entran en la constitución del área de estudio fueron puestas en evidencias algunas diferencias en su comportamiento.

En la Fig. 5, se muestran los histogramas de la frecuencia de ocurrencia en diferentes intervalos de densidades para el basalto resistente y el alterado, perteneciente a la zona afectada.

De igual forma se estudió la distribución de las velocidades para ambos tipos de basalto. En la tabla 1 aparecen los valores medios de ρ y V_p , así como las rigideces sísmicas



correspondientes (ρ, V_p). Además, se muestra el incremento de la intensidad sísmica en la zona de basalto alterado con relación al basalto sano, calculado con ayuda de la relación:

$$\Delta I = 1,67 (\log \rho_o V_o - \log \rho_i V_i) \text{ Medvedev, 1973) } \quad (2)$$

Tabla 1 Incremento de la peligrosidad sísmica en el basalto dislocado

Descripción	Vp (m/s)	ρ (g/cm ³)	$\rho_i V_i$	ΔI
Basalto sano	4600	2,52	11592	0
Basalto dislocado	3100	2,39	7528	+0.3

El valor obtenido es relativamente pequeño en comparación con el de las rocas como las calizas, susceptibles de ser afectadas por los agentes de meteorización, que puede llegar a +0,5 o más (Krigger et al, 1981).

Influencia de los contrastes de la Rigidez Sísmica (ρV) en profundidad y la respuesta sísmica del subsuelo

La comparación de los contrastes de la rigidez sísmica en la horizontal para una profundidad constante, generalmente igual a 10 metros, constituye la información de base para el calculo de las variaciones de la intensidad sísmica, mediante el conocido método de la rigidez sísmica (Medvedev, V., 1973, 1977). Sin embargo, para el calculo de la respuesta dinámica del subsuelo donde se debe determinar el periodo fundamental a partir del espectro de los microsismos o los terremotos, los contrastes de rigidez sísmica entre las capas, constituyen el factor fundamental. Cuando el contraste entre las capas friables y la roca de base es alto, es decir superior a 3-4, se obtienen en los espectros de Fourier, picos bien definidos y pronunciados. Por el contrario, cuando este contraste es débil (2-3), como en el caso de las rocas, donde el aumento de la velocidad con la profundidad es gradual (eluvio de rocas meteorizadas), se obtienen espectros multimodales, donde no existe un pico preferencial. El espectro en el caso de los microsismos de periodo corto se asemeja al espectro de la fuente.

En el área investigada, compuesta predominantemente por sedimentos eluviales, la velocidad aumenta gradualmente con la profundidad ya que la capa superficial se compone de arcillas residuales que transcisionan a suelos formados por fragmentos de roca, y a mayor profundidad, rocas con diferente grado de meteorización. Por esta razón, los resultados obtenidos con el método de los microsismos no arrojan resultados satisfactorios, pese a que se utilizaron estaciones selectoras por frecuencias que permiten registrar estas señales para diferentes bandas, realizando un filtrado de las mismas. Se debe destacar, sin embargo, que las mayores variaciones del efecto sísmico se observan en las componentes de alta frecuencia del espectro.

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo muestran la complejidad del análisis de la información ingeniero-geológica, hidrogeológica y tectónica, en las áreas que serán objeto de investigaciones de microzonación sísmica y a la vez, poner en evidencia la necesidad de contar con determinaciones correctas de las propiedades físico-mecánicas, que sirven de base a la clasificación de los suelos en categorías y al calculo de la respuesta sísmica de los mismos. En particular presentan gran importancia la densidad y las velocidades de propagación de las ondas sísmicas (V_p, V_s).



El análisis de la influencia de la tectónica local en la peligrosidad sísmica de áreas pequeñas da como resultado que en las zonas de fallas y fracturas geológicamente comprobadas, deben ser considerados incrementos de hasta +0,5 grados de intensidad en la escala MSK y trazados corredores de seguridad a los largo de esas estructuras disyunctivas. Esto cobra una mayor importancia en las áreas de emplazamiento de objetos de obra de importancia capital.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BAJTNOVA, A. H. (1973): Relaciones de correlación entre parámetros ingeniero-geologicos y sísmicos. Microzonación Sísmica No 1, Dushambé (en ruso).
- ENIA No 6 Holguín (1985): Informe de las investigaciones ingeniero-geologicas del área de la CEN del norte de Holguín.
- ERSHOV, I. A. et al (1983): Microzonación sísmica del área de la CEN de Juraguá, Cienfuegos. Estimación de la Peligrosidad Sísmica de las Zonas de Baja Actividad: Cuba Central (en ruso).
- GONZALEZ, B. E. et al (1989): Microzonación Sísmica de la ciudad de Santiago de Cuba. Comunicaciones Científicas sobre Geofísica y Astronomía No 15.
- GONZALEZ, B. E. et al (1991): Microzonación Sísmica de las Variantes 2 y 10 de la CEN del Norte de Oriente. Informe Fondos del CENAIIS.
- KRIGGER, N. I. et al (1981): Tectónica de fallas y microzonación sísmica. Zonas Focales y Oscilaciones del Suelo. Ed. Nauka, Moscú (en ruso).
- Technical Committee for Earthquake, TC4, ISSMFE (1993): Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards Japan.
- MEDVEDEV, S. V. (1973): Recomendaciones para la Microzonación Sísmica RMS-73. Serie "Cuestiones de Ingeniería Sísmica", Vol. 15, Moscú (en ruso).
- PAVLOV, V. y ROGOZHINA, (1984): Microzonación Sísmica. Ed. Nauka, Moscú (en ruso).



MICROZONACION SISMICA Y RESPUESTA DINAMICA DE SUELOS DE LA CIUDAD DE GUANTANAMO Y SUS ALREDEDORES PARA PLANEAMIENTO URBANO.

José Alejandro Zapata Balanqué

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Calle 17 No. 61 e/ 4 y 6, Vista Alegre, Santiago de Cuba, CP 90 400, Cuba. C-Elect: zapata@sssn.ciges.inf.cu zapata@cenais.ciges.inf.cu

RESUMEN

Como apoyo al planeamiento y la confección de los planes contra catástrofes se presenta, a escala 1:25 000, para la ciudad de Guantánamo un mapa de microzonación sísmica a partir de la información litológica, sus propiedades físico - mecánicas y los niveles de las aguas freáticas; a partir de las cuales se determinan los periodos de vibración de los suelos y la variación de las intensidades en caso de sismos fuertes. Para su procesamiento se utiliza una variante metodológica de microzonación sísmica utilizada anteriormente en la ciudad de Santiago de Cuba.

Se validan los resultados obtenidos evaluando los efectos sísmicos en valores (picos y efectivos) de aceleración, velocidad e intensidad, para los terremotos máximo de calculo y de proyecto, los espectros de respuesta y dinámicos de proyectos y sus curvas representativas, los cuales demuestran la potencialidad real de ocurrencia de los fenómenos descritos.

