



APLICACIÓN DEL MÉTODO DE SIMULACIÓN DE MONTE CARLO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEÓLOGO _ INDUSTRIALES EN UN YACIMIENTO

Arellys Quintero Silverio⁽¹⁾, Elmidio Estévez Cruz⁽²⁾

(1)Departamento de Matemática, Universidad de Pinar del Río, Calle Martí # 270, Pinar del Río 20100, Cuba, E-mail: arelys_quintero@yahoo.es

(2)Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río, Calle Martí # 270, Pinar del Río 20100, Cuba, E-mail: estevez@geo.upr.edu.cu

RESUMEN

En las Ciencias de la Tierra y dentro de ellas en la Geología reina la incertidumbre en la mayoría de los procesos que en ella se producen. Tomar decisiones en esas condiciones resulta algo bien difícil, pues no se puede predecir de antemano qué ocurrirá en un momento dado, predominando de este modo los Procesos Aleatorios. Este hecho no representa el caos en la naturaleza, es posible reproducir probabilísticamente el comportamiento de estos fenómenos.

En este trabajo se realiza la Simulación de Monte Carlo para la caracterización de los parámetros geólogo _ industriales en un yacimiento de arena. Para ello se parte de un análisis descriptivo de los datos. Estos se ordenan en tablas de distribución de frecuencias. Se selecciona la distribución teórica de probabilidad que mejor ajusta, a partir de técnicas de Bondad de Ajuste de la Estadística Inferencial y se reproduce probabilísticamente el comportamiento de estos parámetros, a través de diferentes escenarios. Este hecho posibilita la toma de decisiones sobre bases científicamente argumentadas y los resultados de la simulación sirven de base para la estimación de los recursos en el yacimiento tomado para el estudio.

ABSTRACT

In the Earth Sciences and inside them in Geology the uncertainty reigns in most of the processes that take place in her. To make decisions under those conditions is something very difficult, because it can not be predicted ahead of time what it will happen in a given moment prevailing the Random Processes this way. This fact doesn't represent the chaos in the nature, it is possible to reproduce randomly the behavior of these phenomena.

In this work Monte Carlo Simulation is carried out for the characterization of the geologo- industrial parameters in a sand deposit. It starts from a descriptive analysis of the data. They are ordered in frequencies distribution tables. The theoretical distribution of probability that best fits is selected based on Goodness of Fit test and the behavior of these parameters is randomly reproduced through different scenarios. This fact allows the decision making on scientifically argued bases and the results of the simulation serve as base for the estimate of the resources in the studied deposit.



Introducción

La caracterización de parámetros geólogo – industriales en un yacimiento cobra cada vez mayor importancia práctica. Ésta se desarrolla bajo condiciones de incertidumbre y su confiabilidad está directamente relacionada con la calidad de los datos que se tomen para el estudio y los métodos que se utilicen en el mismo. El Método de Simulación es una técnica de escenarios inciertos que permite definir valores esperados para variables no controlables, a través de una selección aleatoria, donde la probabilidad de escoger entre todos los resultados posibles está en estricta relación con sus respectivas distribuciones de probabilidad. Nassir Sapag, 1998.

La técnica de Simulación de Monte Carlo permite reproducir probabilísticamente el comportamiento de estos parámetros, asignándole una probabilidad de ocurrencia a cada uno de los resultados obtenidos. Este método surge en 1940, con fines bélicos. Los norteamericanos lo diseñaron, durante las operaciones de creación de la bomba de hidrógeno, para predecir sucesos con amplios niveles de acercamiento en las probabilidades de ocurrencia. Ya en la segunda mitad de la década de los 70 su uso se extendió a diversas áreas tales como contabilidad, negocios, investigación social, entre otras.

En este trabajo se persigue el objetivo de caracterizar los parámetros geólogo _ industriales de un yacimiento de arena a través del método de simulación de Monte Carlo, que se apoya en el uso de funciones de distribución de probabilidad con el propósito de realizar una experimentación cuyos resultados llevarán, después de un número conveniente de ensayos, a lo que se obtendría en el sistema real.

Ubicación del área de estudio.

El área donde se localiza el yacimiento de arena para la construcción Guasimal pertenece a los municipios de Guane y Mantua en la provincia de Pinar del Río. Se localiza en el extremo oeste de la hoja cartográfica 3382-I “Guane a escala 1:50,000” editada por el ICGC en el año 1978. Las coordenadas geográficas referidas al centro de la zona son:

Latitud Norte: 22° 14'

Longitud Este: 84° 10'

Metodología empleada.

Para la realización de este trabajo se empleo toda la información granulométrica obtenida durante la investigación del yacimiento de arena Guasimal. Los parámetros estudiados fueron: potencia, rendimiento de arena, grava y fino. Estos datos se agruparon en tablas de distribución de frecuencias, en intervalos de clases sugeridos por el analista, garantizando que no quedase ninguna clase con frecuencia de ocurrencia cero. Para este procedimiento se hizo uso del paquete BestFit. A partir de aquí se desarrolló un proceso iterativo, donde se realizó el ajuste de las diferentes distribuciones de probabilidad a los datos agrupados. Las técnicas de Bondad de ajuste utilizadas fueron la Chi _ Cuadrado, Kolmogorov _ Smirnov y Anderson _ Darling, con estimadores de máxima verosimilitud. El software permitió realizar el análisis de toda la



estadística descriptiva de los datos muestrales y obtener, en orden ascendente, cuál es la distribución que mejor se ajustó según los tres criterios mencionados.

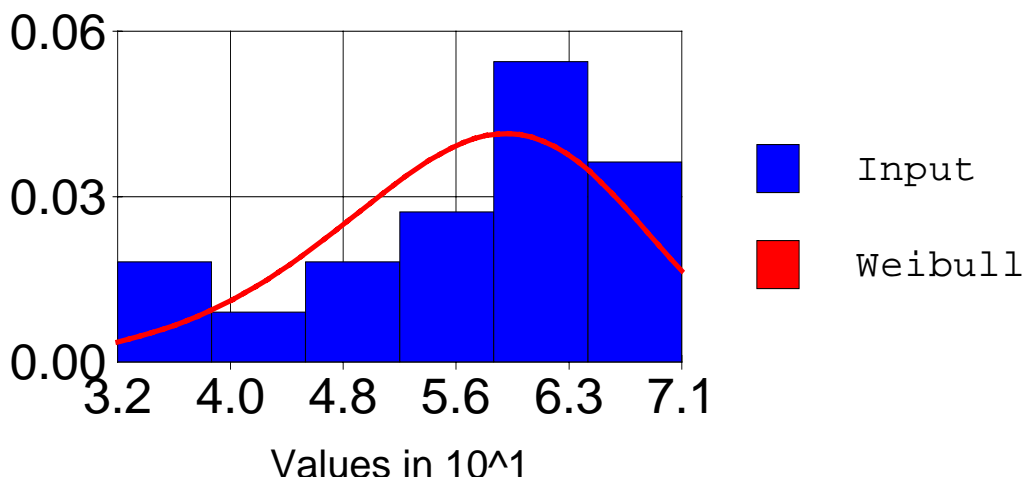
Luego de seleccionado el modelo probabilístico se construyó un histograma de frecuencias para observar la distribución de la variable, pudiendo conocer los posibles valores que puede adoptar ésta con sus correspondientes probabilidades de ocurrencia. Es importante señalar que ha medida que se incrementa el número de muestras, la distribución de la variable tiende a acercarse a una distribución normal, lo que facilita el análisis, ya que ésta se describe a través de su media y varianza.

El procedimiento descrito anteriormente se aplicó a aquellos pozos que resultaron ser pozos positivos (Rendimiento de arena $\geq 50\%$ y potencia $\geq 1\text{m}$). El modelo probabilístico seleccionado para los parámetros bajo estudio en estos pozos se introdujo en el paquete de simulación @Risk, donde a través de múltiples iteraciones y el uso de la simulación de Monte Carlo, se obtuvieron los valores simulados para cada uno de los parámetros, con sus probabilidades de ocurrencia asociadas. Aquí fue posible analizar cuáles fueron los percentiles de la distribución de probabilidad lo que permitió ser todo lo exhaustivos que deseásemos en el análisis. Es importante aclarar que en esta etapa se trabajó con volumen de arena, grava y fino, pues este estudio deberá servir de apoyo a la estimación final de los recursos de arena existentes en el depósito.

Análisis de resultados.

En el histograma de la figura No.1 se observa que el porcentaje de arena varía entre un 32% y un 71%. Las mayores concentraciones oscilan entre un 55% y un 65%, correspondiéndose con una concentración promedio del 56%. La distribución presenta un comportamiento ligeramente

Comparison of Input Distribution and Weibull(6.31,60.68)



asimétrico a la izquierda, que se ratifica con un valor del coeficiente de asimetría de -0.38 , y leptocúrtico, es decir, un poco más apuntado que el de la distribución normal. La distribución teórica de probabilidad que mejor ajusta a los datos del porcentaje de arena en este yacimiento es la Weibull. Este mismo análisis se realizó para el porcentaje de arena en los pozos que fueron



considerados positivos, a partir de lo cual se obtuvo la distribución que será utilizada en el proceso de simulación de Monte Carlo.

Comparison of Input Distribution and Weibull(1.21,7.31) + -5.82e-2

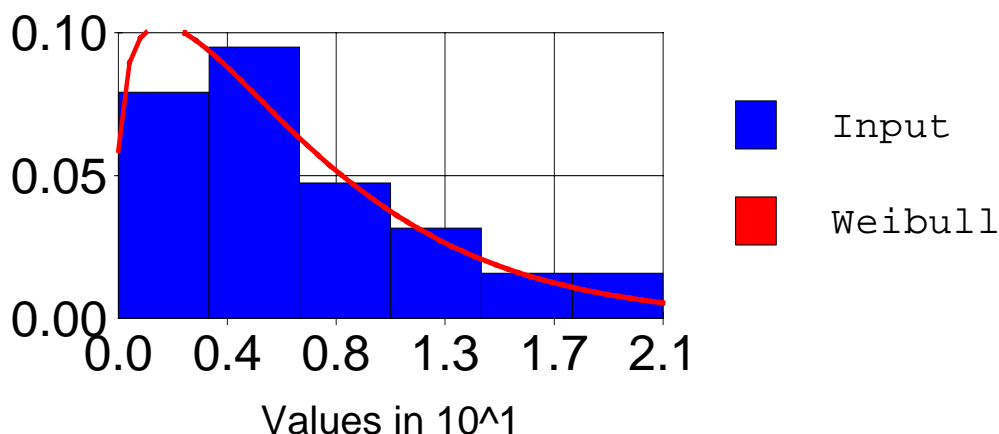


Figura No. 2 Distribución del Porciento de Grava. Yacimiento Guasimal.

La figura No. 2 muestra la distribución del porciento de grava. Su concentración promedio en la zona es de 6.79%. Se observa además cierta asimetría positiva (1.35) y leptocurtosis (4.99) en el comportamiento de los datos muestrales. También en este caso la distribución teórica de probabilidad que mejor criterio de ajuste ofreció fue la Weibull. En el análisis del porciento de fino la distribución teórica de mejor ajuste fue el Valor Extremo, con una concentración promedio de 36.32% y una variación entre un 22% y un 67%.

A partir de los ajustes obtenidos entre las distribuciones teóricas y los datos se realizó la Simulación de Monte Carlo para 10000 iteraciones en cada simulación. Se realizaron además, varias simulaciones para cada parámetro, que no difieren significativamente entre sí, las correlaciones entre ellas son altamente significativas. A los datos de potencia por pozos también se les realizó un análisis probabilístico y se obtuvo la función de probabilidad que mejor ajustó, según las diferentes pruebas de bondad de Ajuste. Con esa función y el área calculada a partir del contorno de la zona industrial del yacimiento bajo estudio se obtuvo la función que describe el comportamiento del volumen total de recursos. En la figura No.3 se observan los resultados de la simulación del volumen de arena, la distribución de los valores simulados con sus probabilidades de ocurrencia asociadas. Existe una probabilidad del 100% de que este parámetro supere los 248 mil m³ y una probabilidad de 0% de que no exceda los 4 560 000 m³. De igual modo, deben existir 1 600 mil m³ para una probabilidad del 50%. Un intervalo de confianza de la media +/- la desviación estándar esta dado [937700.9, 2543631.1] m³ con una probabilidad aproximada del 75 %. El amplio rango de variación de este parámetro se justifica por la alta variabilidad que presenta la potencia útil de los lentes de arena (coeficiente de variación 43 %). Los recursos promedio de arena en el yacimiento son del orden de 1,7 millones de m³; este valor es muy cercano a los recursos totales de arena beneficiada calculados en el yacimiento por el método bloques (Hernández, 1987).

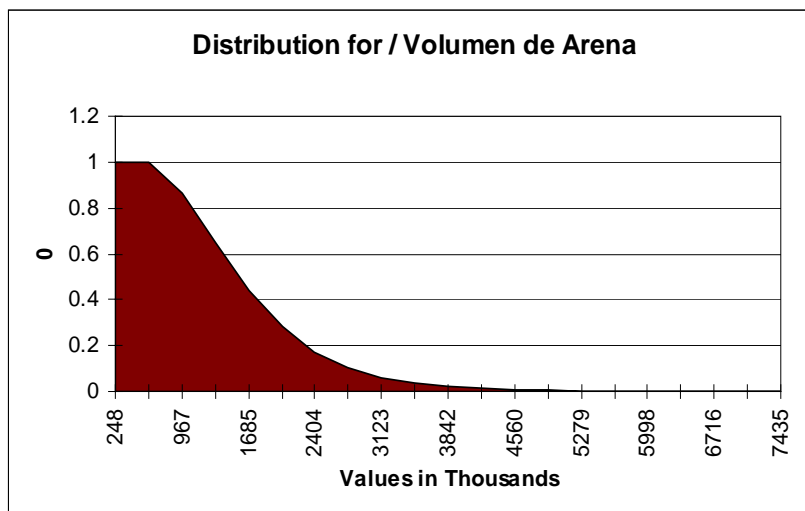


Figura No.3 Simulación del volumen de arena, con probabilidades asociadas para valores mayores o iguales que x.

La correlación entre valores reales y simulados es máxima, lo que se ratifica en la plena correspondencia existente entre los parámetros de ambas distribuciones. Los resultados de la simulación permiten además realizar un análisis exhaustivo de percentiles y probabilidades. Por ejemplo existe una probabilidad de un 5 % de que el volumen de arena esté por debajo de 763 582.4 m³, de un 25% de que esté por debajo de 1 172 732 m³, y así sucesivamente para el 50%, 75% y 95% de probabilidad, los percentiles son 1 579 721 m³, 2 134 456 m³ y 3 261 477 m³ respectivamente. Este análisis es posible llevarlo hasta el nivel de exactitud que se desee.

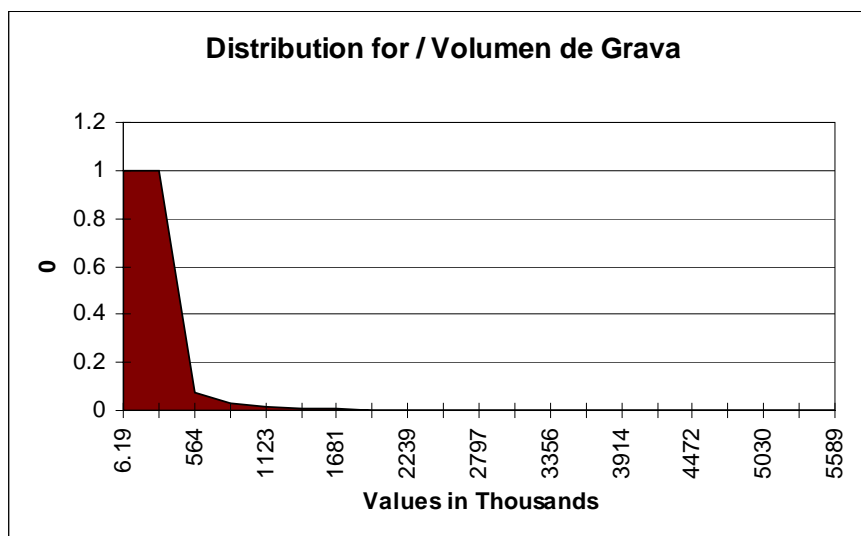


Figura No.4 Simulación del volumen de grava, con probabilidades asociadas para valores mayores o iguales que x.