Con los registros digitales de terremotos con magnitudes entre 1.5 y 4.5 Richter, de la estación sismológica Guantánamo (GTMO), se determinan los factores de amplificación utilizando la metodología propuesta por Castro y otros, correlacionándolos con los resultados obtenidos por otros métodos.

ABSTRACT

A map of seismic microzonation as support to the urban planning and plans against catastrophes in scale 1:25 000, for the Guantanamo city, is presented, taking into account information on lithology, their physic - mechanical properties and the levels of the underground waters. From these parameters the periods of vibration of the soils and the variation of the intensities values are determined, in case of strong earthquakes. For data processing were used a methodological variant of seismic microzonation previously used in Santiago de Cuba city.

The obtained results are validated considering the seismic effects in terms (picks and effectives) of acceleration, velocity and intensity, for large earthquakes of design and maximal, the response and dynamical spectra and their representative curves, which demonstrate the real potentiality of occurrence of the described phenomenon.

With the digital recorders of earthquakes with magnitudes between 1.5 and 4.5 Richter, from the seismological station Guantanamo (GTMO), the amplification factors using the methodology proposed by Castro and other, are determined, correlating them with the results obtained by other methods.

Introducción.

Los trabajos de microzonación sísmica, riesgos geológico y sísmico en áreas urbanas requieren de un gran volumen de información, que con el empleo de los ordenadores es posible agilizar y aumentar las potencialidades del procesamiento (Japan Working Group, 1992 y AFPS, 1993). En la actualidad, se brinda especial atención tanto al diseño estructural como a la elección y conocimiento del sitio de construcción para la delimitación correcta de la relación suelo - estructura y el análisis de la respuesta dinámica de la edificación. Por esta causa se trata que las edificaciones sean capaces de soportar grandes solicitaciones.



Por todo lo anterior, tiene primordial importancia el conocimiento detallado de las condiciones geotécnicas del sitio y de las estructuras tectónicas locales, las cuales se utilizan en los mapas de pronóstico de riesgo para las ciudades de alta densidad poblacional. Estos se presentan como mapas de peligrosidad potencial de ocurrencia, donde se localizan zonas con diferentes niveles de potencialidad (Zapata, 1995). Estos mapas pronósticos son confeccionados para diversos fines.

Características litológicas y geomorfológicas.

A partir los tipos de suelos encontrados en perforaciones, Seisdedos et al (1984) confeccionaron una columna litológica generalizada que abarca toda el área analizada de la ciudad de Guantánamo y sus alrededores, constituidas por los siguientes estratos y su descripción:

- Estrato No. 1 - Capa vegetal y relleno (S4).
- Estrato No. 2 - Material calcáreo (S4).
- Estrato No. 3 - Suelos arcillosos (S4).
- Estrato No. 4a- Lutita, con intercalaciones de areniscas muy severamente intemperizadas en estado de un suelo duro (S3).
- Estrato No. 4b- Lutita, con intercalaciones de areniscas severamente intemperizadas (S2).
- Estrato No. 4c- Lutita intercalada con areniscas moderadamente intemperizadas (S2).
- Estrato No. 5 - Lutita con intercalaciones de areniscas en estado rocoso (S1).

Seisdedos et al (1984) plantean que a medida que nos alejamos de los cauces de los ríos hacia el E y el W en dirección a las divisorias de las cuencas hídricas, que los suelos aumentan su resistencia y son más duros y consistentes. Según estos autores el relieve se condiciona a la composición litológica de las rocas y suelos, a la erosión pluvial y fluvial, y a la tectónica, en la cual se analiza la presencia de fallas, grietas, el plegamiento de las rocas y la meteorización, tanto física como química. Por lo que estos factores tienen gran influencia en las condiciones específicas de las diferentes zonas.

Los ríos Jaibo y Guaso con sus afluentes forman meandros, valles simétricos y asimétricos. Debido a esto y a las características litológicas y estructurales antes expuestas, en los meandros se observa una parte escarpada, con pendientes mayores de 60 grados, por la erosión muy acentuada pero más estable. El buzamiento está en dirección contraria a la inclinación de la pendiente. La otra parte es llana y con ella ocurre la acumulación de los sedimentos fluviales y en otras zonas ambas márgenes son escarpadas, con intensa erosión lateral y de fondo sobre rocas blandas, en cambio ante las areniscas duras la erosión es menor.

Aplicación de métodos de microzonación sísmica.

Para la ejecución del trabajo se utilizaron los criterios metodológicos de estos métodos presentados por Zapata (1995), ajustados a la información recopilada para los trabajos en el área.

El área de estudio se encuentra enclavada en la cuenca de Guantánamo, que está limitada al Norte por la meseta del Guaso, al Oeste por la Sierra de Canasta, al Este por el río Hondo y al Sur por el río y la bahía de Guantánamo. Según las coordenadas de Lambert, su límites son:

X - 667 600 - 674 200 Y - 164 000 - 169 000



Para establecer sus características geológicas locales se utilizó la información de trabajos realizados en la cuenta tales como: Informe de la Brigada Cubano – Húngara (1975), diversos informes de investigaciones realizadas por las Empresas de Investigaciones Aplicadas (ENIA) y de Hidroeconomía (INRH). Se utilizó la fotointerpretación geológica a escala 1:27 000 con comprobaciones preliminares de campo a escala 1:25 000, que permitieron la confección de un esquema de zonación ingeniero-geológica (Seisdedos et al, 1984) y la confección de un esquema de microzonificación sísmica realizado por Zapata et al (1989) relacionado con el método de las analogías ingeniero-geológicas a partir de la aplicación de los métodos de categorías de suelos (Medvedev, 1973).

Por la necesidad de estos estudios en la ciudad de Guantánamo se evaluó la posibilidad de empleo de diferentes métodos de acuerdo con la información existente en cada etapa de trabajo. En la primera etapa aplicamos los métodos de analogías y de rigidez acústica por propiedades físico - mecánicas. La regionalización ingeniero geológica realizada sobre la base de las variadas condiciones geomorfológicas, geológicas, hidrogeológicas, geotécnicas y estado físico de las rocas, donde destaca la homogeneidad del área en sentido general, así como la gran similitud de sus propiedades físico mecánicas, del relieve y de las condiciones geológicas dada por la aparición sólo de la formación San Luis y en una porción pequeña la formación Jamaica, motivo por lo cual cualquier perforación atraviesa por lo general todos los estratos descritos.

La zona más favorable dentro del área de estudio que incluye la ciudad, con los extremos del polígono en las coordenadas 668 500 y 164 500, 669 400 y 168 700, 670 000 y 164 500, 672 400 y 166 500, está localizada en las divisorias de los parteaguas con alturas relativas que no sobrepasan los 70 metros. Por este motivo, los niveles de las aguas freáticas están a más de 4 m y aparecen pozos secos. Se desarrollan en el área suelos de categoría II según criterios ingeniero-geológicos basados en que el número de golpes promedio de la cuchara cubana fluctúa entre 18 y 30 golpes (Seisdedos et al, 1984).

Para caracterizar la distribución de los estremecimientos a esperar como resultado del análisis del esquema de analogías ingeniero-geológicas la información más relevante está en la gran potencia de sedimentos existentes, la litología del suelo patrón, la profundidad de los niveles de las aguas freáticas y la distribución de los espesores de los sedimentos menos consolidados, por lo cual en el área se puede clasificar en tres tipos (**Figura 1**):

1. Variaciones de intensidades mucho mayor de un grado de intensidad;
2. Variaciones de intensidades de un grado de intensidad;
3. No tienen variación con respecto al sismo ocurrido en el suelo tomado como patrón.

Como resultado vemos que dentro del área habitada encontramos que la primera zona es la menos extendida y aparece a ambos lados del río Guaso, con un ancho como máximo de 200 metros y se delimita por la cuenca de inundación actual. La segunda zona, que es la más extendida, aparece hacia el centro de N a S y al E de la ciudad, después de pasar el río Guaso, y la tercera tiene su mayor área hacia el W al centro y S.

Por la no existencia de trabajos geofísicos de sísmica somera en el área, y existir información de propiedades físico mecánicas de los suelos descritos, se aplicó el método de las rigideces acústicas (Zapata et al, 1989), lo cual permitió calcular las velocidades de las ondas transversales con el programa SMU1 (Zapata y Leyte-Vidal, 1990) a partir del número de golpes, las densidades y el espesor de los diferentes estratos.



Al observar el esquema de distribución de las velocidades efectivas notamos que el rango de velocidades transversales, que oscila entre 80 y 240 m/s, permite considerar las litologías existentes como suelos y semirrocas. Vemos que en el área urbana los valores oscilan entre 160 y 240 m/s, y que estos resultados son un producto de la influencia de la poca profundidad de estudio en las perforaciones, por lo que el contraste de velocidades puede ser poco informativo (**Figura 2**). En el esquema de distribución de rigideces acústicas (**Figura 3**) los valores oscilan entre 250 y 480. En las variaciones de intensidad sísmica por rigidez acústica los valores oscilan entre - 0,1 y 0,36 se observa que las isolíneas siguen la forma del comportamiento de los ríos.

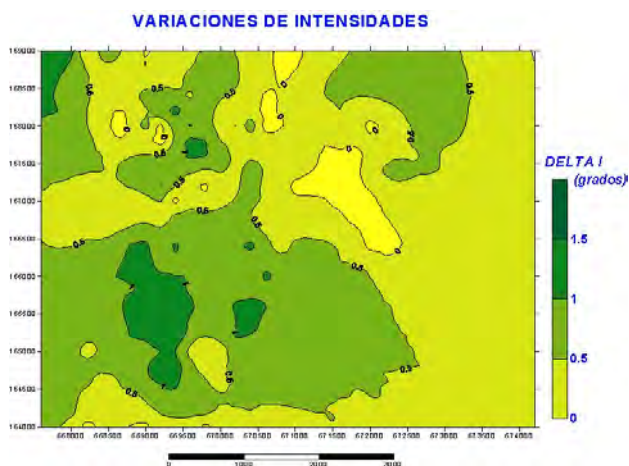


Figura 1: Variaciones de intensidad por analogías.

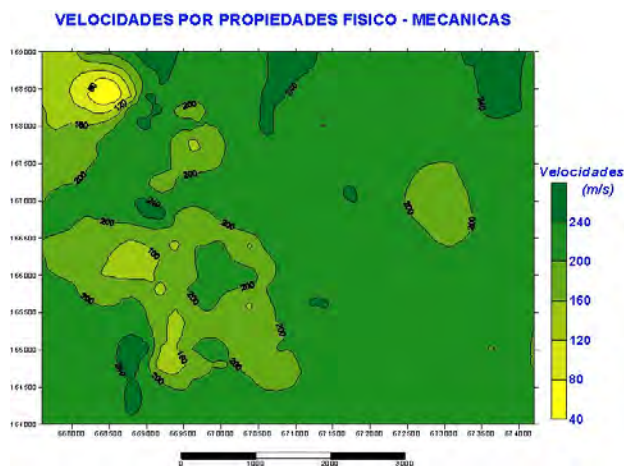


Figura 2: Velocidades de las ondas S por propiedades físico mecánicas.

Los niveles de las aguas freáticas se distribuyen prácticamente de forma homogénea en la mayor parte del área con profundidades de 0 a 5 m y sólo hacia la parte N central alcanzan la profundidad de 30 m. En la determinación de las variaciones de intensidad por este parámetro los valores característicos están entre 0 y 1, en la zona existe una tendencia suave para estas variaciones en la zona urbanizada.

En el análisis combinado de toda la información para el cálculo de la variación total notamos, que la mayor influencia es aportada por los valores de los niveles freáticos, lo cual es posible por el poco contraste de velocidades que apantalla la resolutivez de este método.

Para facilitar el uso futuro de este trabajo consideramos lógico integrar los resultados con un SIG, utilizando cuadrículas de 200*200 m², se utilizan los resultados generalizados de mediciones de microsismos realizadas en algunos puntos de la ciudad (SSN, 2002), por lo que presentamos entonces la **Figura 4** y la **Tabla I**. En esta Tabla los valores en porciento representan el % del total de cuadrículas que tienen la característica descrita. Como criterio de integración se tomó que de las zonas planteadas: (1) con no variación de la intensidad tenía períodos menores 0,1 segundos, (2) la de incremento de un grado tenía períodos de 0,1 a 0,3 segundos, y (3) la de incremento mayores de un grado, períodos mayores de 0,3 segundos.

Los períodos propios de los suelos que generalmente aparecen por esta variante metodológica son bajos (oscilan entre 0,08 y 0,50 segundos), lo cual, para eventos sísmicos cercanos y fuertes, hace extremadamente vulnerables las viviendas de niveles bajos en la ciudad, que representan aproximadamente más del 85 porciento del total. Este mapa presentado en la

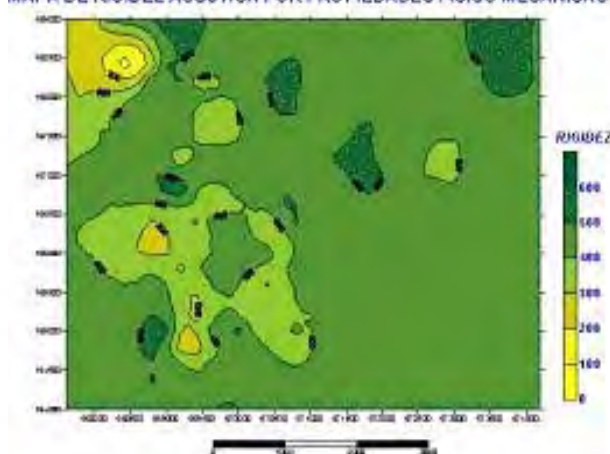


Figura 4 aunque es una evaluación preliminar es válido y se necesita realizar mediciones instrumentales para una evaluación final de la respuesta dinámica de los suelos.