Respecto al volumen de grava y de fino, la distribución de los valores simulados se puede observar en las figuras No.4 y No.5. En el caso del volumen de grava se observa que éste oscila entre 6 mil y 5,6 millones de m³ aproximadamente, con una media de 236 169,6 m³. Existe una probabilidad del 50% de que este parámetro supere los 159 794,1 m³. Respecto al volumen de fino existe una probabilidad del 100% de que éste supere los 157 mil m³ aproximadamente y una probabilidad del 50% de que este parámetro se comporte por encima de 850 877,4 m³.

El procedimiento descrito en este trabajo permite caracterizar la incertidumbre asociada con los principales parámetros geológico industriales durante la estimación de recursos en un yacimiento de arena. Entrega los posibles valores que pueden tomar las distintas variables estudiadas así como las probabilidades asociadas a cada uno de ellos. La aplicación de este enfoque posibilita, a diferencia de la forma tradicional de realizar estos cálculos, tener una idea



más completa del rango de variación de los recursos existentes en un yacimiento. Todo esto muestra los distintos escenarios que pueden encontrarse durante la explotación del mismo.

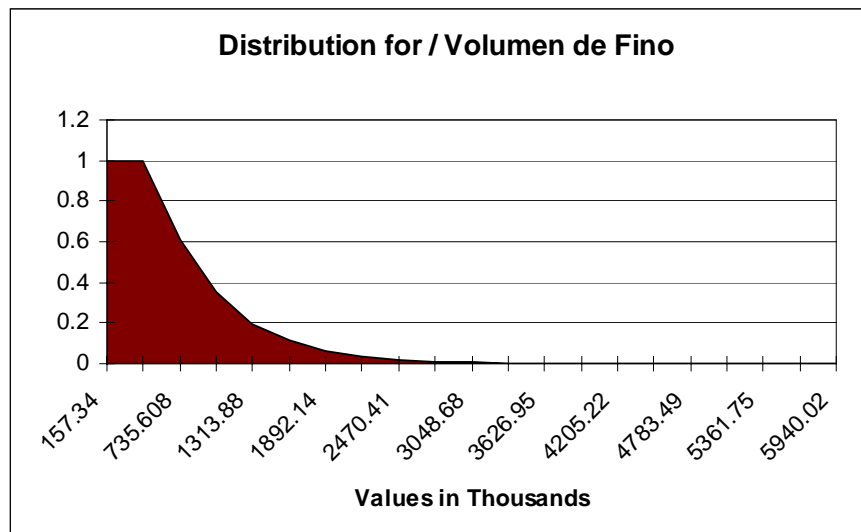


Figura No.5 Simulación del volumen de fino, con probabilidades asociadas para valores mayores o iguales que x.

Conclusiones

1. La distribución teórica que mejor se ajusta a los parámetros rendimiento de arena y grava es la Weibull, mientras que para el rendimiento de fino y la potencia es la de Valor extremo y Gausiana Inversa respectivamente.
2. Los recursos de arena beneficiada en el yacimiento oscilan en el intervalo [937700.9, 2543631.1] m³ con una probabilidad del 75 %. Los recursos promedio de arena en el yacimiento son del orden de 1,7 millones de m³.
3. La aplicación del método de Simulación de Monte Carlo posibilita, a diferencia de la forma tradicional de realizar los cálculos de recursos, tener una idea más completa del rango de variación de éstos en un yacimiento.
4. La simulación de Monte Carlo permite mostrar los distintos escenarios que pueden encontrarse durante la explotación del yacimiento.

Referencias Bibliográficas

1. Hernández, J. L. 1987. Informe de búsqueda orientativa y detallada de arena para la construcción al oeste de Guane.
2. Palisade Corporation, 1996. Risk analysis and simulation Add-In for Microsoft Excel or Lotus 1-2-3. Guide to using @Risk.
3. Sapag, N. y R. Sapag, 1998. Preparación y evaluación de proyectos. 4ta. Edición McGraw Hill Interamericana S.A., Colombia.



EVALUACIÓN DIFUSA DE PROSPECTOS PETROLEROS.

**Gómez-Herrera J. E., Otero-Marrero R., Rodríguez-Morán O., López-Rivera J.G.,
López-Quintero J. O.**

Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington # 169, Esq. a Churrucá, Cerro, Ciudad de la Habana,
Cuba, e-mail : julioq@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

La incertidumbre en la evaluación de los estimados de reservas de hidrocarburos no descubiertos en los prospectos se ha determinado mayormente, con la ayuda del método de modelación por Monte Carlo, basado en la teoría de las probabilidades. Ahora, existen casos donde la información "a priori" es insignificante, vaga o incompleta, insuficiente para estimar parámetros estadísticos.

Para tratar de resolver esta problemática, aplicamos una metodología desarrollada por H. C. Chen y J. H. Fang y adaptada a nuestras condiciones, dirigida a integrar la información geológica fragmentada y subjetiva para la toma de decisiones multicriterio en la evaluación de riesgo de plays y prospectos.

Esta metodología está basada en la evaluación de factores geológicos (roca madre, reservorio y sello, trampa, sincronía o timing), expresados con criterios de naturaleza lingüística y difusa que convierte en criterios numéricos la favorabilidad de ocurrencia de hidrocarburo de un prospecto. Este método constituye una alternativa para la toma de decisiones, pero nunca debe de usarse como una metodología sistemática ya que cualquier toma de decisión debe estar basada sobre criterios los más objetivos posibles.

El área de estudio está relacionada con la Franja Norte Cubana de Crudos Pesados en el Bloque 7 comprendido en la Región Gasopetrolífera Habana - Matanzas caracterizada por el amplio desarrollo de los mantos tectónicos del Terreno Zaza. Evaluamos objetivos en ambientes someros (no mayores de 1500 m. de profundidad) relacionadas con la secuencia ofiolítica y/o secuencias ligadas a ella. Estos objetivos se caracterizan por presentar grandes débitos de hidrocarburo en su etapa inicial lo que por su poca profundidad y la calidad del hidrocarburo entrampado se hace rentables.

ABSTRACT

The uncertainty in the evaluation of the hydrocarbons reserves generally has been determined with the Monte Carlo method based on numerical probabilistic methods. Now, numerous cases exist where the information "a priori" it is presented for aggregating individual and fragmentary pieces of geologic information to asses the outcomes of prospect evaluation.

A new methodology is applied developed by H. C. Chen and J. H. Fang and adapted to our conditions. It's based on possibility, rather than probability theory and coupled with multiple – criteria decision – making theory which evaluate the elements or geologic factors (source rock, reservoir and seal, trap, synchronize or timing).

In essence the approaches of linguistic and fuzzy nature of the geologic factors are used (imprecise and incomplete information) and they become numeric approaches of more possibility of occurrence of hydrocarbons in a prospect or objective.

This method is an alternative approach, not a substitute for conventional methods based on probabilistic theory (Monte Carlo) or statistical data (geochemistry balance etc.).

The study area is located to the Northern Cuban Heavy Oil Belt within in the northern Havana - Matanzas provinces. Is characterized by intense overthrusting; (Tectono – Stratigraphic Unit (TSU) Placetás, Camajuaní and Zaza Terrain (Upper Jurassic to Middle Eocene). We evaluate a shallow objective (not bigger than 1500 m. of depth), related with the ophiolitic sequence. These objectives (little reserves) are characterized by big hydrocarbon debits in their initial stage and for their little depth and well oil quality these make significantly profitable.



Introducción

La evaluación del riesgo de existencia de hidrocarburos en los play y prospectos siempre está sujeta a un conocimiento deficiente de los procesos geológicos para la acumulación de hidrocarburos. Los métodos numéricos de simulación como el de Monte Carlo presuponen una voluminosa información estadística.

Esta metodología considera la información con frecuencia fragmentada, imprecisa y vaga de los parámetros geológicos que son imposibles de procesar con los métodos tradicionales o estadísticos.

La valoración de las reservas petroleras se determinan en cuatro niveles o estadios (White, 1988), prospectos, play (parámetros geológicos similares), sistema petrolero (grupo de play), cuenca sedimentaria (grupo de sistemas). Estas valoraciones según su estadio se dividen en 8 categorías (Charpentier, 1986): área perspectiva por analogía, cálculo volumétrico, distribución estadística normal, extrapolación histórica, balance material geoquímica (generación, expulsión, migración, entrapamiento, etc.), método Delphi y métodos probabilísticos de simulación por Monte Carlo.

Adoptamos en esencia el modelo de toma de decisiones (Newendorp, 1975) y se introducen los criterios de razonamiento difuso y análisis con las variables lingüísticas (Fang J, 1990).

Materiales y métodos

La toma de decisiones en la evaluación de prospectos confronta una serie de responsabilidades, que está definida en determinado estadio de exploración y sujeta a la decisión de una o mas personas. La decisión de perforar o no, reviste una suerte de arte y ciencia. Es arte, porque evaluamos criterios subjetivos y es ciencia a su vez, porque aplicamos conceptos analíticos y de conocimiento acumulados a través del tiempo.

La teoría difusa o fuzzy set (Zadeh, 1965), proviene del estudio matemático de los fenómenos de naturaleza vaga e imprecisa. La característica de un objeto es definida de acuerdo a un grado de membresía. Por ejemplo una categoría de reservas de hidrocarburo tiene una probabilidad de ser alta (> 7.0 MM), media ($2.0 - 7.0$ MM) o baja (< 2.0 MM), (López, J. G., 2001) y su grado de membresía de cada elemento está definida entre 0 y 1. Podemos decir que una reserva con volumen de 4.5 MM es 0.05/alta, 1.0/ media y 0.05/baja (Figura 1.) Por eso podemos tratar este atributo dentro de una situación ambigua entre las fronteras que lo definen o sea trabajamos con distintos grados de certidumbre.

El razonamiento difuso se desarrolla dentro de una colección de premisas donde a partir de determinados preceptos llegamos a una conclusión. Por ejemplo, si decimos que el contenido de carbono orgánico total (TOC) es alto, el reservorio tiene una buena calidad, la sincronía o timing es buena y el sello y la trampa son buenos llegamos a la conclusión que tenemos altas probabilidades de encontrarnos con un objetivo cargado con hidrocarburos o bueno. Las variables lingüísticas son aquellas que se expresan con palabras y no con números, como por ejemplo definir el contenido en TOC de una roca madre como; muy rica, media o pobre.

La característica principal de este método radica en que a diferencia de los métodos tradicionales no obtendremos un valor específico del riesgo o nivel de favorabilidad sino que nuestra expresión difusa se expresará en una función o curva de tendencia y la respuesta estará en dependencia de la forma de esa curva.

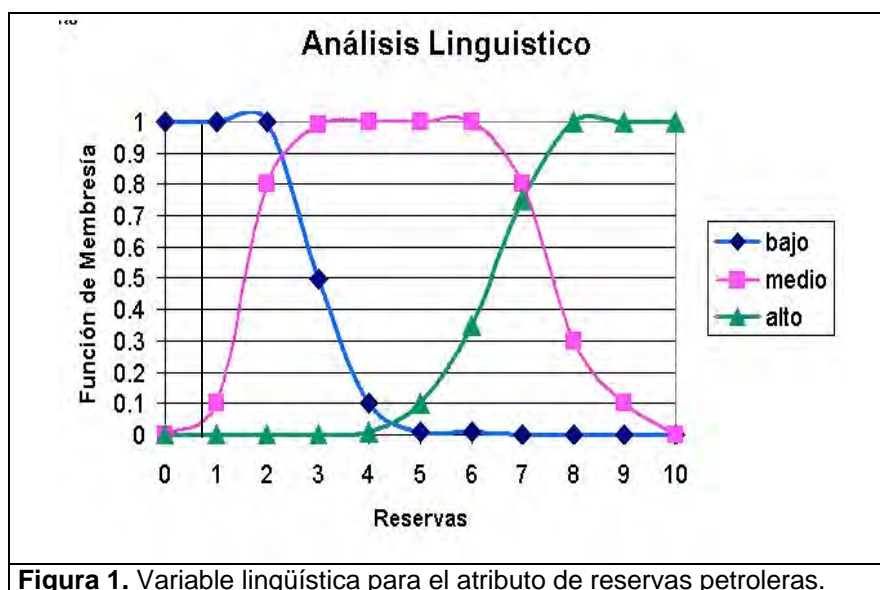


Figura 1. Variable lingüística para el atributo de reservas petroleras.

Primero: Construimos los diagramas de favorabilidad, utilizando el concepto difuso, definimos la favorabilidad del prospecto como excelente, muy bien, bien, regular, pobre y muy pobre (Figura 2). En el eje horizontal se traza el grado de favorabilidad y en el vertical el grado de membresía.

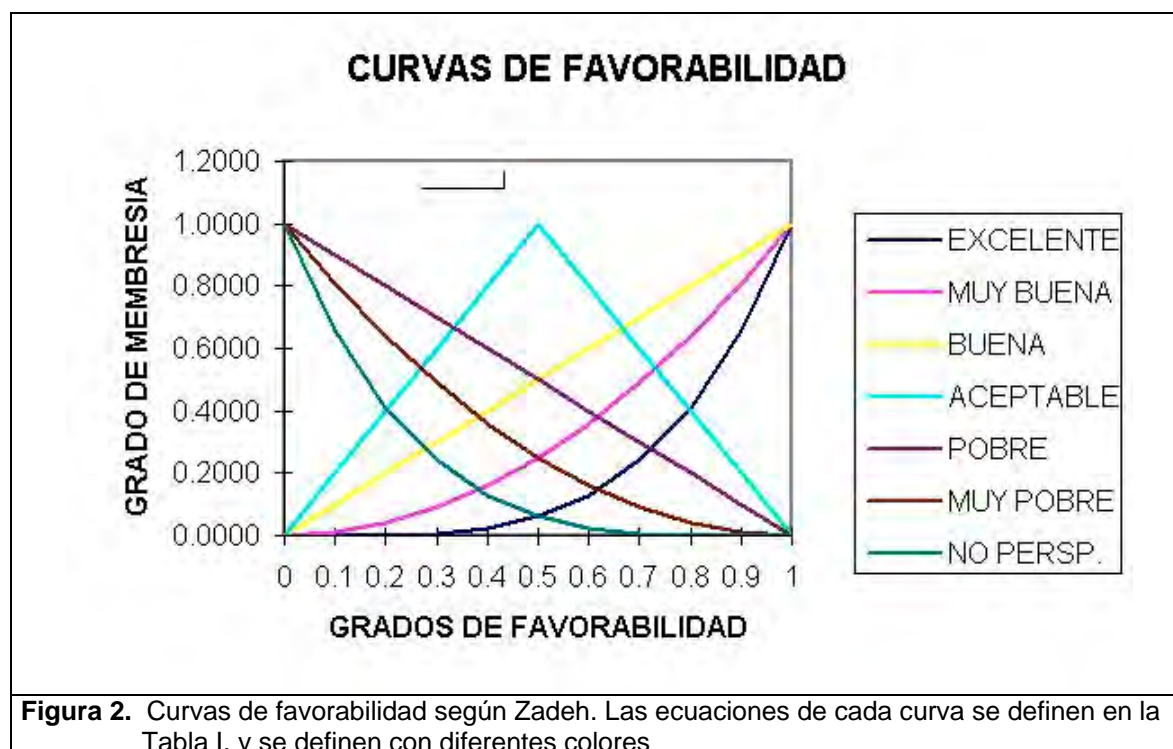


Figura 2. Curvas de favorabilidad según Zadeh. Las ecuaciones de cada curva se definen en la Tabla I. y se definen con diferentes colores



Definimos las ecuaciones del diagrama (Zadeh, 1975). (Tabla I).

Variable Lingüística	Curva tipo $F_p(v)$	Ecuación
Excelente	$F_{(1)}$	$Y = X^4$
Muy Bueno	$F_{(2)}$	$Y = X^2$
Bueno	$F_{(3)}$	$Y = X$
Regular	$F_{(4)}$	$Y = 2X$ para $X < 0.5$ $2(1-X)$ para $X \geq 0.5$
Pobre	$F_{(5)}$	$Y = 1 - X$
Muy Pobre	$F_{(6)}$	$Y = 1 - X^2$

Tabla I. Definición de las ecuaciones de Zadeh

Segundo: Determinación del parámetro posibilidad del play, contando con la evaluación dada por expertos, la información del mapa sumario del play, la información geológica o geofísica y cualquier otra información necesaria, evaluamos los **parámetros de control geológicos de riesgo** (Tabla II.) (Miller B., 1995), los cuales consideraremos:

	Parámetros de control geológico	Posible Condición C_{ik}
Roca Madre	Volumen Riqueza Calidad Maduración Expulsión	(Muy grande, grande, medio, pequeño) (muy rico, rico, pobre) (Tipo I, II, combinado I y II, III, IV dados su membresía en los valores de hidrógeno, oxígeno, reflectancia de la vitrinita, fluorescencia, ambiente deposicional, etc. de la materia orgánica) (madura, moderadamente madura, inmadura, sobre madurada, severamente alterada, desconocido) (Buena, regular, mala)
Reservorio	Porosidad Permeabilidad Espesor neto Profundidad Preservación y calidad del petróleo	(Muy buena, buena, regular, mala) (Muy buena, buena, regular, mala) (grande, medio, pequeño) (profundo, intermedio, somero) (Bueno, regular, malo)
Trampa	Tipo Volumen de cierre Cierre estructural Timing Distancia de la roca madre	(ideal, bueno, malo en función del tipo de trampa) (bueno, adecuado, pobre) (bueno, adecuado, pobre) (antes de la migración, durante la migración, después de la migración) (lejano, intermedio, cercano)
Sello	Integridad Espesor Calidad Migración	(cerrado, algo fallado, manifestaciones) (grande, medio, pequeño) (Bueno, regular, malo) (Bueno, regular, malo)
Timing	Breaching Preservación	(poco probable, probable, muy probable) (Bueno, regular, malo)
Veracidad por geofísica	Corte sísmico Vs. Información estructural	(muy resolutivo, resolutivo, poco resolutivo)

Tabla II. Parámetros de control geológicos de riesgo



Tercero: Determinamos los criterios de decisión donde **m** es la información difusa, por ejemplo:

d_{1-m} Si trampa/tipo = bueno y trampa/timing = antes de la migración y trampa/distancia = intermedio y reservorio/porosidad = regular y reservorio/espesor = grande y sello/integridad = cerrado y roca madre/riqueza = rico y roca madre/maduración = madura **ENTONCES EL PROSPECTO ES MUY BUENO**

Cuarto: Calculamos las funciones de membresía individuales, donde traducimos los criterios lingüísticos en expresiones matemáticas. Por ejemplo, el grado de membresía de roca madre/riqueza = rico será de 0.63 y reservorio/porosidad = regular será 0.4 es calculado como:

A (m) = min (0.9, 0.4) = 0.4; el prospecto puede “clasificar” como bueno con ese grado de membresía debe ser evaluado como:

$$H(m, v) = \min \{1, [1-A(m)+F_p(v)]\} \text{ para } v = 0 \text{ a } 1 \text{ y } p = 1 \text{ a } 6$$

H (m, v) se denomina función de decisión individual la cual evalúa la función en su eje x.

Quinto: Evaluamos la función de Decisión denotada con **D** es una expresión difusa que expresa a cada curva de función de los prospectos. Es equivalente con una “media” entre todas las valoraciones

$$D(v) = \min [H(m, v)] \text{ para todas las } m$$

Sexto: Evaluamos los factores geológicos y al final obtenemos un número que nos indicará la categoría de nuestro prospecto, mediante el cálculo de la distancia euclidiana de cada valor a cada función (6 en total) de prospección y la distancia menor nos dará la curva de tendencia de mejor ajuste y por consiguiente el grado de perspectividad.

$$d(D, F_p) = \left[\sum_{v=0}^1 \{D(v) - F_p(v)\}^2 \right]^{1/2}$$

Resultados y discusión

En los últimos tiempos esta metodología se ha aplicado y perfeccionado en diferentes bloques de licitación donde se han evaluado diferentes objetivos, como han sido Bloque 7 (San Lázaro, Vía Crucis, Puerto Escondido Sur, Puerto Escondido Ofiolita, Fraile Sur, Esperanza y Santa Rita).

A modo de ejemplo, desarrollaremos el método en un área que está relacionada con la Franja Norte Cubana de crudos Pesados en el Bloque 7 comprendido en la Región Gasopetrolífera Habana – Matanzas (Figura 3), caracterizada por el amplio desarrollo de los mantos tectónicos del Terreno Zaza que la cubren prácticamente en su totalidad. (Echevarria G, 1980)

Evaluamos objetivos en ambientes someros (no mayores de 1500 m. de profundidad) relacionadas con la secuencia ofiolítica y/o secuencias ligadas a ella. Estos objetivos se caracterizan por presentar grandes débitos de hidrocarburo en su etapa inicial lo que por su



poca profundidad y la calidad del hidrocarburo entrampado se hace rentables. (Linares E.,2001)

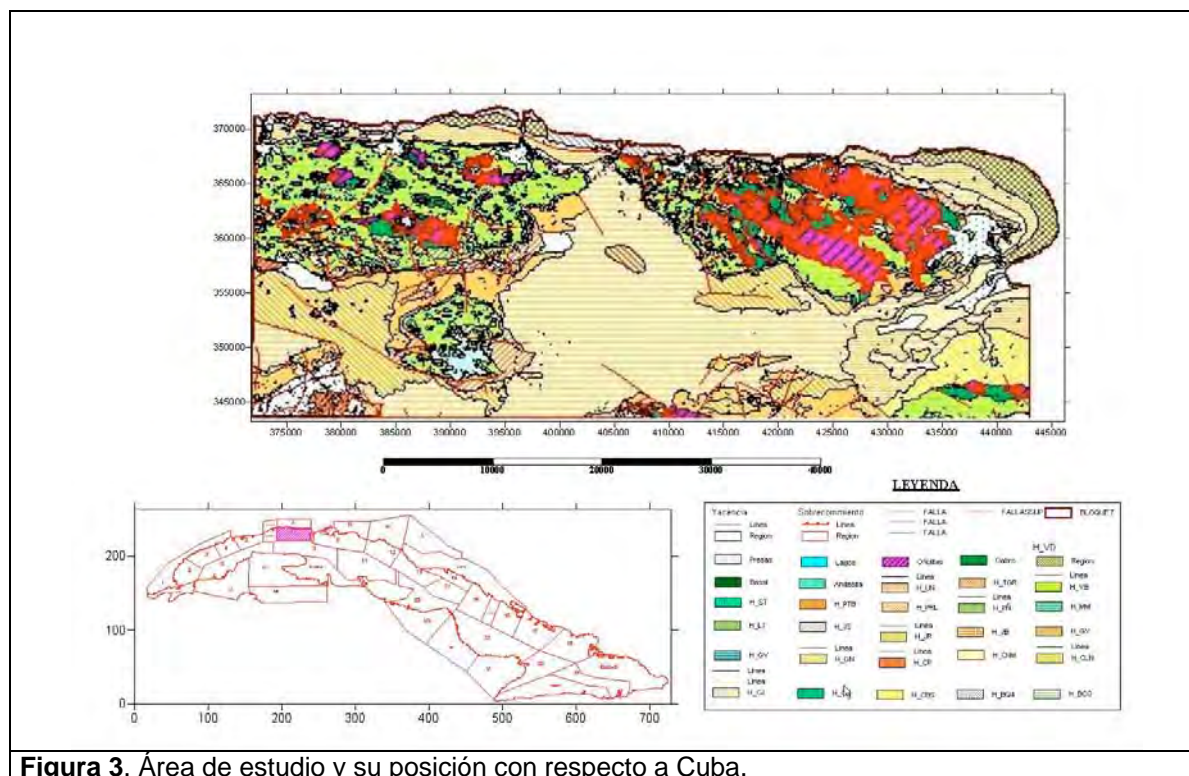


Figura 3. Área de estudio y su posición con respecto a Cuba.

Tomaremos dos de los objetivos anteriormente señalados con sus evaluaciones de favorabilidad por probabilidades evaluadas con la metodología convencional de Monte Carlo (Gómez J. et. al., 2003): San Lázaro (6.42%), Puerto Escondido Sur (5.78%) (Tabla III) y los evaluaremos con la metodología difusa. La evaluación que se logra por la simulación de Monte Carlo para estos objetivos corresponde a **objetivos buenos** aunque en la relación de rangos San Lázaro es más atractivo que Puerto Escondido Sur (SPT, 1994), (Tabla III).

[illegible]

Tabla III. Orden de los objetivos (Overall ranking of Prospect ORP).



La evaluación para el objetivo San Lázaro de forma lingüística lo presentamos en la Tabla IV y el resultado después de la evaluación en las curvas de favorabilidad lo mostramos en la Figura 4. Obtenemos que nuestro objetivo es “bueno” cosa con la que estamos de acuerdo y la información estadística lo avala.

La evaluación para el objetivo Puerto Escondido expresado en su forma lingüística lo presentamos en la Tabla V y el resultado después de la evaluación en las curvas de favorabilidad lo mostramos en la Figura 5. Obtenemos que nuestro prospecto es “aceptable” cosa que aunque no coincide plenamente con la evaluación probabilística lo evalúa con una favorabilidad por debajo de San Lázaro.

	Parámetros de control geológico	Posible Condición C _{ik}
Roca Madre	Volumen Riqueza Calidad Maduración Expulsión	No existe información Rico Regular Madura No existe información
Reservorio	Porosidad Permeabilidad Espesor neto Profundidad Preservación y calidad del petróleo	Buena – 35% Regular – 0.05 md Medio – decenas de metros Somero < -1500m Fallado, petróleo oxidado
Trampa	Tipo Volumen de cierre Cierre estructural Timing Distancia de la roca madre	estructural adecuado Bueno Probable antes de la migración intermedio
Sello	Integridad Espesor Calidad Migración	manifestaciones pequeño regular Probable antes de la migración
Timing	Breaching Preservación	probable regular
Veracidad por geofísica		veraz
Función de Decisión	D = (0.79, 0.5,0.8,0.7,0.55,0.75,0.3,0.7,0.63,0.79,0.7,0.4,0.3,0.33,0.79,0.6,0.45)	
Distancia euclidiana	d(D,Fp) = 0.524 F = 3 : Solución lingüística : El prospecto es bueno	
Tabla IV. Evaluación hipotética parámetros de control geológicos objetivo San Lázaro		



	Parámetros de control geológico	Posible Condición C_{ik}
Roca Madre	Volumen Riqueza Calidad Maduración Expulsión	No existe información Rico Regular Madura No existe información
Reservorio	Porosidad Permeabilidad Espesor neto Profundidad Preservación y calidad del petróleo	Regular Regular – 0.05 md Medio – decenas de metros Somero < -1500m Fallado, petróleo oxidado
Trampa	Tipo Volumen de cierre Cierre estructural Timing Distancia de la roca madre	estructural pobre Adecuado Probable antes de la migración intermedio
Sello	Integridad Espesor Calidad Migración	manifestaciones pequeño regular Probable antes de la migración
Timing	Breaching Preservación	probable regular
Veracidad por geofísica		Poco veraz
Función de Decisión	$D = (0.79, 0.5, 0.8, 0.5, 0.55, 0.75, 0.3, 0.5, 0.63, 0.79, 0.7, 0.4, 0.3, 0.33, 0.5, 0.6, 0.45)$	
Distancia euclidiana	$d(D, F_p) = 0.378$ $F = 3$: Solución lingüística : El prospecto es aceptable	

Tabla V. Evaluación hipotética parámetros de control geológicos objetivo Puerto Escondido Sur.

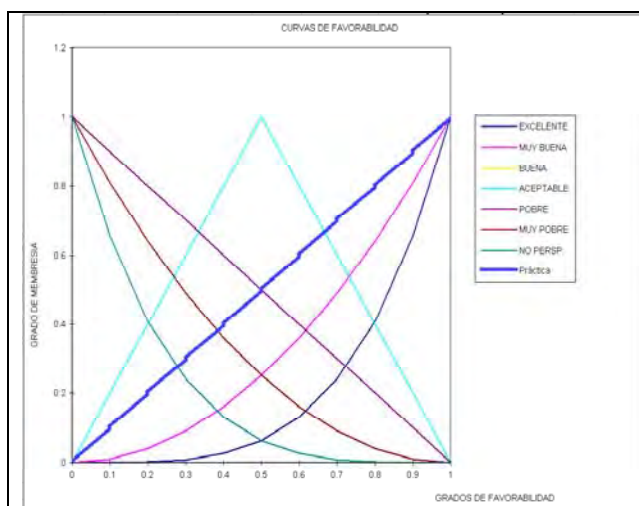


Figura 4. Curva de favorabilidad para el objetivo San Lázaro. El objetivo es “bueno”

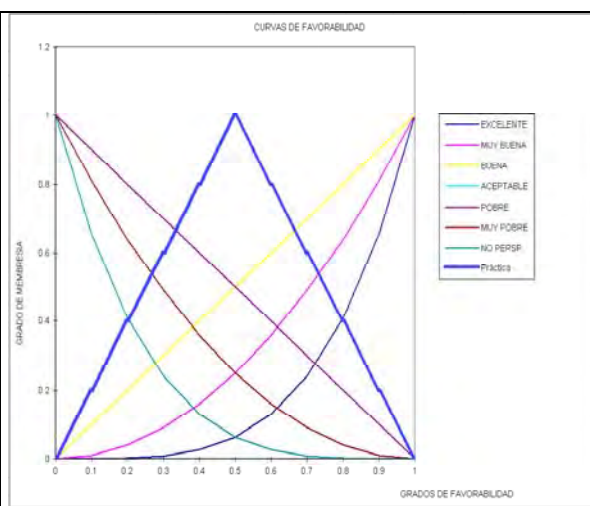


Figura 5. Curva de favorabilidad para el objetivo Puerto Escondido Sur. El objetivo es “aceptable”



Conclusiones

Como hemos visto con esta metodología podemos evaluar a un prospecto, objetivo o play disponiendo solamente de una información imprecisa e incompleta, mediante expresiones lingüísticas y a partir de ella determinar un criterio para la posterior toma de decisiones.

Si aclaramos reiteradamente, que no es un método sustituto de los ya mencionados métodos convencionales estadísticos Monte Carlo o de balance geoquímico. Si realizamos estos cálculos en los objetivos anteriormente señalados, solamente fue con el ánimo de aplicar, calibrar y validar el método.

Esta metodología es recomendada para evaluar Sistemas Petroleros y objetivos que carecen por su magnitud y definición para su evaluación de parámetros para su evaluación cuantitativa. Es flexible, dinámica y abierta a recibir y expandir la base de conocimiento que se tiene para nuestro Sistema Petrolero.

Esta metodología puede ser variada en función de la evaluación de expertos sobre todo en la parte relacionada con la definición de los parámetros geológicos. Esta no es la única alternativa de evaluación cuando nos encontramos ante estos problemas de lógica difusa. Las técnicas basadas en la evidencia del razonamiento como los sistemas de expertos, redes neuronales y la metodología Delphi pueden contribuir a la integración de los conocimientos multidisciplinarios sobre la evaluación de prospectos y play, problemática que abordaremos en trabajos posteriores.

Bibliografía

- Chanpertier, R., 1986. Annotated bibliography of methodology for assessment of undiscovered oil and gas resources, AAPG, Studies geology 21, p 247-263
- Echeverría G., 1980. Recomendaciones para continuar la perforación. Archivo técnico CEINPET # 80
- Fang J., Chen H., 1990. Uncertainties re better handled by fuzzy arithmetic. AAPG Bulletin, v. 74, pag. 1228-1233.
- Gómez J, Rodríguez O, 2003, Gerencia y evaluación del riesgo geológico en la exploración petrolera. Memorias del Congreso de Geología y Minería 2003. Cuba
- Gómez J., 2000. Use of structural data for statistical estimation of outcome probabilities in central basin. Congreso de Geofísica, ISSN 1028-8961. Cuba.
- Linares E., 2001. Guía práctica para el estudio sobre el terreno de las localidades de interés gasopetrolífero, CEINPET
- López G., 2001. Proyecto 2401: Actualización del potencial de hidrocarburos de Cuba para el período 2002-2005, CEINPET, Cuba.
- Miller B., 1995. GEOPLAY, A knowledge –Based expert System – A model for Exploration Play Analysis, USGS Bulletin 2118.
- Newendorp P.D., 1976. Decision Analysis for Petroleum Exploration. Penn Well Books, Tulsa, Oklahoma. USA. ISBN 0-87814-064-6
- Simon Petroleum Technology (SPT), 1994, Prospect Evaluation Workshop, Habana, Cuba
- Valdés J, 1993, Ingeniería del Conocimiento en el Medio Ambiente ARIES. Editorial Academia. Cuba. ISBN 959-02-0036-2
- White D., 1988. Oil and Gas Maps in Assessment, AAPG, v. 72, pag. 944-946
- Zadeh L., 1965. Fuzzy sets. Information and Control, v. 8, pag. 338 - 353.
- Zadeh L., 1975. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Information Science, v. 8, pag. 199 – 249.