Tabla I: Distribución por cuadrículas del esquema de microzonación sísmica de la ciudad de Guantánamo

TIPO	DELTA I	CANTIDAD	PORCIENTO
1	0	378	40.38
2	+ 1	41	4.38
3	> + 1	517	55.24

MAPA DE RIGIDEZ ACUSTICA POR PROPIEDADES FISICO MECANICAS



VARIACIONES DE INTENSIDADES CIUDAD DE GUANTANAMO

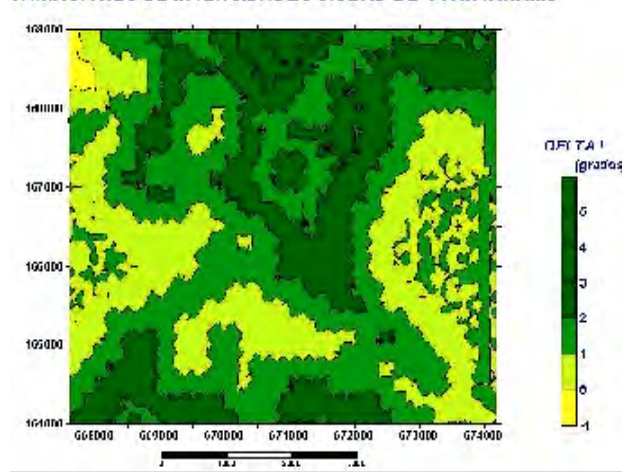


Figura 3: Rigideces acústicas por propiedades físico mecánicas.

Figura 4: Variaciones de intensidades teniendo en cuenta todas las variables analizadas.

Validación de los efectos sísmicos para la ciudad de Guantánamo.

Para validar los resultados anteriores evaluamos la posibilidad de ocurrencia de los efectos generados por las zonas sismoactivas de mayor potencialidad cercanas al área de estudio, las cuales pueden generar magnitudes capaces de provocar dichos efectos. Las zonas cercanas tenidas en cuenta en el estudio son: Oriente 1, Oriente 3, Baconao 1, Santiago-Moa, Guaso y Purial (Chuy et al, 1992). En la determinación de los parámetros de cálculo para el Terremoto Máximo de Cálculo TMC y el Terremoto de Proyecto TP (Zapata, 1995), para todas las zonas se utilizó en el TMC un período de recurrencia (T_r) de 1000 años, tiempo de vida útil (T_u) de 50 años y probabilidad de no excedencia (p) del 95 % y en el TP un T_r de 100 años, T_u de 50 años y una p del 61 %. Los parámetros utilizados y los resultados se muestran en la **Tabla II**, donde se observa que la zona de mayores efectos es Oriente 1.

Se presentan en las **Tablas III a V** los cálculos de las aceleraciones, velocidades, el tiempo en que aparecen los picos y los espectros de respuestas (aceleraciones) para los TMC y el TP, donde la zona sismogeneradora de mayores efectos es la Oriente 1. En la **Tabla III** se presentan los valores picos de las aceleraciones para los suelos S1, S2, S3 y S4 en las componentes horizontal y vertical y en los tiempos en que aparecen estos valores (t_{max} en segundos) para los TMC y TP. Las amplitudes picos aparecen a partir de los 21,0 hasta los 30,9 segundos. En la **Tabla IV** se presentan los valores máximos de los espectros de respuesta con amortiguación de 2, 5 y 10 % del TMC para la zona sismogeneradora Oriente 1 y en la **Tabla V** los valores para el TP.



Tabla II: Valores de aceleración y velocidad calculadas por diferentes relaciones para Guantánamo de los TMC y TP

Tipo	ZONAS	R	M	I	1			2		3	4
					a	v	s	a	v	a	a
TMC	Ote 1	59.0	7.5	8.5	317.4	46.3	24.6	232.6	46.8	161.7	283.4
	Ote 3	58.0	6.2	7.0	83.2	8.6	19.4	79.6	9.6	70.2	74.2
	Bnao 1	37.2	5.2	7.0	60.2	5.2	12.1	61.1	5.3	62.3	53.8
	StgoMoa	34.0	3.7	6.0	19.7	1.4	10.5	25.1	1.4	31.5	17.6
	Guaso	13.5	5.1	7.5	115.7	20.0	4.9	106.9	8.6	111.7	103.3
	Purial	40.9	5.2	6.5	59.8	4.7	13.2	56.6	4.9	57.8	49.0
TP	Ote 1	59.0	6.9	8	142.7	17.0	21.0	122.6	18.2	96.1	127.4
	Ote 3	58.0	4.6	6.0	23.1	1.7	18.0	28.6	2.1	31.6	20.6
	Bnao 1	37.2	5.0	7.0	51.3	4.2	11.9	53.7	4.4	56.4	45.8
	StgoMoa	34.0	2.0	4.0	5.1	0.3	10.3	8.4	0.3	13.5	4.5
	Guaso	13.5	4.2	7.0	56.3	9.4	4.5	60.1	3.7	71.2	50.3
	Purial	40.9	5.0	6.0	46.7	3.8	13.1	49.8	4.1	52.3	41.7

1. Esteva y Villaverde (Barbat, 1983)

$$a = (5600 \exp(0,8 M)) / ((R + 40) ** 2)$$

$$v = (32 \exp(M)) / ((R + 25) ** 1,7)$$

$$s = (0,02 \exp(0,74 M)) / 0,3 R$$

2. Mc Guire (1978)

$$a = (472,3 \exp(0,64 M)) / ((R + 25) ** 1,301)$$

$$v = (5,64 \exp(0,942 M)) / ((R + 25) ** 1,202)$$

3. Donovan (1973)

$$a = (1320 \exp(0,58 M)) / ((R + 25) ** 1,52)$$

4. Kimeridjian y Hareh (Barbat, 1983)

$$a = (5000 \exp(0,8 M)) / ((R + 40) ** 2)$$

a en cm/s², v en cm/s y s en s, R en Km, M en Richter e I en grados MSK.

Ote 1 es la zona ORIENTE 1, Ote 3 es la zona ORIENTE 3, Bnao 1 es la zona BACONAO 1 y Stgo Moa es la zona SANTIAGO MOA

Tabla III: Aceleraciones, velocidades e intensidades máximas y efectivas de los estremecimientos principales en las componentes horizontal y vertical, en la ciudad de Guantánamo para los TMC (Amax. y Vmax) y para los TP (Aefec. y Vefec) generados por la zona ORIENTE 1.

Suelo	TMC				TP		
	A máx.	V máx.	t máx.	I	A efect	V efect	I
S3 – S4 H	0.460	56.12	30.90	9.0	0.241	29.38	8.0
S3 – S4 V	0.232	28.24	30.90	8.0	0.122	14.82	7.0
S2 H	0.337	30.80	30.90	8.0	0.187	17.08	7.0
S2 V	0.184	16.85	21.00	7.0	0.117	10.67	7.0
S1 H	0.277	16.90	21.10	8.0	0.180	10.95	7.0
S1 V	0.174	10.59	21.00	7.0	0.115	7.02	7.0



Tabla IV: Valores máximos de los espectros de respuesta de aceleraciones de Guantánamo con amortiguación de 2, 5 y 10 % del TMC de la zona ORIENTE 1.