GERENCIA Y EVALUACIÓN DEL RIESGO GEOLÓGICO EN LA EXPLORACIÓN PETROLERA

Gómez-Herrera J. E., Otero-Marrero R., Rodríguez-Morán O., López-Rivera J.G, López-Quintero J. O.

Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington # 169, Esq. a Churruca, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, e-mail : julioq@ceinpet.cupet.cu

RESUMEN

La evaluación del potencial de hidrocarburos está íntimamente ligada a la teoría del Riesgo y la toma de decisiones en la exploración petrolera. Primeramente, debemos evaluar la posibilidad del modelo global (Sistema petrolero), el modelo intermedio y de connotación económica (Play), el modelo condicional (prospecto o leads) y sus posibles horizontes estratigráficos (pools productivos). El play, es una colección de prospectos que tienen una relativa homogeneidad geológica, así como el prospecto, es una acumulación potencial de hidrocarburos no descubierta de naturaleza discreta.

La existencia del conjunto play & prospecto depende de la presencia de elementos o factores geológicos de naturaleza independiente (roca madre, reservorio y sello) y procesos (trampa, sincronía o timing), los cuales tiene que tener una existencia necesaria para que exista un depósito de hidrocarburo.

En este trabajo se instrumenta metodológicamente la gerencia y evaluación del riesgo geológico y de reservas, mediante las técnicas de simulación de Monte Carlo.

El área está relacionada con la Franja Norte Occidental Cubana de Crudo Pesado (Bloque 7), comprendido en la Región Gasopetrolífera Habana – Matanzas. Esta se caracteriza por el amplio desarrollo de los mantos tectónicos del Terreno Zaza, que la cubren prácticamente en su totalidad. Evaluamos más de 10 objetivos en ambientes someros (no mayores de 1500 m. de profundidad), relacionadas con la secuencia ofiolítica y/o secuencias ligadas a ella. Estos objetivos (aunque con reservas extraíbles catalogadas como pequeñas) se caracterizan por presentar grandes débitos de hidrocarburo en su etapa inicial lo que por su poca profundidad y la calidad del hidrocarburo entrampado los hace significativamente rentables.

ABSTRACT

The evaluation of the potential of hydrocarbons is intimately bound to the Risk's theory and the decisions – making in the oil exploration. First we should evaluate the possibility of the global pattern (Petroleum System), the intermediate pattern and of economic connotation (Play), the conditional pattern (prospect or leads) and their possible stratigraphic horizons (productive pools). Our analyses start from the play, which is a collection of prospect they have a relative geologic homogeneity, as well as the prospect, is a non discovered potential accumulation of hydrocarbons of stochastic nature.

The existence of the combined play & prospect depends on the presence of geologic factors of independent nature (source rock, reservoir and seals) and processes (trap, timing), which it has a necessary existence so that a hydrocarbon deposit exists.

In this work it is orchestrated the management and evaluation of the geologic risk and of reserves by Monte Carlo techniques simulation.

The study area is located to the Northern Cuban Heavy Oil Belt within in the northern Havana - Matanzas provinces. Is characterized by intense overthrusting; (Tectono – Stratigraphic Unit (TSU) Placetás, Camajuaní and Zaza Terrain (Upper Jurassic to Middle Eocene). We evaluate more than 10 shallow objectives (not bigger than 1500 m. of depth), related with the ophiolitic sequence. These objectives (little reserves) are characterized by big hydrocarbon debits in their initial stage and for their little depth and well oil quality these make significantly profitable.



Introducción

La valoración de las reservas petroleras se determinan en cuatro niveles o estadios (White, 1993), prospectos (1), play (parámetros geológicos similares) (2), sistema petrolero (grupo de play) (3), cuenca sedimentaria (grupo de sistemas) (4).

Estas valoraciones según su estadio se dividen en 8 categorías (Charpentier, 1986):

- área perspectiva por parámetros de áreas análogas (nivel 3)
- cálculo volumétrico análogas (nivel 1 al 3)
- cálculo asumiendo que los prospectos no descubiertos siguen una distribución estadística normal (nivel 2)
- extrapolación histórica (todos los niveles)
- balance material geoquímica (calcula a través de la generación, expulsión, migración, entrapamiento, etc.) (niveles 1 a 3)
- métodos probabilísticos de simulación por Monte Carlo (1y 2)

La teoría de la decisión efectiva aplicada a la exploración requiere la coordinación de dos disciplinas diferentes, la geología y la economía. Específicamente, esto incluye el acople entre la evolución geológica de los prospectos y el análisis a través de la estimación numérica de la probabilidad de los eventos (Crovetto R, 1986). La probabilidad derivada de las características geológicas, puede ser incorporada directamente a los métodos de decisión económica, en las cuales los eventos de la alternativa financiera son determinado cuantitativos y objetivamente (Newendorp, 1976).

Materiales y métodos

El desarrollo de este procedimiento para calcular el riesgo del play es como sigue:

1. **Análisis histórico de la información de los yacimientos** y manifestaciones de hidrocarburos contenidas en el play que pueden ser distribuciones triangulares, uniforme, histograma, normal, etc.
2. **Determinación del mínimo tamaño práctico, económico y detectable los objetivos** a evaluar para ese play. Esto se determina para fijar de antemano la rentabilidad o recompensa en base a un punto de vista económico
3. **Confección del mapa sumario del play** (White, 1988) donde se muestran sus fronteras y distribución de las áreas favorables mediante las parámetros geológicos de control de ocurrencia de hidrocarburo como la roca madre, reservorio, trampas, vías de migración etc.
4. **Determinación del parámetro de éxito futuro del play:** Se considera la información dada por los pozos perforados anteriormente (wildcat) y se determina la relación entre los éxitos y fracasos. Es el record real e histórico de la experiencia de la exploración. Su rango según los parámetros mundiales (Clifford, 1986) se encuentra entre 0.1 y 0.4. Si la información lo permite, se puede calcular este índice utilizando el **mapa sumario del play** donde se testan los objetivos descubiertos (mayores o iguales **mínimo detectable**) (White, 1992) en función de la mayor oportunidad de éxito según los parámetros de control geológico, por ejemplo cercanía a la roca madre, mas segura vía de migración etc.)
5. **Determinación del parámetro posibilidad del play:** Mediante la evaluación por expertos, información del mapas sumarios del play, información geológica o geofísica y otra información evaluamos los **parámetros de control geológicos de riesgo** (Magoon L., 1999) los cuales consideraremos:



- 5.1. Roca Madre
 - 5.1.1. Volumen
 - 5.1.2. Riqueza (TOC)
 - 5.1.3. Calidad (HI)
 - 5.1.4. Maduración (tiempo y temperatura)
 - 5.1.5. Migración (expulsión)
- 5.2. Reservorio
 - 5.2.1. Espesor
 - 5.2.2. Calidad (facies, porosidad, permeabilidad, continuidad)
- 5.3. Trampa & Sello
 - 5.3.1. Volumen del cierre
 - 5.3.2. Tipo Trampa
 - 5.3.3. Calidad del Sello (distribución lateral, escapes, fracturas y facies)
 - 5.3.4. Espesor del sello
- 5.4. Timing o Sincronía
 - 5.4.1. Migración
 - 5.4.2. Breaching (ruptura del sello)
 - 5.4.3. Preservación y calidad del hidrocarburo (flushing, biodegradación, difusión, concentración, recuperación)
 - 5.4.4. Estructura de entrapamiento.

Para la evaluación de los parámetros de control geológicos de riesgo debido a su carácter subjetivista utilizamos diferentes niveles de probabilidad discretos (SPT, 1994).Tabla I

Nomenclatura	Probabilidad
Seguro	1.0
Excelente	< 1.0 – 0.79
Muy Bueno	< 0.79 – 0.63
Bueno	< 0.63 – 0.5
Posible	< 0.5 – 0.32
Pobre	< 0.32 – 0.25
Muy pobre	< 0.25 – 0.05
Descartado	< 0.05
Tabla I. Niveles de probabilidad discretos	

Este es el procedimiento para calcular el riesgo del prospecto.

1. Para la estimación de los **parámetros de control geológicos de riesgo** de los prospectos u objetivos definimos :
 - 1.1. Trampa
 - 1.1.1. Tipo
 - 1.1.2. Tamaño
 - 1.1.3. Cierre estructural
 - 1.1.4. Timing
 - 1.1.5. Distancia de la roca madre
 - 1.2. Reservorio
 - 1.2.1. Porosidad
 - 1.2.2. Permeabilidad
 - 1.2.3. Espesor neto
 - 1.2.4. Profundidad
 - 1.2.5. Preservación y calidad del petróleo



- 1.3. Sello
 - 1.3.1. Integridad
 - 1.3.2. Espesor
 - 1.3.3. Calidad
- 1.4. Veracidad de la estructura por geofísica. La determinación del relieve de la estructura por sísmica o mediante la gravimetría o algún campo potencial es muy importante para la definición del prospecto (SPT, 1994).
2. Se calcula el **factor condicional de éxito del prospecto** mediante la multiplicación de los factores expuestos del prospecto según las reglas de probabilidades explicadas para los play.
3. Se calcula la **posibilidad del prospecto neta** mediante la función global de naturaleza de acumulación arquimedea (función de combinación de probabilidades (Valdés J., 1993) entre el **factor condicional del prospecto** y la **posibilidad del play**.
4. Después de calcular **el factor de éxito del prospecto** se procede a la estimación de las reservas de ese objetivo mediante la simulación de Monte Carlo.
5. Para la toma de decisiones (si es rentable perforar o no) se adecuan los procedimientos para el cálculo del **Valor Monetario Esperado (VME)**, mediante el diagrama de árbol de decisión.
6. Si evaluamos varios prospectos dentro de un play, se procede a realizar el ordenamiento (overall ranking of prospect), en función de las reservas calculadas, nivel de riesgo y por las reservas ponderadas por el riesgo.

Resultados y discusión

Desarrollaremos el área que está relacionada con la Franja Norte Cubana de crudos Pesados en el Bloque 7 comprendido en la Región Gasopetrolífera Habana – Matanzas (Figura 1), caracterizada por el amplio desarrollo de los mantos tectónicos del Terreno Zaza que la cubren prácticamente en su totalidad. Evaluaremos objetivos en ambientes someros (no mayores de 1500 m. de profundidad) relacionadas con la secuencia ofiolítica y/o secuencias ligadas a ella.

Estos objetivos se caracterizan por presentar grandes débitos de hidrocarburo en su etapa inicial lo que por su poca profundidad y la calidad del hidrocarburo entrampado se hace rentables.

Objetivo Puerto Escondido Sur

La propuesta de perforación denominada Puerto Escondido Sur se encuentra ubicada en el Municipio Santa Cruz del Norte, a 4.2 Km. al Suroeste del Caserío Puerto Escondido y a 2.5 Km. al Suroeste del poblado rural El Fraile.

En el sur del yacimiento Puerto Escondido - Canasí, donde el pozo Puerto Escondido no. 1 tuvo manifestaciones importantes de petróleo en las serpentinitas, encontramos la manifestación conocida como Tres Palmas, donde se observa un salidero de petróleo grueso activo en el contacto entre un manto de serpentinas y las rocas del Arco Volcánico Cretácico.

Su profundidad, atendiendo a que debemos buscar zonas profundas donde el petróleo no esté biodegradado, se propone a 1200 metros. Se espera la entrada industrial de petróleo de mediana densidad (Echevarría G., 1980, Linares E., 2001).

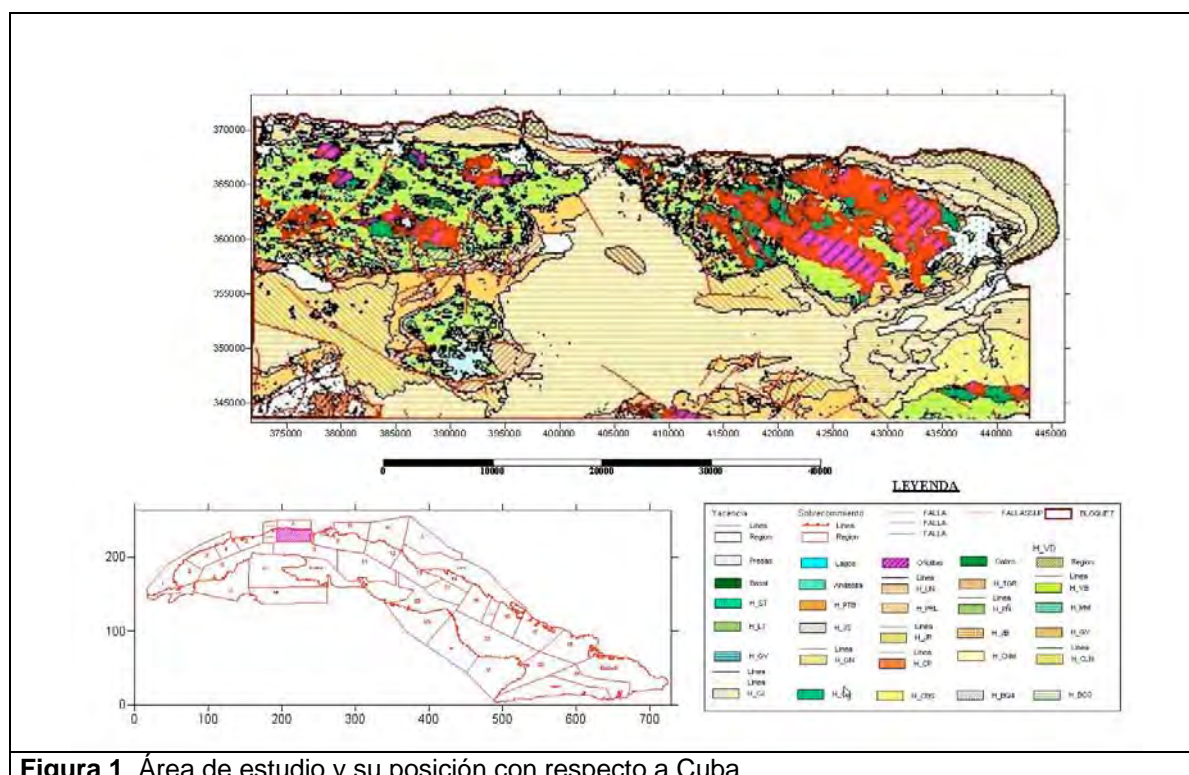


Figura 1. Área de estudio y su posición con respecto a Cuba.

El concepto de SIMULACIÓN permite al analista la opción de describir la incertidumbre y el riesgo en forma de distribución de posibles valores (factores geológicos, Tabla II y parámetros estructurales, Figura 2).

Esas distribuciones son entonces combinadas Tabla III y producen una distribución de posibles niveles de ganancia, las cuales poseen una probabilidad de ocurrencia dada (Tabla IV).

Considerando esto, una distribución es una etapa final del cálculo del valor de un parámetro esperado para utilizarse en el proceso de decisión (Figura 3).

Según la información disponible de sísmica y geología en el área del objetivo están presentes todos los factores evaluados Roca madre (\$), migración (M), reservorio (R), trampa (T) y sello (S) (Figura 2), y considerando todo lo anterior, evaluamos nuestros factores y calculamos la probabilidad de hallazgo para nuestro objetivo que en este caso corresponde con un **5.7 %** de acierto de encontrar una estructura cargada con petróleo.