Suelo	Amort	A máx	T	Suelo	Amort	A máx	T
S3 – S4 H	2	0.533	0.25	S2 V	2	0.231	0.25
	5	0.493	0.25		5	0.216	0.25
	10	0.459	0.25		10	0.201	0.25
S3 – S4 V	2	0.372	0.25	S1 H	2	0.403	0.20
	5	0.300	0.25		5	0.371	0.20
	10	0.271	0.25		10	0.354	0.20
S2 H	2	0.435	0.25	S1 V	2	0.197	0.10
	5	0.405	0.25		5	0.182	0.08
	10	0.381	0.25		10	0.172	0.08

Tabla V: Valores máximos de los espectros de respuesta de aceleraciones para la ciudad de Guantánamo con amortiguación de 2, 5 y 10 % del TP de la zona ORIENTE 1.

Suelo	Amort	A máx	T	Suelo	Amort	A máx	T
S3 – S4 H	2	0.309	0.25	S2 V	2	0.138	0.25
	5	0.286	0.25		5	0.130	0.25
	10	0.266	0.25		10	0.123	0.25
S3 – S4 V	2	0.293	0.25	S1 H	2	0.246	0.20
	5	0.197	0.25		5	0.227	0.20
	10	0.166	0.25		10	0.217	0.20
S2 H	2	0.264	0.25	S1 V	2	0.129	0.10
	5	0.247	0.25		5	0.119	0.08
	10	0.233	0.25		10	0.112	0.08

Respuesta real de los suelos a partir de registros de terremotos.

Para el análisis de la respuesta dinámica real de los suelos de la ciudad de Guantánamo y sus alrededores, a partir de terremotos reales registrados en una estación ubicada en la ciudad, se utiliza el método de Nakamura (Castro et al, 1997) determinándose los factores de amplificación para 13 terremotos con magnitudes mayores de 3 Richter, de ellos 3 con $M_d \geq 4$ Richter de las zonas más activas, para calcular el factor de amplificación espectral (**H/V**). Para el cálculo se utilizó la razón **H/V** de las ondas S de los registros seleccionados las cuales brindan información de los períodos de resonancia de las señales analizadas. En la **Tabla VI** se presenta los datos de los sismos utilizados.

En la **Tabla VI** notamos que los terremotos con factores de amplificación superiores a 5 (en negritas) son reportados como perceptibles excepto el del 18.04.02 que tiene estas características, pero no se reportó perceptible. Los períodos de los picos principales de la razón espectral son bastante cercanos a los obtenidos de la modelación de acelerogramas y con los resultados obtenidos es factible esperar factores de amplificación muy superiores para terremotos de mayor energía.



Tabla VI: Parámetros de los terremotos utilizados para el cálculo del factor de amplificación y valores de los Períodos y Factores de Amplificación de los dos picos principales de la razón espectral.

Zonas	Fecha	Hora	Lat. N.	Lon. W.	H	MI	Md	I	T1	F1	T2	F2
Chivirico	17.11.01	90311.5	19.64	76.24	40.0	3.0	3.1		0.010	3.134	0.214	2.970
Chivirico	18.11.01	122829.2	19.63	76.26	20.0	3.1	3.4		0.927	1.575	0.112	1.394
Chivirico	19.11.01	14611.8	19.74	76.20	7.5	3.9	4.0		0.112	3.449	0.723	3.261
Chivirico	19.11.01	101930.5	19.76	76.25	0.0	3.7	3.8		0.723	3.577	0.927	2.610
Chivirico	20.11.01	114749.0	19.74	76.29	40.0	3.9	4.1		0.417	3.064	0.112	2.929
Chivirico	01.12.01	233613.9	19.70	76.26	20.0	2.6	3.2		0.214	1.965	1.436	1.836
Maisí	24.12.01	210954.0	20.31	73.39	7.5	3.3	3.4		0.112	2.977	0.825	2.144
Santiago	20.01.02	135743.4	19.96	75.55	20.0		4.0	4	0.112	5.629	2.047	1.583
Santiago	01.02.02	30146.0	20.02	75.43	10.0	3.2	3.6	4	0.110	6.080	3.170	2.238
Chivirico	12.03.02	211945.3	20.10	76.40	10.0	3.3	3.1	3	0.316	6.718	2.658	5.097
Cabo Cruz	05.04.02	33759.0	19.81	77.84	10.0	3.9	3.3		0.112	3.240	0.417	2.165
Santiago	18.04.02	10940.7	20.02	75.27	30.0	3.1	3.1		0.112	5.240	1.028	4.842
Santiago	25.04.02	51700.8	19.83	75.36	32.5	3.0	3.1		0.112	2.197	0.825	1.557

De donde:

H, profundidad, Km.

MI, magnitud local, Richter

Md, magnitud por duración, Richter

I, Intensidad sísmica, grados MSK

T1, T2, períodos máximos en segundos

F1, F2, factor de amplificación, adimensional

Conclusiones.

1. Se obtienen diferentes esquemas de microzonación a partir de la información ingeniero – geológica que dan una idea preliminar de la respuesta de los suelos, siendo la mejor zona la ubicada hacia el Oeste, centro y Sur de la zona urbanizada.
2. Las aceleraciones, velocidades e intensidades máximas y efectivas de los estremecimientos principales en las componentes horizontal y vertical, en la ciudad de Guantánamo para los TMC en Oriente 1 es para Amáx entre 0.460 y 0.174 y para los TP es entre 0.241 y 0.115. Los valores máximos de los espectros de respuesta de aceleraciones de Guantánamo con amortiguación de 2, 5 y 10 % del TMC de la zona Oriente 1 están entre 0.533 y 0.172 y para el TP están entre 0.309 y 0.112.
3. Los períodos principales del factor de amplificación espectral para los terremotos de las zonas Santiago – Baconao, Maisí y Cabo Cruz en los registros de la estación Guantánamo son alrededor de 0.112 segundos, sin embargo los de la zona Chivirico están entre 0.112 y .0927 segundos. Pudiendo esperarse las afectaciones principales en viviendas de un nivel para caso de sismos fuertes.

Recomendaciones.

Se deben realizar los estudios de la respuesta de los suelos con mayor grado de detalle de formas que posibilite establecer una red regular de mediciones del parámetro que se decida.



Referencias bibliográficas.