En función de todo lo anterior desarrollamos nuestro modelo con los siguientes parámetros de estimación de reservas para proceder a la simulación mediante Monte Carlo (Gómez J., 2000) .

Se incluye solo una simple decisión en el momento cero de la exploración. La simple decisión sería “perforar” o “abandonar”, es decir, “no perforar”.

Para estos tipos de decisiones se adecuan los procedimientos para el cálculo del **Valor Monetario Esperado (VME)** (Figura 3). El VME es la suma de un resultado (en nuestro caso las reservas) por su probabilidad de ocurrencia, todo expresado en dinero. Esto nos da una idea de nuestra ganancia o pérdida y por consiguiente la toma de decisiones.



PLAY	ATRIBUTOS	PROBABILIDAD CONDICIONAL NETA	COMPONENTES	PROBABILI DAD CONDICION AL
	Roca Madre	0.7	Volumen	0.63
			Riqueza	0.63
			Calidad	0.78
			Maduración	0.5
			Expulsión	0.5
	Reservorio	0.7	Espesor	0.7
			Calidad	0.6
	Trampa & Sello	0.6	Volumen del cierre	0.6
			Tipo Trampa	0.5
			Calidad del Sello	0.6
			Espesor del sello	0.55
	Timing	0.7	Migración	0.79
			Breaching	0.63
			Preservación	0.5
Estructura de entrampamiento.			0.63	
Posibilidad del Play		0.225	Mínimo tamaño del objetivo (MM)	0.1
Razón de Éxito del Play		0.35		
Posibilidad Media del Play		0.079		

Tabla II. Parámetros de control geológicos de riesgo para el Play Norte – Occidental

Tabla II. Parámetros de control geológicos de riesgo para el Play Norte – Occidental

Parámetros	Mínimo	Medio	Máximo
Area Efectiva (m2)	5148000	6200000	6823000
Espesor Efectivo (m)	15	20	25
Porosidad Efectiva (frac.)	0.08	0.09	0.1
Sat. De Petróleo (frac.)	0.5	0.6	0.7
Coef de recalculo	0.85	0.85	0.85
Coef. De Entrega	0.06	0.07	0.08
Reservas Estimadas (m3)	157528.8	398412	811937

Tabla III. Parámetros para el cálculo de Reservas Hipotéticas de nuestro objetivo de estudio.

El análisis incluye la construcción de un diagrama que demuestra toda la secuencia de los eventos posibles y la opción de decisión anticipada. El “diagrama de decisión” es muy parecido al dibujo de un árbol y desde el comienzo del desarrollo de las técnicas del análisis las personas comenzaron a llamarle diagrama de “árbol de decisión”.

Un árbol de decisión es sencillamente una representación pictórica de una secuencia de eventos y posibles ocurrencias.

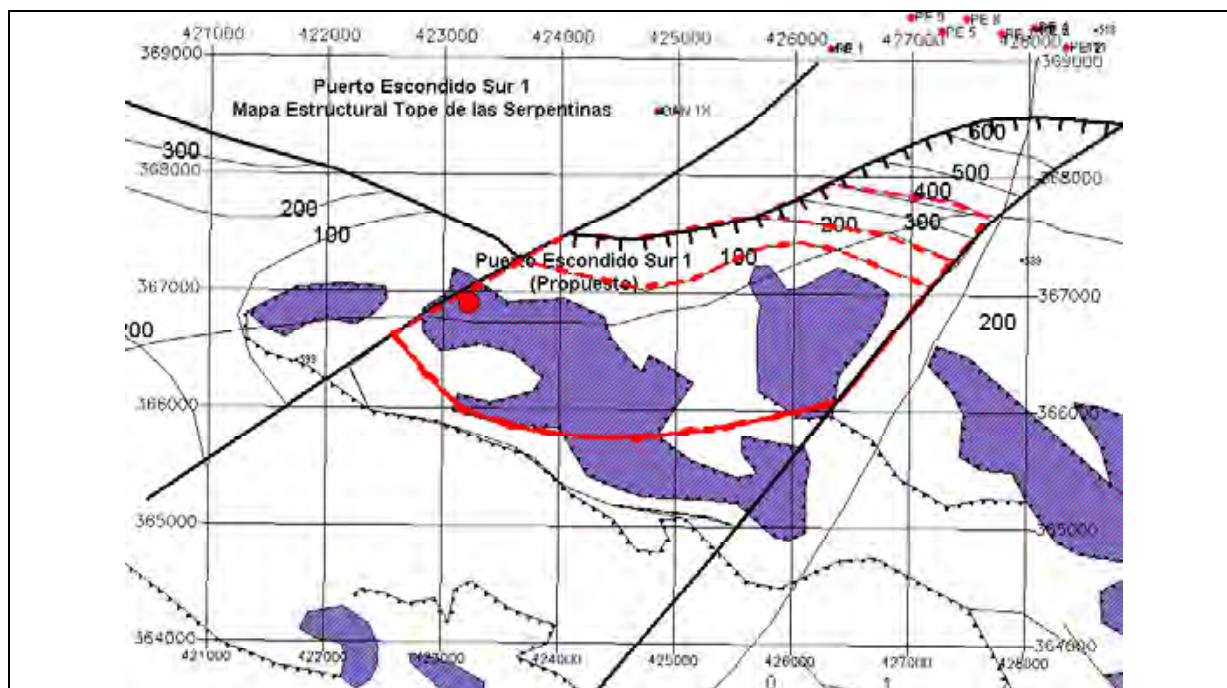


Figura 2. Mapa Estructural por el Tope de las serpentinas del Objetivo Puerto Escondido Sur

Es de obligatoria aclaración que estos valores anteriormente calculados (en el caso de las ganancias) no constituyen valores definitivos ya que posteriormente se incurrirán en gastos de desarrollo, costos de la explotación, existirá una depreciación del dinero, variación de los precios del crudo y otros factores que ponderarán los balances económicos

Analicemos nuestro árbol de decisión por ramales (Figura 3)

- **RAMAL A:** Desistimos de perforar en el objetivo. Nuestro VME será por consiguiente \$ 0 dólares de ganancias probables.
- **RAMAL B:** Perforamos un pozo y es productivo. Obtendremos un VME de 0.710 millones de dólares de ganancias probables.
- **RAMAL C:** Perforamos un pozo es seco. Desistimos de perforar e incurriremos en un VME de -0.573 millones de dólares de pérdidas probables.
- **RAMAL D:** Perforamos un pozo y es seco. . Intentamos con otro pozo y este es seco. Obtendremos un VME de -1.080 millones de dólares de pérdida probables.
- **RAMAL E:** Perforamos un pozo y es seco. . Intentamos con otro pozo y este es productivo Obtendremos un VME de 0.702 millones de dólares de ganancias probables.

Tabla IV. Parámetros evaluados de control geológico de riesgo

Figura 3. Árbol de toma de decisiones del Objetivo Puerto Escondido Sur



Parámetros Valores		Tipo de Reservas [MM m3] Prob. M. Clase	
1000	Iteraciones	Valor	
0.2460	Mínimos	Reserva Desde Hasta	
0.6130	Máximos	[MM m3]	
12	Partición	\$MM	
0.0305833	Intervalos	Mínima <0.37	
		0.125 0.315	
		8.830	
		Mas Probable 0.37 0.57 0.750 0.469	
		13.135	
		Máxima >0.57	
		0.125 0.582	
		16.314	
		1.000	Total

Tabla V. Parámetros de la simulación por Monte Carlo y resultados

Procedemos a determinar según los parámetros calculados el orden de los objetivos (Overall ranking of Prospect ORP).

Objetivo	Reservas(Mm3)	Rank Reservas (sin riesgo)	Prob. Neto	Rank prob. (con riesgo)	Riesgo Reservas	Rank Final
San Lázaro	0.74	1	0.0642	1	0.047508	1
Vía Crucis	0.507	2	0.0589	2	0.0298623	2



Esperanza	0.472	4	0.0574	4	0.0270928	3
Puerto Escon. Sur	0.469	5	0.0572	5	0.0268268	4
Fraile Sur	0.42	3	0.0578	3	0.024276	5
Tabla VI. Orden de los objetivos (Overall ranking of Prospect ORP).						

Conclusiones

Este método soporta una poderosa herramienta para la exploración y evaluación de las oportunidades de éxito de un play y su componente prospecto. En nuestro caso particular denominamos a nuestros prospectos como objetivos debido al bajo grado de información sísmica con que cuentan.

Dota al ejecutivo encargado de la toma de decisiones de una consistencia geológica y económica para la pre - perforación del pozo.

Por ejemplo, la Tabla IV nos da una información sobre el orden de importancia de los objetivos evaluados en todo nuestro play según la metodología explicada anteriormente. El evaluado en este trabajo ocupa con respecto a los demás el quinto lugar en magnitud de reservas, el quinto lugar en función de las probabilidades de hallazgo y el cuarto lugar en el rango final. Si solamente tenemos recursos para perforar dos pozos, este objetivo Puerto Escondido Sur debe de esperar un mejor momento.

¿Decisión a tomar? Con respecto a él, pues, hacer mas sísmica en el lugar o mejorar los demás parámetros geológicos.

Como vemos el problema radica en el grado de conocimiento geológico que tengamos del play y sus prospectos.

Existen muchos casos, donde la información es tan vaga e imprecisa que se nos hace imposible valorar desde un punto cuantitativo los parámetros de riesgo geológico.

Ante esta situación se desarrolló una metodología capaz de evaluar estos atributos geológicos utilizando algoritmos de naturaleza lingüística y difusa (Gómez, J, 2003).

Bibliografía

- Chanpertier, R., 1986. Annotated bibliography of methodology for assessment of undiscovered oil and gas resources, AAPG, Studies geology 21, p 247-263
- Clifford, A, C, 1986. Future petroleum Province of the world .AAPG Memoir 40, p. 339-372
- Crovelli R,A., 1986. FASP: An analytic resource appraisal program for petroleum play analysis, Computer&Geosciences, Vol 12,No. 4B
- Echevarría G., 1980. Recomendaciones para continuar la perforación. Archivo técnico CEINPET # 80
- Gómez J, Rodríguez O, 2003, Evaluación Difusa de Prospectos Petroleros. Memorias del Congreso de Geología y Minería 2003. Cuba
- Gómez J., 2000. Use of structural data for statistical estimation of outcome probabilities in central basin. Congreso de Geofísica, ISSN 1028-8961. Cuba.
- Linares E., 2001. Guía práctica para el estudio sobre el terreno de las localidades de interés gasopetrolífero, CEINPET
- Magoon L., 1999. Petroleum Systems. Notas
- Newendorp P.D., 1976. Decision Analysis for Petroleum Exploration. PennWell Books, Tulsa, Oklahoma. USA. ISBN 0-87814-064-6
- Simon Petroleum Technology (SPT), 1994, Prospect Evaluation Workshop, Habana, Cuba



- Valdes J, 1993, Ingeniería del Conocimiento en el Medio Ambiente ARIES. Editorial Academia. Cuba.
ISBN 959-02-0036-2
- White D., 1988. Oil and Gas Maps in Assessment, AAPG, v. 72, pag 944-946
- White D., 1993. Geologic Risking Guide for Prospects and Plays. AAPG Bulletin, V77, pag. 2048-2061
- White, D, 1992. Selecting and assessing play, AAPG Petroleum Geology Handbook, p 87-94



TRABAJOS DE RECONOCIMIENTOS PARA AU Y PGE EN EL MACIZO OLGA JAGUA. PINAR DEL RIO MEDIANTE TECNICAS MATEMATICAS DE DIAGNOSTICO.

René Fernández de Lara Arias, Eliecer Sobrino

Empresa Geominera de Pinar del Río Calle Marti No 141. Pinar del Río Cuba.

RESUMEN

La presente investigación consiste en trabajos de Reconocimiento Geológico para Au y elementos del grupo de los Platinoides apoyado por técnicas de diagnosis matemáticas en el Macizo Olga-Jagua en el Noroeste de Pinar del Río. Determinándose las zonas de mayor Favorabilidad para la existencia de dos tipos de depósitos no descubiertos, pero que pueden existir en base a las características metalotectónicas del macizo.

Estos depósitos minerales que pronosticamos son: "*Au en vetas de Cuarzo asociado a sulfuros*" y "*Au y EGP en cortezas de Intemperismo*"

En el presente trabajo fue utilizada información de diferentes tipos y escalas incluyendo información satelital multiespectral del proyecto Tematic Maps, resultados magnéticos y radioespectrométricos de levantamientos aerogeofísicos complejos, datos de levantamientos geológicos, geoquímicos y geofísicos terrestres, información geomorfométrica, así como datos de perforación y laboreos mineros.

Toda esta información fue procesada en formato digital, apoyada en una tecnología SIG.

En los modelos matemáticos de diagnosis intervienen diferentes técnicas que van desde la superposición de mapas hasta los Sistemas Expertos basados en los principios de la Inteligencia Artificial.

ABSTRAC

The present paper constitutes a geological reconnaissance in The Olga-Jagua Massif, based on mathematical diagnosis tools, where the most favorable zones for the occurrence of two types of undiscovered deposits are determined, which could exist according to the metalotectonic conditions of the massif.

The pronosticated undiscovered models, according to the characteristics of the area are: "*Au in quartz veins associated to sulphide*" and "*Au and PEG in weathering crusts*".

Information of different types and scales is used in the current study: LANSAT TM images, magnetic and spectrometric information from the airborne survey, ground geophysics data sets, information from geological and geochemical survey, as well as drill hole logging and morphometric data.

Introducción

El macizo Jagua se encuentra ubicado en la porción noroccidental de la provincia de Pinar del Río, en la Zona Estructuro Facial Guaniguanico.

Debido a su posición exótica en el corte y su composición, se considera una zona metalogénica independiente de las zonas que la rodean.

En décadas anteriores el macizo fue evaluado para minerales básicos, descubriéndose cobre y otros sulfuros en vetas de cuarzo, pero sin llegar a tener un interés económico. Además fueron descubiertos valores anómalos de titanio en la corteza de intemperismo. En ningún momento el macizo ha sido evaluado para metales preciosos.



En base a las características del macizo y algunos indicios conocidos de la mineralización existente se infiere que pueden existir al menos dos tipos genéticos para metales preciosos descritos en la literatura.

El presente trabajo constituye un trabajo de reconocimiento basado en técnicas de diagnóstico matemático donde se determinan las zonas más favorables para la ocurrencia de dos tipos de depósitos **NO DESCUBIERTOS**.

Los modelos no descubiertos propuestos, según las características del área son: "**Au EN VETAS DE CUARZO ASOCIADOS A SULFUROS**" y "**Au + PGE EN CORTEZA DE INTEMPERISMO**".

Los mapas resultantes a partir de la información existente sirven para orientar un mínimo trabajo de campo con cuyo resultado se puede valorar el potencial del macizo para estos tipos genéticos.

La información utiliza parte principalmente de los trabajos de K. Volochcovich a escala 1:10 000 de 1983. En estos trabajos de alta calidad, se realizó un complejo de métodos que incluye entre otros, mapeo geológico, perfilaje eléctrico, polarización inducida, metalometría, así como trabajo de perforación con las que se evaluaron dos manifestaciones cuprífera sin mucho interés económico, pero que constituyen una de las premisas básicas para esta investigación. Además fueron utilizadas la información de los canales espectrométricos del levantamiento aerogeofísico complejo realizado por la ENG en 1981 y la información de reflectancia multiespectral del proyecto Tematic Maps.

Con el objetivo del procesamiento digital, toda la información fue llevada a un formato raster, con dimensiones de los píxeles de aproximadamente 30 x 30m.

El procesamiento fue realizado sobre tecnología SIG, haciendo uso de las facilidades que ofrecen para el procesamiento de imágenes el sistema **IDRISI** y el sistema **RELIS** para la generación de Sistemas Expertos.

Geología del macizo.