- Academias de Ciencias de Cuba y Hungría, 1975: Levantamiento Geológico de las Provincias Orientales. Fondos del Instituto de Geología y Paleontología, MINBAS.
- AFPS., 1993: Guide Methodologique pour la realisation d'etudes de microzonage sismique. *French Association for earthquake engineering*. 51 pp
- Barbat, A. (1983): Cálculo Sísmico de las Estructuras. *Editorial Técnicos Asociados S. A.* 145 pp.
- Castro, R.R., M. Mucciarelli, F. Pacor, C. Petrongaro, 1997: S-wave Site-Response Estimates using horizontal-to-vertical spectral ratios. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol. 87, No. 1. pp 256-260. February 1997.
- Chuy, T. J., J. L. Alvarez, J. L., J. A. Zapata, B.E. González et al, 1992: Investigaciones Sismológicas complejas para el Complejo Hidroenergético Toa – Duaba. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIIS y de ENERGOPROYECTO.
- Donovan, N.C., 1973: A statistical evaluation of strong motion data including the February 9, 1971 San Fernando earthquake. Proc. 5th World Conference Earthquake. Rome Vol. 2, paper 155, 10pp.
- Japan Working Group for TC-4 Committee, 1992: Seismic Zoning on Geotechnical Hazards (draft) 114 pp.
- Mc Guire, R. K., 1978: Seismic ground motion parameters. *Journal Geotechnique Eng. Div, American Society Civil Eng.* Vol. 104 pp 481-490.
- Medvedev, S.V., 1973: Recomendaciones para la Microregionalización Sísmica RSM-73, *Serie "Cuestiones de Ingeniería Sísmica" Vol 15*, Moscú.
- Seisdedos, G.; Oliva, R., Pileta, J., 1984: Evaluación de la factibilidad de realización de trabajos de microzonación sísmica en la ciudad de Guantánamo. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIIS. 25 pp.
- Servicio Sismológico Nacional de Cuba SSN, 2002: Bases de Datos de Terremotos registrados. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.
- Zapata, J. A., Fernández, B. y Fernández, A.I., 1989: Microzonificación sísmica de la ciudad de Guantánamo por el método de las analogías ingeniero-geológicas. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIIS-ACC, Santiago de Cuba. 23 pp.
- Zapata, J. A. y Leyte-Vidal, J., 1990: Programa SMU1. Cálculo de parámetros sísmicos de los suelos. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIIS.
- Zapata, J. A., 1995: Utilización de variantes metodológicas de microzonación Sísmica en la ciudad de Santiago de Cuba. Tesis de opción al grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del Instituto de Geofísica y Astronomía y del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. 115 pp.



UTILIZACIÓN DEL SIG CARIS EN EL ESTUDIO DE REORDENAMIENTO AMBIENTAL DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA.

Ramón Rivada Suárez, Rey Carral Chao, Jorge Díaz Comesañas, Nyls Ponce Seoane y Adelaida Castellanos Silvén.

Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca y Carretera Central, San Miguel del Padrón, CP 11 000, Ciudad de La Habana, Cuba. e-mail: mambiente@igp.minbas.cu

RESUMEN.

La necesidad por parte de especialistas de analizar un gran volumen de información en los trabajos de reordenamiento ambiental se ha visto beneficiada con el desarrollo alcanzado por los sistemas de información geográfica (SIG). El siguiente trabajo recoge los pasos que se siguieron para obtener áreas de usos potenciales en la cuenca hidrográfica del río Bacuranao, utilizando como herramienta principal el SIG CARIS. En el trabajo se muestra el diseño asumido para organizar los datos espaciales y de atributos, la forma y módulos utilizados para extraer las variables de análisis y para asignarles su peso según el grado de importancia y las operaciones ejecutadas para obtener las áreas más potenciales ante un uso determinado. Este proceso permitió obtener una serie de mapas sobre la base de un análisis multicriterios, asegurando de esta forma un resultado mucho mas confiable.

ABSTRACT.

The necessity on the part of specialists to analyze a great volume of information in the works of environmental reordination has been benefited with the development reached by the systems of geographical information. The following paper covers the steps to be followed to obtain areas of potential uses in the hydrographic basin of Bacuranao river, using as main tool the SIG CARIS. This paper shows the design assumed to organize the space data and of attributes, the form and modules used to extract the analysis variable and assigns them its weight according to the degree of importance as well as the operations executed to obtain the most potential areas for a certain use. This process allowed to obtain a series of maps on the base of a multicriterium analysis, making sure a much realiable result..

Introducción.

Existen muchas definiciones de Sistemas de Información Geográfico (SIG) basadas en diferentes enfoques, funcionalidad, área de aplicación, costo, etc. Por ejemplo, para Bonham-Carter (1994), un SIG es un sistema de computación para el tratamiento de datos espaciales. Bedell (1994) lo define como cualquier sistema que trata datos espaciales, especificando que es una forma particular de sistema de informaciones aplicados a datos geográficos.

En la actualidad el desarrollo de los Sistemas de Información Geográficos facilita a los especialistas el manejo y análisis de la información considerando al territorio estudiado como algo constituido por la superposición o agregación de una serie de elementos, por otra parte los sistemas han permitido la organización de grandes bancos de datos tanto espaciales como de atributos que pueden ser consultados, combinados, comparados, etc. y que facilita, tomar decisiones acerca del uso mas adecuado del territorio teniendo en cuenta, la vocación del medio, las posibles actitudes de conflictos y rechazos y la conservación de valores naturales entre otros aspectos.



El reordenamiento ambiental de un territorio se basa en el análisis e interpretación de componentes naturales, económicos y sociales, o sea, el reordenamiento requiere de un análisis multidisciplinario, donde se pueda hacer una evaluación desde diferentes perspectivas.

La utilización de un SIG en los estudios de reordenamiento ambiental requiere de la creación de una base de datos espaciales y de atributos donde aparezcan reflejados aquellos objetos o rasgos geográficos del área y sus características no gráficas que satisfagan las necesidades de análisis. La base de datos debe estar diseñada de forma tal que se pueda consultar, tanto la información espacial, como tabular, y que ésta a la vez sea visualizada.

Las variables que se utilizan en el análisis y que son extraídas mediante consultas o selección directa de la base de datos de información geográfica deben ser organizadas en dependencia del modelo de análisis que se requiere para obtener los mapas de uso potenciales. El peso asignado a cada variable según su grado de importancia y las combinaciones entre éstas se hacen utilizando los diferentes módulos con que cuenta el sistema.

Materiales y Métodos.

El esquema metodológico general seguido en este trabajo consistió en: la creación de la base de datos no espaciales o de atributos, creación de la base de datos espaciales o geográficos, integración de ambas bases de datos, manejo y consulta de la información en función de las necesidades de la investigación y por último el análisis en ambiente SIG para la obtención de los mapas de usos potenciales.

Para esto fue necesario contar con los siguientes software el programa Access versión 6.0 que nos permitió crear la base de datos no espaciales, el Sistema de Información Geográfica ILWIS versión 2.2 para crear específicamente el mapa de pendientes y el Sistema de Información Geográfica CARIS (*Computer Assisted Resource Information System*) en su versión 4.0, para el almacenaje, visualización, manejo y análisis de la información.

Resultados y Discusión.

Base de datos no espaciales o de atributos.

La base de datos no espaciales o de atributos asociada a un sistema de información geográfica es una base que contiene los atributos no gráficos de las características (polígonos, líneas, símbolos, etc.) de un mapa digital.

En nuestro trabajo la base de datos no espaciales fue elaborada en el programa Access versión 6.0, utilizando las posibilidades de este sistema, la base de datos cuenta con un total de siete tablas independientes entre ellas y diseñadas en todos los casos de la siguiente forma:

Un campo auto numérico o contador, un campo que contiene la clave (llave) de cada registro sin duplicados y una serie de campos que tienen, en la mayoría de los casos, la propiedad de ser datos de tipo texto, con un tamaño menor de 250 caracteres, donde se describen las características o atributos de los datos espaciales (ver figura 1). El campo clave es el campo que se utiliza para enlazar la base de datos de atributos con los datos espaciales.



Campo1 (Contador)	Campo2 (clave)	Campo3 (atributos)	Campo4 (atributos)	Campo5 (atributos)
1				
2				
3				

Figura 1. Se muestra la estructura general de las tablas que conforman la base de datos.

La información que se utilizó para confeccionar la base fue actualizada, modificada, digitalizada y reestructurada en dependencia del origen y el formato en que se encontraban.

Tablas de suelos, yacimientos y geología.

La información concerniente a estos temas se encontraba en formato digital formando parte de otras bases de datos, por lo que el procedimiento utilizado en este caso fue el siguiente: importar las tablas que contenían dicha información al nuevo banco de datos, eliminar aquellos campos que no eran de utilidad para el trabajo y añadir nuevos y por último renombrar algunos de los campos existentes con el objetivo de lograr un buen funcionamiento entre los datos espaciales y los de atributos.

Tablas de contaminación, vegetación, aguas y pluviómetros.

Fueron elaboradas con información analógica obtenida en las primeras etapas de trabajo. Debido a la poca complejidad que presentaban los datos, fueron introducidos y modificados vía teclado, desde el modo "ver Hoja de Datos".

Base de datos espaciales o geográficos.

La base datos espaciales fue preparada en el SIG-CARIS, teniendo en cuenta que esta tecnología CARIS facilita aplicaciones de diferentes niveles de complejidad y su acceso a los principales sistemas de gestión de base de datos.

Para su confección se utilizaron varios procedimientos, teniendo en cuenta la representación gráfica que tendrían los distintos objetos o rasgos geográficos de la superficie investigada. Por ejemplo, en el caso de los objetos representados por polígonos (formaciones geológicas, tipos de suelos, formaciones vegetales, etc.), el tratamiento de la información analógica fue diferente a los representados por líneas (red de drenaje, vías de acceso, etc.), puntos (yacimientos, fuentes de contaminación, pluviómetros, etc.) y por píxel (pendientes).

En el caso de los objetos representados por polígonos los pasos que se siguieron fueron los siguientes:

En primer lugar se procedió a digitalizar la información gráfica disponible de suelos, geología, geomorfología, uso y ocupación actual, vegetación y aguas superficiales. La información analógica digitalizada se preparó en ficheros independientes, que fueron revisados y editados con el objetivo de eliminar errores introducidos durante el proceso de digitalización. Cada uno de estos ficheros con extensión DWG fue exportado como fichero de intercambio con formato DXF (*Drawing Interchange Format*) para facilitar su introducción en el software de trabajo.



Posteriormente se importó desde el SIG cada fichero DXF, utilizando el programa *DXF Format*, del modulo *Map Import y Export* del *CARIS Tools*. Para esto fue necesario definir previamente el encabezamiento o *header*, que no es mas que el sistema al cual está referido el trabajo y donde aparece la información referenciada de un mapa CARIS, como la escala, la proyección, etc.

Una vez que la información cartográfica se encontraba dentro del sistema y con el objetivo de establecer las relaciones espaciales entre los objetos vectoriales, se comenzó a crear la topología de polígonos, utilizando diferentes programas del modulo *Topology Creation* del *CARIS Tools*.

Los pasos a seguir para la realización de la topología de polígonos fueron los siguientes.

- Convertir líneas en arcos.
- Localizar puntos de intersecciones.
- Partir las líneas por los puntos de intersecciones.
- Hacer la topología de red.
- Convertir nombres en etiquetas.
- Hacer la topología de polígonos.

Al ejecutar la topología de red y finalizando ésta, el sistema muestra un reporte de los principales errores encontrados, que fueron corregidos automáticamente en algunos casos mediante los programas *Remove Pseudonodes* y *Remove Dangling Arcs* del modulo *Topology Creation* del *CARIS Tools* y en otros utilizando desde el modulo *CARIS Editor*, las diferentes herramientas de edición de mapas CARIS, las que nos permitieron eliminar, unir, adicionar líneas, etc.

Después de obtener una correcta topología de red se procedió a convertir los nombres en etiquetas y por último a ejecutar la topología de polígonos, donde fue necesario también eliminar algunos errores, como fueron la existencia de varias etiquetas en un mismo polígono, polígonos sin etiqueta y etiquetas diferentes en un mismo polígono. Estos errores fueron eliminados de forma manual desde el *CARIS Editor*.

En el caso de los objetos representados por líneas (red de drenaje y red vial) se siguió el siguiente procedimiento.

Digitalización de la red de viales y drenaje que se encontraba en formato analógico, introducción de los ficheros en CARIS de la misma forma que en el caso anterior, y por último, ejecución de la topología de red.

Tanto para la topología de polígonos como para la de red, el procedimiento de eliminar errores automáticamente y/o usando el *CARIS Editor* fue repetido varias veces.

Para los objetos representados por puntos se siguieron los siguientes pasos:

Se tomaron tres ficheros Caris como base. En el caso de los yacimientos se utilizó el fichero geología. Para los pluviómetros el mapa de aguas superficiales, y para las fuentes contaminantes se confeccionó una base a partir de los ficheros red vial, uso y ocupación actual y aguas.



Se preparo en *Bloc de Notas* un fichero TXT con las coordenadas X y Y de los puntos y el identificador del objeto que se quería representar. Posteriormente, y utilizando varias herramientas de los programas *CARIS Editor* y *CARIS Data Base Manager* se cargó el fichero de datos TXT, se seleccionaron los símbolos que representarían a cada uno de los objetos, los parámetros Caris como el *Feature Codes* y el *Theme Numbers*, y se insertaron los puntos en los mapas.

Desde el *CARIS Tools*, utilizando el programa *Annotate Point Features*, se le adicionó a cada símbolo la llave que facilitaría la relación entre estos puntos y la base de datos de atributos.

Un tratamiento diferente a lo descrito anteriormente se siguió para obtener el mapa de pendientes. En este caso los datos topográficos digitalizados (curvas de nivel), y que fueron convertidos en formato DXF, se importaron por el software ILWIS versión 2.2.

Apoyándonos en las herramientas con que cuenta el sistema para el tratamiento de datos en formato raster, se confeccionó el mapa de pendientes, dicho mapa fue salvado como una imagen de extensión TIFF (*Tag Image File Format*) e importado al SIG-CARIS, utilizando el programa *TIFF Image Format*, del modulo *Map Import y Export* del *CARIS Tools*.

Una vez que la imagen se encontraba dentro del SIG, se comenzó con su georeferenciación, para lo que fue necesario crear, desde el *CARIS Editor*, un fichero de control, que no es mas que un fichero de texto que contiene el identificador y las coordenadas X y Y de los puntos que son usados para registrar la imagen, en este caso las coordenadas X y Y pertenecen a un sistema de coordenadas no registrado.