El macizo se ubica en el cierre del sinclinal Jagua-Mantua sobre los depósitos de la Fm Esperanza. El área del macizo es de aproximadamente 12 Km. Su contorno está relacionado tectónicamente con las rocas encajantes, tanto en superficie como en profundidad. Los estudios geomagnéticos indican una dirección predominante de la magnetización remanente, lo que indica que no existen cambios notables de posición en su interior. Su espesor por datos gravimétricos está en el orden de 700 - 900 metros. Con respecto a su emplazamiento existen dos hipótesis básicas, una que apoya el emplazamiento alóctono, traslado desde la corteza oceánica ubicada al sur (cuenca de San Diego) y otra que considera una protusión "in situ". En nuestra opinión el macizo se desarrolló originalmente en la roca de caja actual (Fm. Esperanza). Su contacto tectónico con esta se debe a las tensiones provocadas durante el movimiento de la Fm Esperanza hasta sobre los depósitos de la formación Esperanza.

De composición máfica, generalmente esta representada por un complejo gabro-anfibolítico atravesado por diques de diabasa y fracturas rellenas de cuarzo y agregados clorito-serpentiníticos.

Los minerales metálicos componen el 1%. A menudo a lo largo del contacto se desarrolla una



piritización intensa así como cloritización.

En el borde sur del macizo aparece un cinturón serpentinitico de 400 - 500 metros de ancho. En superficie se desarrolla una potente corteza de intemperismo representada por arcillas de color rojo-pardas que alcanza hasta 20-30 m de potencia.

Potencial metalogénico conocido.

En 1979 fueron descubiertas dos manifestaciones cupríferas La Jagua y La Vieja sin presentar un atractivo económico que indicara la continuación de los trabajos

La manifestación La Jagua se ubica en el contacto norte del macizo gabroide con los depósitos de la Fm. Esperanza, en una zona de alto tectonismo, de espesor 20-15m con una ligera cuarcificación y cloritización. La mineralización calcopirítica está relacionada con vetas de cuarzo y se forman simultánea a la intrusión de estos. Las venillas de calcopiritas se observan hasta las profundidades de 35m y el contenido de Cu llega a alcanzar más de 4,5%. A mayor profundidad aparece una mineralización vetítica disminuyendo la calcopirítica

En la manifestación La Vieja fueron descubiertos varios pozos criollos y una mina abandonada, en la escombrera se observa poca cantidad de cuarzo con sulfuro y pirita fundamentalmente.

El depósito se asocia a una zona de fallas meridionales que atraviesan el macizo. La mineralización es pirita y calcopirita, en forma de nidos y diseminadas con vetas de cuarzo de espesor 10-20cm. El grado de mineralización es débil, menor que 0.5% de Cu. En la profundidad no aumenta el contenido de Cu.

En toda el área aparecen fracturas rellenas de cuarzo veteadas con limonización y diseminación de pirita y calcopirita no oxidada, la potencia de la zona de vetillas cuarzosas alcanza 200m.

En 1992 C. A. García de la Universidad de Pinar del Río estudió de forma general el potencial de Titanio en la corteza de intemperismo formadas por arcillas color rojo pardas, reportando magnetitas titaníferas e ilmenitas, con contenidos medios de TiO₂ entre 2-3 %, (y hasta más de 8,5 %), llegando a un concentrado de promedio de 20 % (9 % - 30 %), mediante un proceso de separación granulométrica y fracción magnética.

Metodología.

Para la realización del trabajo nos basamos en la siguiente metodología que consiste en cuatro etapas básicas.

1. Creación del modelo conceptual
2. Definición del modelo de diagnóstico
3. Ejecución del pronóstico
4. Interpretación- comprobación

Esta metodología fue cumplimentada para cada modelo de forma independiente y al final los resultados formales fueron sintetizados para crear un resultado final.

En la primera etapa se crean los modelos conceptuales en base a las condiciones metalotectónicas del área y a las características de los modelos, el hecho de que estos depósitos son “no descubiertos” en la región, implica la extrapolación de estas características desde objetos de otras regiones, a nuestras condiciones. Se analiza también que parte de la información disponible es útil para solucionar la tarea, y que transformaciones son necesarias para su uso óptimo.



En la segunda etapa se crean los modelos lógicos de diagnóstico creando la secuencia de pasos que parten de la captura de la información primaria hasta la obtención de las áreas de favorabilidad, pasando por el cálculo de la definición operacional (transformación de datos primarios) y proceso de clasificación.

Para cada una de estas etapas se define las herramientas óptimas en base al tipo de Información y la operación a realizar.

En esta investigación se introduce por primera vez las técnicas de la inteligencia artificial para el procesamiento de imágenes cósmicas de reflectancia multiespectral.

La tercera y cuarta etapa se realizan de forma simbiótica, tratando de reajustar todo el modelo hasta lograr los resultados óptimos según el modelo conceptual.

Au en vetas de cuarzo asociado a sulfuros.

Las áreas más favorables para la ocurrencia de estos tipos de depósitos, serán los propios depósitos de sulfuros asociados a vetas de cuarzo, por lo que partimos de los siguientes presupuestos básicos:

- I. Los depósitos se asocian a zona de cuarzo.
- II. A estas zonas se asocian alteraciones hidrotermales, por lo que estas constituyen un índice positivo.
- III. El Au se asocia con sulfuros.
- IV. Las vetas de cuarzo contenidos se asocian a zonas tectónicas, tanto internas como del borde del macizo.
- V. Los depósitos conocidos de sulfuro en vetas de cuarzo (La Vieja y Jagua y otras manifestaciones) se consideran patrones para control de la clasificación.

Para la determinación de las zonas del cuarzo nos basamos en su alta resistencia mecánica, la que producirá estructuras residuales positivas del relieve, las cuales son mapeadas por métodos geomorfométricos.

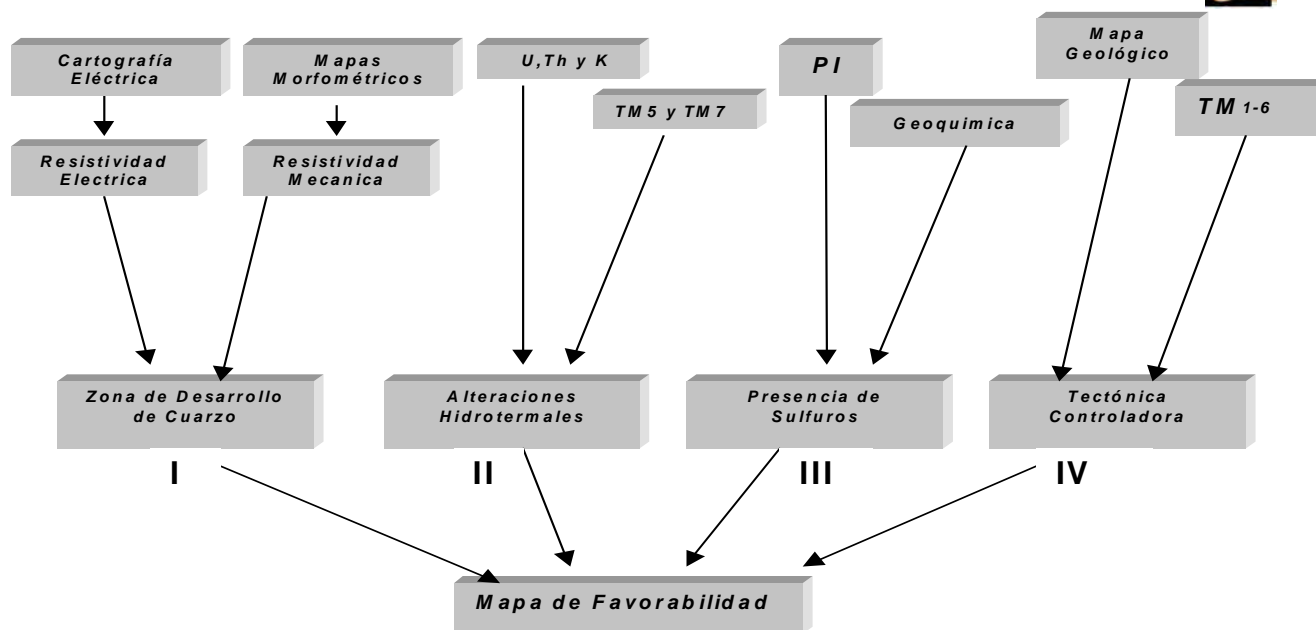
Además estas zonas se pueden mapear por la alta resistividad eléctrica, a partir de los datos del perfilaje eléctrico.

Para la determinación de posibles zonas de alteración hidrotermal, se utilizan los canales aerospectrométricos de Potasio y el valor de la función $(K * U / Th)$, así también como la relación $TM5/TM7$ de la Información satelital.

Para la presencia de sulfuros se toman como índices las anomalías de Polarización Inducida y los contenidos anómalos de Cu, Pb, y Zn, del levantamiento metalométrico.

En la determinación de zonas tectónicas intervienen la Información del levantamiento geológico y la interpretación de los imágenes satelitales.

El siguiente esquema muestra el flujo de la Información en el proceso.



Como se ve se ha conformado un modelo particionado que incluye índices complejos relacionados con cuatro de los presupuestos básicos enumerados en el modelo conceptual. El quinto presupuesto se tomara como control de la clasificación.

Cada uno de estos índices se representa con un valor de certidumbre entre 0-1, de acuerdo a su confiabilidad.

Dentro del Índice I (zona de cuarzo), la resistencia mecánica se calcula a partir de los mapas residuales positivos del relieve, preferiblemente de formas lineales.

La resistividad eléctrica se determina directamente a partir de la resistividad aparente medida en el Perfilaje Eléctrico, la resistencia mecánica y eléctrica son unificadas mediante la superposición de mapas para obtener el Índice I.

El Índice II “presencia de alteraciones hidrotermales” se concibe como el valor de la primera componente principal normalizada, de las variables TM5/TM7, K y $k \cdot U/Th$.

El Índice III “presencia de sulfuros”, se determina en base a la superposición del mapa de Polarización Inducida dividido en tres clases (fondo y 1.5 veces el fondo y 1.5 veces el fondo), con el mapa de anomalías metalométricas complejas.

El Índice IV “cercanía a zonas tectónicas” se determina a partir de un “buffer” de 200 ms asociado a alineaciones tectónicas. El valor del parámetro disminuye gradualmente al alejarse de la alineación, tomando el valor 1 en el centro y 0 a más de 200m del centro. Las alineaciones tectónicas son tomadas de los trabajos anteriores y reinterpretados apoyados con la información de la primera componente principal de las bandas 1-6 de las imágenes satelitales.

El cálculo de la favorabilidad para la ocurrencia de este tipo genético se calcula mediante el Sistema Experto **AULSC**, el cual valora la certidumbre de que la zona sea favorable en base a los cuatro índices establecidos.

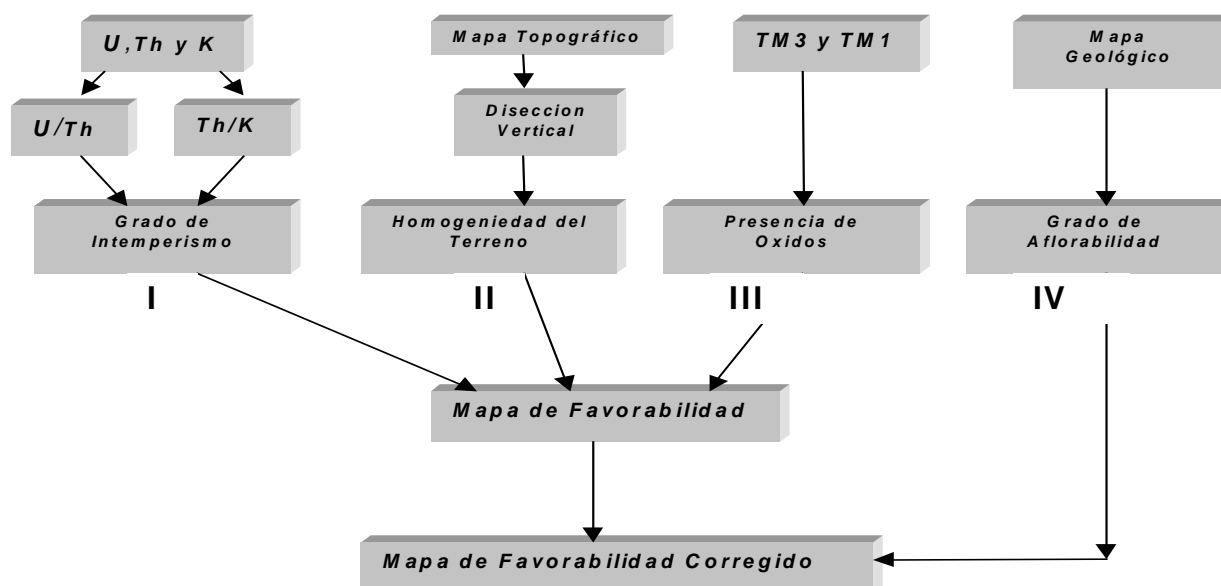
Au y PEG en Cortezas de Intemperismo.



Las áreas más favorables para la ocurrencia de concentraciones industriales de estos minerales la constituyen las zonas de mayores espesores y mayor grado de madurez de corteza de intemperismo, por lo que para la determinación de estas zonas nos guiaremos por los siguientes índices.

- I. Las zonas de alto intemperismo se caracteriza por valores elevados de las relaciones U/Th y Th/K .
- II. Las zonas de desarrollo de cortezas de intemperismo se caracterizan por una baja resistencia mecánica, por lo que el relieve debe ser plano, con baja disección vertical.
- III. Las cortezas de intemperismo son ricas en óxidos.
- IV. Las zonas de alto desarrollo del intemperismo coinciden con las zonas de un bajo grado de aflorabilidad.

El siguiente esquema marca el flujo de la Información en el proceso de clasificación.



Como en el caso del modelo anterior los índices I, II y III tomaron valores normalizados entre 0 y 1.

El índice I “grado de intemperismo” se calcula como la primera componente principal de par U/tn y Tn/k .

El índice II “homogeneidad del terreno”, se determina por una función suavizada del inverso del valor de la disección vertical.

El índice III “presencia de óxidos” se calcula mediante un sistema Experto, nombrado **OXITM13**, que a continuación explicaremos.

El poder de reflejar las ondas de una determinada ventana del espectro de la luz solar (reflectancia) de un objeto, es una propiedad que depende de muchos elementos de los que intervienen en la composición de dicho objeto, por lo que la reflectancia se puede considerar una magnitud altamente subjetiva.

De hecho cuando nos referimos a la reflectancia de un determinado objeto geológico o de otro tipo, nos referimos con términos tales como “alta reflectancia” o “reflectancia moderada” etc.



Solo en casos muy particulares en un área determinada, conociendo todas las características de la captura de la Información y conociendo correctamente la “firma espectral” de los objetos, pudiéramos hablar en términos de valores numéricos.

De otra parte si por ejemplo medimos el contenido de Cu en una muestra, sabemos que la magnitud obtenida, depende de cuanto Cu hay en la muestra, sin embargo si medimos la reflectancia de una determinada ventana espectral a una muestra solo podemos decir si la magnitud depende de una cosa u otra con un determinado grado de incertidumbre.

El problema toma todavía más subjetividad cuando obtenemos un resultado combinando el resultado de la reflectancia de varias bandas.

En base a lo anterior pensamos que por sus características la reflectancia multispectral debe de ser procesados con herramientas matemáticas que tengan en cuenta su subjetividad e incertidumbre, planteándonos la introducción de forma sencilla de la aplicación de los métodos de inteligencia artificial, en el procesamiento de este tipo de Información.

En el caso que nos compete (la determinación de concentraciones de óxidos), conocemos que estos presentan una “alta reflectancia en la banda TM3” y una baja reflectancia en la banda TM1”. En base a esto muchos autores se han planteado la relación TM3/TM1 para el mapeo de los óxidos; sin embargo esta relación puede tener una respuesta ambigua para una magnitud determinada.

Mediante un operador de razonamiento con incertidumbre puede lograrse una magnitud que determine el cumplimiento de las dos proposiciones antes expuestas incluyendo la incertidumbre que estas presenten.

El operador que presentamos tendrá el valor más representativo cuando estemos más seguros que la relación TM3/TM1 sea máxima y las reflectancia de TM3 sea la más alta y la del TM1 la más baja.

Esta sencilla operación puede ser el inicio de la Introducción de estas técnicas en la interpretación de las imágenes de reflectancia multispectral mediante procesos más complejos.