Se confeccionó desde el *Bloc de Notas* un fichero con una estructura igual al descrito anteriormente, donde aparecen los puntos de control con las coordenadas X y Y del sistema de coordenadas con que estamos trabajando.

Y por último desde el *CARIS Tools* se ejecutó el programa *Register an Imagen*, donde fue necesario especificar el fichero de control de entrada y el de salida, y el fichero Caris donde la imagen raster iba a ser registrada.

Integración de la base de datos espaciales y de atributos.

Una vez que la información gráfica y de atributos se encuentra dentro del sistema se hace necesario su integración con el objetivo de poder, mediante diferentes programas interactivos del CARIS, cuestionar, visualizar y manejar la base de datos de información geográfica.

Para lograr esta integración fue necesario, desde el programa *CARIS Setup*, crear un fichero de definiciones donde se seleccionó la tabla, el campo llave, los campos que van a ser solamente visibles y los que van a ser usados para los cuestionamientos, así como el mapa y la característica de éste que va a ser enlazada, o sea, si va a ser un polígono, una línea o un símbolo. Para unir la base de datos espaciales y de atributos, el CARIS utiliza la llave que identifica cada característica.

Utilizando este procedimiento fueron enlazadas las tablas de geología, yacimientos, suelo, vegetación, fuentes contaminantes, pluviómetros y aguas.



Manejo de la información en función del análisis.

Una parte de la información introducida al sistema se reordenó teniendo en cuenta los análisis que se realizarían para confeccionar los mapas de usos potenciales, o sea, no en todos los casos la información espacial utilizada fue la digitalizada originalmente, por ejemplo, la información gráfica disponible de suelo respondía al tipo de suelo y no al contenido de materia orgánica o a la profundidad del suelo, que serían las variables a utilizar en el análisis espacial para determinar, conjuntamente con otras informaciones, el potencial de uso agrícola. Sin embargo, el vínculo existente entre la base de datos espacial y de atributo nos permitió, siempre que fue necesario, organizar la información en capas y zonas, donde las capas representan las variables a analizar (contenido de materia orgánica, variedad del suelo, etc.) para obtener los diferentes mapas y las zonas las clases que conforman cada variable. Por ejemplo, la variable **contenido de materia orgánica**, considerada en el análisis para obtener el mapa de potencial de uso agrícola, está dividida en tres clases, que son: suelos **poco humificados**, suelos **medianamente humificados** y suelos **humificados**.

Para seleccionar las variables y las clases se utilizó, en la mayoría de los casos, el procedimiento de cuestionar la base de datos desde el programa CARIS *Database Manager* utilizando la opción *Query Condition*, que permite reagrupar la información basándonos en una condición. Esta selección fue visualizada en el programa CARIS *Information Manager* y salvada, utilizando la opción *Save Zone* de dicho programa.

En el caso de las clases de pendientes, la selección se hizo mediante la opción *Create Zone > By Raster Image* desde el programa CARIS *Information Manager*, esta opción nos permitió crear zonas con valores de píxel en un rango determinado.

Algunas de las capas creadas y sus clases correspondientes fueron las siguientes:

- **Contenido de materia orgánica**, formada por tres clases: suelos poco humificados, suelos medianamente humificados y suelos humificados.
- **Variedad del Suelo**, compuesta por: suelos con variedad alta, variedad media y variedad baja.
- **Profundidad del suelo** compuesta por: suelos muy profundos, profundos, medianamente profundos y poco profundos.
- **Pendientes en grados**, compuesta por: pendientes de 0-2 grados, pendientes de 2 a 5 grados, pendientes de 5 a 10 grados y pendientes de 10 a 90 grados.

Además de las zonas que aparecen formando parte de capas, fueron seleccionadas y salvadas de forma independientes otras clases, como por ejemplo los tipos de suelos, algunas formaciones geológicas y otros rangos de pendientes.

Análisis en Ambiente SIG

Para analizar la información dentro del CARIS se utilizaron, de forma general, dos procedimientos básicos. En el primero se determinaron las áreas favorables (o que cumplen con una condición determinada), mediante la superposición de dos o más zonas independientes, y en el segundo caso se determinaron estas áreas mediante la superposición de varias capas de zonas.

El análisis por zonas independientes se basa en la creación de una nueva zona, donde coinciden espacialmente dos o más criterios previamente definidos o establecidos. Por ejemplo,



las áreas recomendadas para desarrollar una **silvicultura mecanizable con especies del bosque semideciduo y siempreverde mesófilo para producción**, son aquellas áreas donde coinciden los siguientes criterios: Un suelo Fersialítico rojo pardusco ferromagnesial con pendientes entre 0-25%.

A través de este procedimiento fueron determinadas las áreas potencialmente mineras y las favorables para un uso forestal dado, utilizando desde el programa *CARIS Information Manager*, la opción *Zone Operation*.

En el segundo caso, a las zonas que conforman las diferentes capas se les asignó un determinado peso, en dependencia de la importancia que estas tienen en el fenómeno que se analiza. Para esto se utilizó, desde el programa *CARIS Information Manager*, la opción *Zone Weighting*, donde se seleccionó el nombre de la capa y las zonas que la componen así como el peso correspondiente.

Posteriormente, y utilizando las opciones *Overlay and Classify* y *Change Classification*, se superpusieron las capas de zonas definidas previamente y se reclasificó el resultado teniendo en cuenta las categorías de uso que se preveían para cada mapa. De esta forma se determinaron las áreas potencialmente urbanizables y potencialmente agrícolas.

De forma general podemos platear que la utilización del SIG CARIS permitió obtener cuatro mapas del potencial de uso de la cuenca hidrográfica del río Bacuranao sobre la base de un análisis multicriterios, donde se tuvieron en cuenta aquellos rasgos de carácter permanentes de la superficie terrestre que influyen de alguna manera en cada uno de estos usos. Además de este resultado en la actualidad se cuenta con una base de datos de información geográfica, donde aparecen representados un conjunto de mapas temáticos asociados a informaciones tabulares todo en formato digital, que permite su actualización y reanálisis por parte de otros especialistas.

Conclusiones.

La utilización del sistema permitió organizar la información espacial y de atributos en formato digital y de esta manera su visualización y consulta. Facilitó a los especialistas el manejo de los datos durante el análisis, así como la ejecución de complejas operaciones multicapas para obtener los mapas de usos potenciales, todo de una manera rápida y precisa.

Esta información montada en el sistema es de gran importancia para la planificación y la gestión en el territorio estudiado y puede ser ampliada, actualizada y reanalizada en futuras intervenciones del medio físico.

Referencias bibliográficas

- Bedell, R.L. (1994). GIS for the geoscience-shortcourse. Sparks, NV, Homestake Minin. 193p.
Bonham-Carter, G.F. (1994). Geographic information system for geoscientists: modelling with GIS. Ottawa, Pergamon. 398p.