El calculo de favorabilidad será calculado teniendo en cuenta los índices I, II y III mediante un SE nombrado **LATERITA** y corregido por el índice IV “ bajo grado de aflorabilidad” por superposición de mapas, llegandose así a un resultado final.

Resultados

Modelo au en vetas de cuarzo

En base a la distribución de los grados de certidumbre obtenidos en el área, seleccionamos cuatro categorías de Favorabilidad:

CATEGORIA

GRADO DE CERTIDUMBRE

Categoría I (No Favorable)

0-50

Categoría II (Ligeramente Favorable)

50-60

Categoría III (Favorable)

60-70

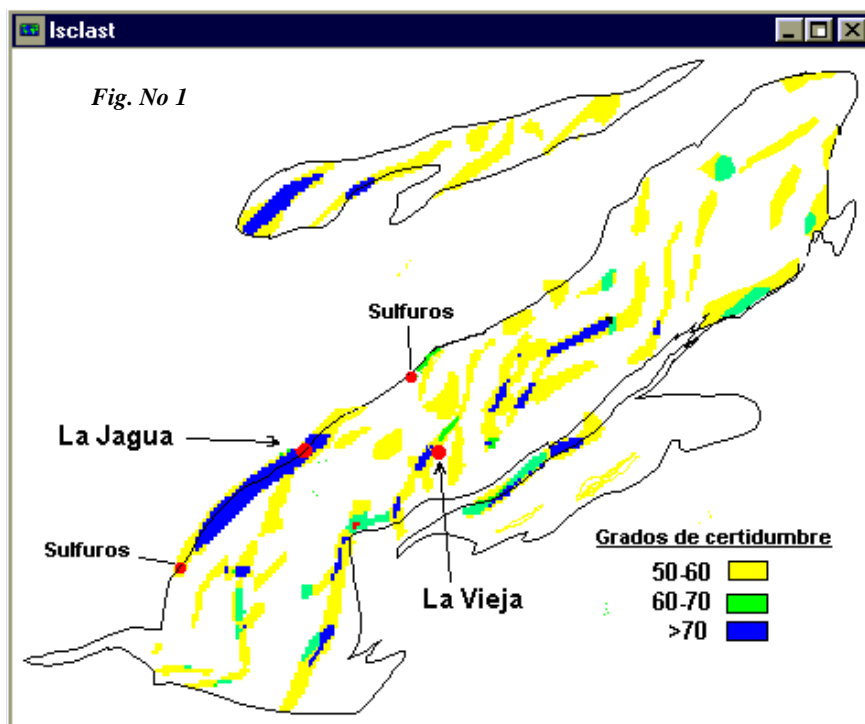
Categoría IV (Muy Favorable)

mayor que 70

La suma de las tres categorías favorables constituye aproximadamente el **27%** del área del macizo.



Los resultados son avalados como positivos, al compararlos con los puntos patrones (La Jagua, La Vieja y otras dos manifestaciones de sulfuros conocidas en el área), los cuales coinciden con zonas marcadas con algún grado de favorabilidad. La Figura No 1 presenta el Mapa de Grados de Favorabilidad para este tipo genético.



Dentro de los sectores seleccionados se pueden determinar tres modelos en base a la posición que ocupan.

- 1- Asociado al contacto tectónico del macizo con la Fm Esperanza. Este modelo se tipifica con la manifestación "La Jagua".
- 2- Asociado a fallamiento sub-meridional en el interior del macizo, tipificado con el sector de la manifestación "La Vieja".
- 3- Asociados a serpentinitas en la parte central del borde SE del macizo.

Para realizar un estimado de los recursos pronósticos tomamos como patrón la zona favorable que contiene la Manifestación La Jagua, donde se conocen según Volochkovich una potencia de la zona mineralizada de 2-3 ms, una continuación por el buzamiento de 40 ms y un peso volumétrico de 3,2 ton/m³, tomando un largo por el rumbo de 1500m y un coeficiente de confiabilidad de 0,1 se pueden inferir recursos de aproximadamente 0,45 mt de esta mena cuarzosa.

Extrapolando estos recursos en base a las dimensiones de las restantes zonas y disminuyendo el coeficiente de confiabilidad en base al grado de favorabilidad, se pueden inferir los siguientes recursos totales:

Sector	Largo (mts)	Categoría	Coeficiente	Tonelaje (mt)
La Jagua	1500	III-IV	0.1	0.45



Resto de Sectores	2000	III -I V	0.07	0.42
Resto de Sectores	14000	II	0.05	2.1
			Total	2.97

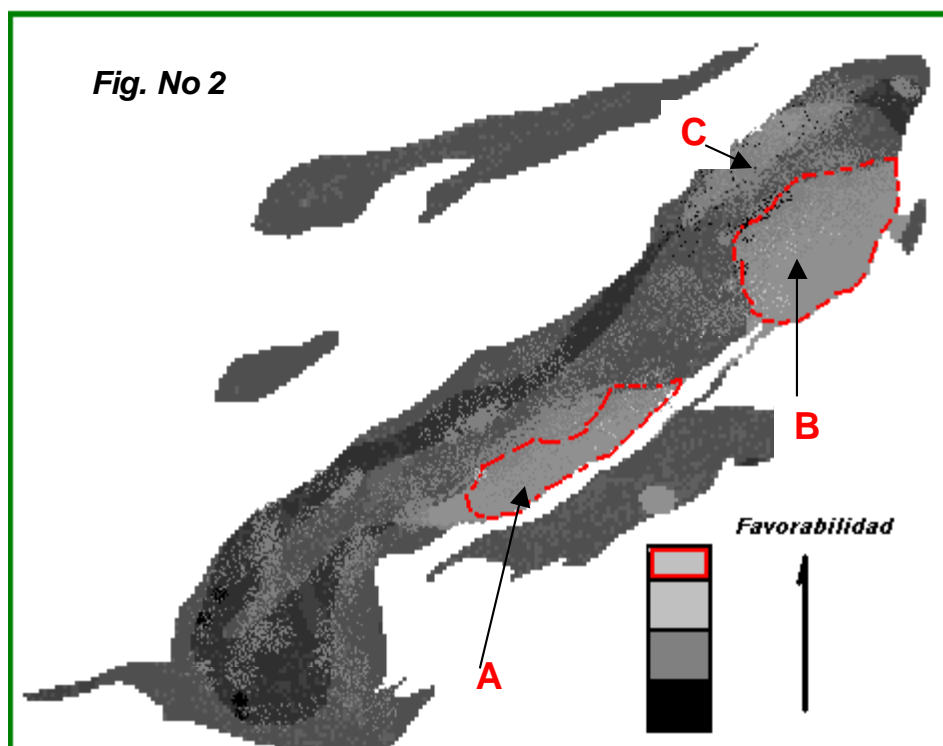
Tomando en cuenta una ley mínima para estos tipos de depósitos según la literatura de 3-4 g/ton se pueden estimar recursos en categorías especulativa en el orden de 10 ton. de metal de oro.

Modelo Au y PEG en Corteza de Intemperismo

En este caso el estudio se limita al pronóstico perspectivo señalando solamente las áreas donde se pronostica el mayor desarrollo de la corteza de intemperismo.

A diferencia del modelo anterior donde las áreas favorables son alargadas y estrechas de acuerdo al modelo, en este caso los objetos buscados deben ser de amplias dimensiones, por otra parte es difícil seleccionar umbrales para los distintos grados de favorabilidad, debido a lo cual se toman como perspectivas las mayores zonas de agrupación de píxeles con los valores más elevados determinados en el área de estudio.

Siguiendo estos criterios se determinaron tres áreas favorables las que nombramos **A, B y C** ubicándose todas en el cuerpo principal del macizo. La figura No 2 presenta el mapa de favorabilidad para este modelo .



La Zona **C** ubicado en el borde noreste del macizo presenta un grado de aflorabilidad alto con respecto al resto del área, por lo que pasa a una segunda categoría de favorabilidad, así también las zonas de las áreas **A** y **B** que no coinciden con las de bajo aflorabilidad



De este modo clasificamos áreas de primera categoría de Favorabilidad los sectores de las áreas **A** y **B** que coinciden con un bajo grado de aflorabilidad. Aunque la selección de áreas seleccionadas como de baja aflorabilidad no parte de criterios muy exactos, el hecho de que todas estén incluidas dentro de las áreas seleccionadas como favorables, avalan la calidad de la clasificación.

Conclusiones

1. Los modelos de diagnóstico usados se avalan como satisfactorios, al ser comprobados según premisas del Modelo Conceptual .
2. En el área del macizo existen zonas favorables para la ocurrencia de ambos tipos genéticos de depósitos .
3. El pronóstico perspectivo para ambos casos racionaliza el área del macizo en un alto porcentaje lo que ayuda a racionalizar los trabajos de continuación.
4. Para una valoración preliminar completa del potencial del macizo con respecto a estos dos tipos genéticos, solo se necesita un mínimo trabajo de campo.
5. Las técnicas de Inteligencia Artificial puede mejorar el tratamiento de la información multiespectral cósmica .

Recomendaciones

1. Para el caso de los depósitos del modelo Au en vetas de cuarzo se recomienda comprobar en el campo las áreas seleccionadas con un complejo de métodos que tengan como base los itinerarios geológicos y el muestreo geoquímico.
2. Para el caso de los depósitos lateríticos se recomienda comprobar en el campo las áreas seleccionadas con un complejo de métodos que tengan como base los itinerarios geológicos y el estudio geoquímico del corte en base a perforaciones.
3. Luego de tener los resultados de los trabajos de comprobación y si estos resultasen positivos, debe reajustarse el modelo en base al nuevo conocimiento adquirido.
4. La información de los Métodos Eléctricos existente debe ser más explotada en ambos modelos.
5. Desarrollar el tratamiento de los datos de reflectancia multiespectral mediante las técnicas de Inteligencia Artificial, con el apoyo de patrones conocidos y experimentos teóricos.

Bibliografía.

- Alaminos C. Metodología para el Procesamiento de la Información Geológica Georreferenciada (INEDITO)
- Fernández de Lara R. Metodología para los Trabajos de Pronósticos Automatizados (INEDITO)
- Cox D. and Singer D. (1986). Mineral Deposit Models. US Geological Survey Bull # 1693. EU
- Shives R. (1895). Application of Gamma Ray spectrometric/ magnetic/ VLF-EM Survey. Workshop Manual Geological Survey of Canada.
- Vazquez M. (1996) .Regional Geological Interpretation and Spectral Analysis of Troodos Massif Ophiolites (Cyprus) ITC. Holanda
- Volochkovich K. (1983) Informe sobre los Trabajos de Búsqueda Orientativa en el Sector Olga-Jagua ONRM



EL KRIGING INDICADOR Y EL CONTROL DE LA LEY EN EL YACIMIENTO ORO CASTELLANO

Elmidio Estévez Cruz⁽¹⁾ y José Quintín Cuador⁽²⁾

(1) Universidad de Pinar del Río, Martí 270, Pinar del Río, Cuba, e-mail.: estevez@geo.upr.edu.cu

(2) Universidad de Pinar del Río, Martí 270, Pinar del Río, Cuba, e-mail.: cuador@eco.upr.edu.cu

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo proponer y evaluar el Kriging de Indicador (KI) para la modelación numérica de la ley de Oro durante el control de la ley en el yacimiento Oro Castellanos. En este depósito se han empleado y evaluado otros métodos los cuales no consideran las complejidades geológicas existentes.

Los datos utilizados en este estudio consisten en los pozos del control de la ley (exploración de explotación) pertenecientes a 8 bancos ya explorados. El análisis exploratorio de datos demostró la existencia de diferencias significativas en los contenidos medios del metal en las distintas litologías presentes en el yacimiento. Se propone emplear un nuevo método de estimación que tome en consideración la imposibilidad de separar y tratar independientemente los distintos tipos de rocas. Las litologías no poseen coherencia espacial y están completamente mezcladas tanto en el plano como en la vertical. El KI es un método no paramétrico que resuelve el problema de estimar datos de distribuciones no normales, además de aplicarse en aquellos casos donde se manifiestan varias poblaciones (tipos de mineralización o litologías) y donde no es posible su separación. Los diferentes valores de las leyes de corte, empleadas para el cálculo de los variogramas de indicadores, fueron seleccionadas sobre la base de consideraciones prácticas.

En el trabajo también se evalúa el impacto de la densidad de información en la estimación de la Ley, para lo cual se utilizó la simulación secuencial gaussiana. Los resultados obtenidos justifican el uso de técnicas más sofisticadas que las empleadas actualmente.

ABSTRACT

The aim of this work is to propose and to evaluate the Indicator Kriging (IK) for numeric modelling of the gold grade during the grade control in the Oro Castellanos deposit. In this deposit several methods have been used and evaluated before which do not consider the existing geologic complexities.

The data used in this study consist on the grade control blastholes (exploration of exploitation) belonging to 8 explored benches. The exploratory data analysis showed the existence of significant differences in the Au mean grade in the different lithological units. A new estimation method, that takes into consideration the impossibility of separating and treating independently the different lithological types, is proposed to use. These units do not possess spatial coherence and are totally mixed as much in the plane as in the vertical direction. The KI is a non-parametric method that solves the problem of estimating data of non-normal distributions, besides being applied in those cases where a mixture of several populations exists (mineralization types or lithologies) and it is not possible to separate them. The different cutoff values used for calculating the indicator variograms were selected base on practical, economic considerations and considering the objective of the study.

In this work, the impact of the information density in the estimate of Au grade is also evaluated. To attain this goal the sequential gaussian simulation was used. The obtained results justify the employment of more sophisticated techniques than the ones used at the moment.



Introducción

Durante la explotación de un yacimiento una de las actividades fundamentales realizadas por el geólogo de minas es el control de ley o exploración de explotación. Este trabajo permite la planificación a corto y mediano plazo además de garantizar la alimentación de la planta con materia prima de características específicas. Para la estimación de la ley de los distintos bloques de selección minera se emplean diversos métodos que van desde los más simples como la media aritmética, pasando por el método de los polígonos e inverso de la distancia al cuadrado hasta métodos más potentes y sofisticados aportados por la geoestadística.

Es trabajo del geólogo emplear en la estimación métodos de interpolación que se ajusten a las características geológicas del yacimiento de forma tal que se logre aprovechar al máximo los resultados de los costosos trabajos de exploración, así como garantizar un aprovechamiento más racional de los recursos del yacimiento. Tradicionalmente en el yacimiento Oro castellanos la ley del bloque se determina empleado la media aritmética de los pozos positivos que caen y bordean los bloques a estimar. Otros autores sobre la base de la continuidad espacial que manifiesta la ley de Au en los distintos bancos han sugerido emplear el kriging ordinario para realizar las estimaciones (Estévez y Cuador, 2002). El objetivo de este trabajo es sugerir y justificar el empleo de otros métodos que se ajusten mejor a las condiciones geológicas del yacimiento Oro castellanos.

Situación geográfica y geológica

El yacimiento Oro Castellano se encuentra en la parte noroeste de la provincia de Pinar del Río a 3.5 Km del pueblo de Santa Lucía y a 46 Km al norte de la ciudad de Pinar del Río. El depósito forma parte del campo mineral Santa Lucía – Castellanos que ha sido considerado como una cuenca sedimentaria de edad Jurásica (Valdés-Nodarse et al., 1993). Los depósitos de esta zona han sido interpretados como pertenecientes al tipo sedex (Whitehed et al., 1996). El yacimiento Oro Castellanos (yacimiento tipo Gossan) se hospeda en la zona de oxidación que cubre la mineralización primaria del yacimiento polimetálico Castellanos (Valdés-Nodarse et al., 1993).

Las menas en el yacimiento están compuestas por una matriz arcillosa donde aparecen fragmentos de diversos tipos de rocas y minerales tales como, cuarzo, areniscas, barita, bloques de limonita etc., las menas de la zona de oxidación in situ son menas arcillosas y su composición litológica es semejante a las menas ubicadas en otros sectores del yacimiento.

Información primaria

Los datos utilizados en este estudio consisten en toda la información disponible de la exploración de explotación en el yacimiento Oro Castellano. Los pozos, pertenecientes a 8 bancos, fueron perforados en una red regular de 5 x 5m (6x6m en algunos casos) atravesando cada uno de ellos los 5 m de altura del banco. Para evaluar la posibilidad del empleo del kriging indicador se seleccionó el banco 75 del sector Susana (Banco 75s), el cual se encuentra explorado en una red de 5x5m, posee gran cantidad de pozos y es además representativo del yacimiento.



Análisis exploratorio de datos

Este paso se realiza con el objetivo de caracterizar estadísticamente la ley de Au y cuantificar su variabilidad en los distintos bancos del yacimiento. La estadística elemental arrojó que la ley de Au de los bancos 75s, 70s y 70f se encuentran distribuidos lognormalmente mientras que el resto no se ajusta a las distribuciones normal y lognormal. Los histogramas para las leyes transformadas de 3 bancos se muestran en la figuras 1. Es bueno destacar que en la mayoría de los bancos los gráficos de $\ln(\text{Au})$ muestran indicios de bimodalidad o mezcla de poblaciones, esto tiene una fácil explicación geológica si se considera que en el depósito el Au está contenido en distintos tipos litológicos.

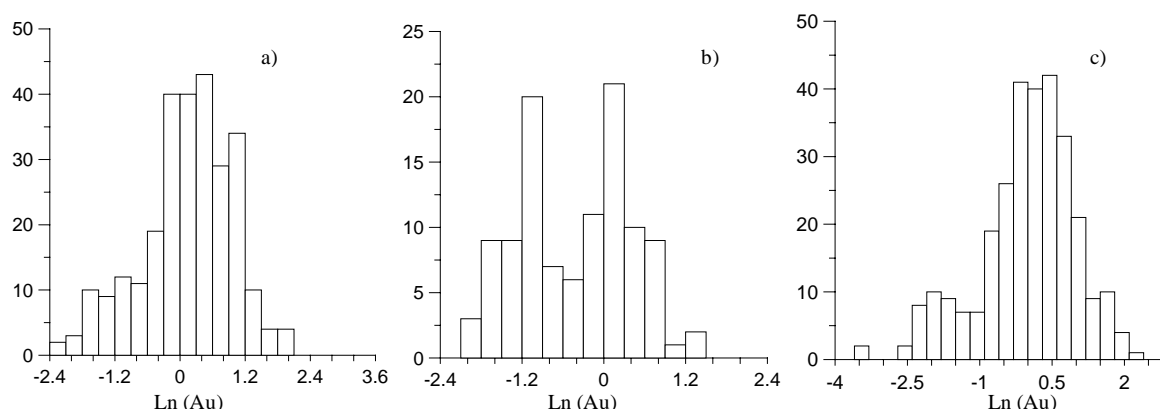


Figura 1 Histogramas del logaritmo natural de la ley de Au a)banco 75s b)banco95s c)banco75f

Se conoce que la variabilidad de la ley de un determinado elemento está determinada por las características litológicas y mineralógicas del yacimiento mineral. Si las características geológicas y litológicas no se consideran durante el proceso de estimación entonces es difícil obtener buenos resultados, independientemente de la técnica de predicción que se utilice (Houlding, 1994).

En el yacimiento el Au aparece alojado en distintos tipos de rocas. Para conocer si la litología ejerce alguna influencia en el contenido de Au se empleó el análisis de varianza simple (ANOVA). Para esto todas las muestras de la exploración de explotación fueron codificadas atendiendo a la documentación realizada por el geólogo (tabla 1). En nuestro caso las hipótesis (nula y alternativa) analizadas fueron:

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ (igualdad de los contenidos medios en las distintas litologías)

H_1 : al menos una ley media es diferente

Los gráficos de análisis de varianza evidencian las diferencias significativas que existen en los contenidos medios de Au en las distintas litologías. Como la probabilidad calculada en todos los casos es menor que 0.05 entonces, queda claro, que la ley de oro de la muestra depende de la litología en que se encuentre. Esto significa que la base de datos no es geológica ni estadísticamente homogénea por lo que de ser posible se deben separar y tratar independientemente cada litología.

La variografía o análisis estructural se realizó para investigar y cuantificar la variabilidad espacial de la ley de Oro en el yacimiento. Los resultados de la variografía se muestran en la figura 2. En todos los bancos se detectó una clara correlación espacial con estructuras muy bien



Tabla I Tipos litológicos y su por ciento de ocurrencia en el yacimiento.

<u>Litología</u>	<u>Código</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Ley media</u>	<u>%</u>
Areniscas	A	626	0.82	41.71
Arenisca Cuarzosa	AC	322	0.84	21.45
Arenisca Limonitizada	AL	148	1.69	9.86
Arenisca Arcillosa	AA	122	0.46	8.13
Arcillas	R	106	0.5	7.02
Aleurolita	U	72	0.28	4.77
Limonita	L	47	2.36	3.11
Material Arenoarcilloso	Maa	40	0.83	2.65
Esquistos	E	14	-	0.92
Cuarcita	C	3	-	0.19
Caliza	Z	1	-	0.06

definidas. El rango o alcance de los variogramas tiene poca variación y se encuentra en el orden de los 30m. Los resultados expuestos demuestran la poca variabilidad espacial de la ley de Oro en el yacimiento. n

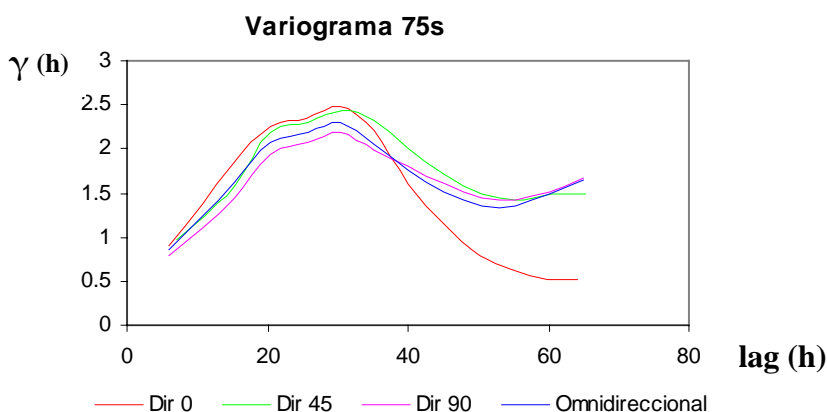


Figura 2 Variogramas experimentales de la ley de oro banco 75s.

Se hicieron varios intentos de calcular los variogramas por litologías pero los resultados no fueron satisfactorios. En el banco 75s el análisis variográfico se extendió a los valores booleanos. Los variogramas de indicadores se han empleado para detectar la estructura espacial de la variable estudiada cuando esta no es revelada por el variograma tradicional u otra medida de la continuidad espacial (Annels,1994; Carr et al., 1985; Estévez, 2000). Para realizar la transformación de los valores originales se emplea una función indicatriz que convierte los valores originales en ceros y unos (Tulcanaza,2000).

$$i(x,z) = \begin{cases} 1, & \text{if } z(x) \geq \text{Cutoff} \\ 0, & \text{if } z(x) < \text{Cutoff} \end{cases}$$



Los valores de las leyes de corte (Cutoff) se seleccionan sobre la base de consideraciones prácticas, los cutoff empleados fueron el primer cuartil (Q1) 0.87, segundo cuartil (Q2 o mediana) 1.48, tercer cuartil (Q3) 2.52 y dos valores que coinciden con los puntos de inflexión de la curva de frecuencia acumulativa, los cuales pueden indicar la transición entre 2 poblaciones. Los variogramas de indicadores fueron calculados en las dos direcciones principales N-S y E-S. Los variogramas para los distintos cutoff revelan estructuras espaciales muy semejantes para los 3 primeros cutoff, sin embargo la continuidad espacial disminuye sensiblemente en los 2 últimos valores de corte lo cual se refleja en una disminución del alcance y un aumento del efecto pepita (fig 3). Estos resultados confirman la mayor variabilidad de las zonas más enriquecidas en Au.

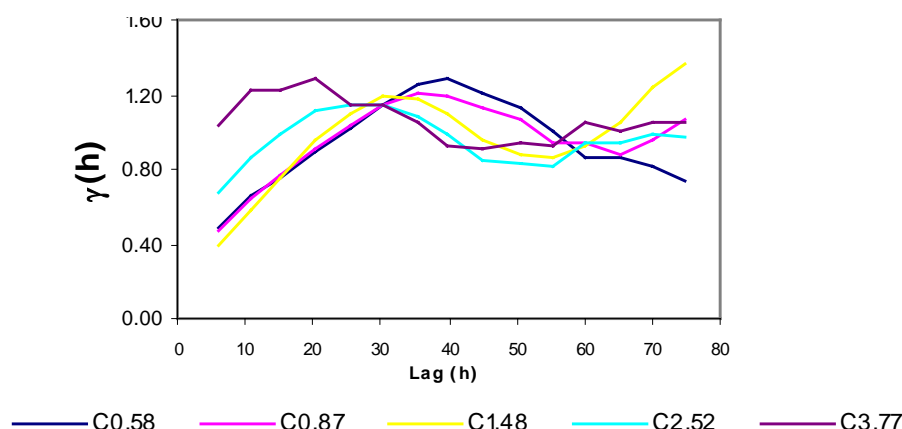


Figura 3 Variogramas de indicadores para las distintas leyes de corte.

Estimación

Las técnicas de interpolación se emplean para predecir la variación espacial de la ley del componente útil. Los métodos de estimación espacial incluyendo el Kriging, tienden a suavizar la variabilidad espacial real de la ley al pasar de una litología o mineralización a otra. La única forma de eliminar esta deficiencia es restringiendo el proceso de estimación al volumen que ocupa la unidad geológica o sea aplicar discriminación poblacional o control geológico a la estimación (Tulcanaza, 2000).

El análisis exploratorio de datos demostró que la discriminación de las distintas poblaciones no es posible por lo que se hace necesario trabajar con zonas geoestadísticamente heterogéneas (distribuciones bimodales o multimodales). El hecho de que existan tipos litológicos más ricos en oro conduce a la no homogeneidad de los datos o lo que es lo mismo mezcla de distintas poblaciones geológicas y estadísticas. Estas poblaciones no presentan una clara coherencia espacial y al estar mezcladas entre sí se dificulta su separación en unidades geológicamente homogéneas.

Los métodos geoestadísticos lineales se basan en el supuesto de estacionaridad de la función aleatoria, dicho precepto no se cumple en este caso por lo que se propone emplear el formalismo del Kriging indicador. El kriging indicador no es más que el kriging ordinario (simple)

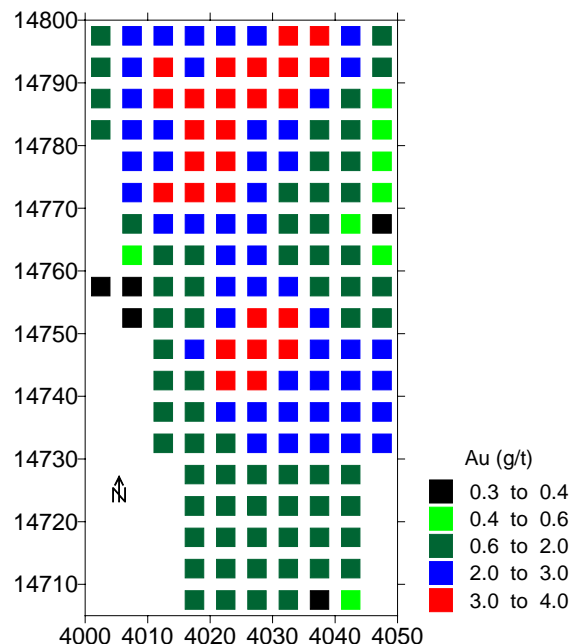


Figura 4. Ley de Au estimada empleando kriging de indicadores (banco 75s)

de los indicadores calculados en los distintos cutoff o valores umbrales (Isaaks,1989). El método es no paramétrico y resuelve el problema de estimar datos de distribuciones no normales, además se aplica en aquellos casos donde existe mezcla de varias poblaciones (tipos de mineralización o litologías) y donde no es posible su separación (Annels,1994; Tulcanaza,2000). Para cada uno de los cutoff seleccionado se emplea un modelo de variograma diferente esto permite una gran flexibilidad, típica solamente de este método, pues logra separar y usar en la estimación la estructura espacial de las distintas partes de la distribución. Los pasos fundamentales para la aplicación de esta técnica se explican en Isaaks (1989).

Existe una aproximación o simplificación de este método, que no es más que el llamado Kriging Indicador de la mediana, el cual consiste en usar el modelo de variograma de la mediana de los datos para todos los cutoff. En nuestro trabajo después de comparar los variogramas de indicadores (fig. 3) y comprobar la no existencia de diferencias significativas entre los tres primeros se decidió emplear un mismo modelo de la continuidad espacial para C0.58, C0.87, C1.48 y 2 modelos independientes para C2.52 y C3.77 (tabla 2).

Tabla II Modelos teóricos ajustados a los variogramas experimentales de los distintos cutoff

Cutoff (g/t)	Modelo teórico
0.58	$\gamma(h)=0.16+sph(36,27)+0.10sph(10000,32)$
0.87	$\gamma(h)=0.16+sph(36,27)+0.10sph(10000,32)$
1.48	$\gamma(h)=0.16+sph(36,27)+0.10sph(10000,32)$
2.52	$\gamma(h)=0.5+0.76sph(28,237)$
3.77	$\gamma(h)=0.65+0.3sph(10,8.6)+0.31sph(100,22)$

Para la aplicación del Kriging indicador se empleo el subprograma ik3d de la GSLIB (Deutsch and Journel, 1998). Para la estimación del valor esperado se utilizó la subrutina postik. Los resultados de la estimación de la ley de Au en el bloque 75s empleando el formalismo de



kriging indicadores se muestra en la figura 4. Se Observa claramente como el método revela una zona central más rica bordeada por zonas de más baja ley.

Evaluación del impacto de la densidad de la información en la estimación de la ley de Au

Para realizar este estudio se partió de un criterio ampliamente manejado en la literatura que plantea que el espaciamiento de la red de muestreo debe ser entre 3 y 5 veces menor que el rango o alcance del variograma (Houlding, 1994). Si nos ajustamos a este criterio y considerando que en nuestro caso el alcance del variograma es aproximadamente 30 m entonces el espaciamiento óptimo debe estar entre 6 y 10 m.

Para valorar el impacto de la densidad de información se generó un modelo numérico simulado del banco en una red 1x1m empleando la simulación secuencial gaussiana (Journel y Alabert, 1990). La simulación condicional es una herramienta que permite reproducir la distribución espacial de la mineralización y su variabilidad a diferentes soportes. Para generar el modelo simulado se utilizó el programa SGSIM de la librería de programas de geoestadísticas GSLIB, Geoestatistical Software Library (Deutesch et al., 1998). Antes de comenzar a usar el modelo numérico generado se procedió a chequear el cumplimiento de las distintas restricciones que se le imponen a una simulación para que realmente sea un reflejo del yacimiento o sector original (Deutesch et al., 1998). En primer lugar se verificó si había coincidencia entre los estadígrafos de los valores originales y los simulados y en segundo lugar si el modelo numérico reproduce la variabilidad espacial de la ley de Au en el banco, para lo cual se realizó un análisis estructural a los valores simulados. Ambas restricciones se cumplen por lo que el modelo se acepta.

Tabla III Estadística básica de las redes evaluadas.

Red	Mínimo	Máximo	Media	Varianza
5 x 5	0.05	6.82	1.85	1.73
6 x 6	0.05	6.67	1.91	1.95
7 x 7	0.05	6.81	1.99	2.08
8 x 8	0.05	6.71	2.01	1.97
9 x 9	0.05	6.77	1.88	2.12
10 x 10	0.08	6.12	1.69	1.66
11 x 11	0.05	6.68	2.21	2.35
12 x 12	0.05	6.82	1.83	2.12
13 x 13	0.05	3.71	1.47	1.12

Posteriormente se muestreó el modelo simulado en redes de 5 x 5 m hasta 13 x 13 m, lo que generó 9 bases de datos con redes diferentes. El procedimiento seguido es algo similar al método tradicional de enrarecimiento de la red de exploración (Kreiter, 1968) pero con la diferencia que se aplicó sobre un modelo simulado en lugar de la red original de exploración. Esto lógicamente tiene sus ventajas pues permite comparar redes que no son múltiplos del espaciamiento inicial.

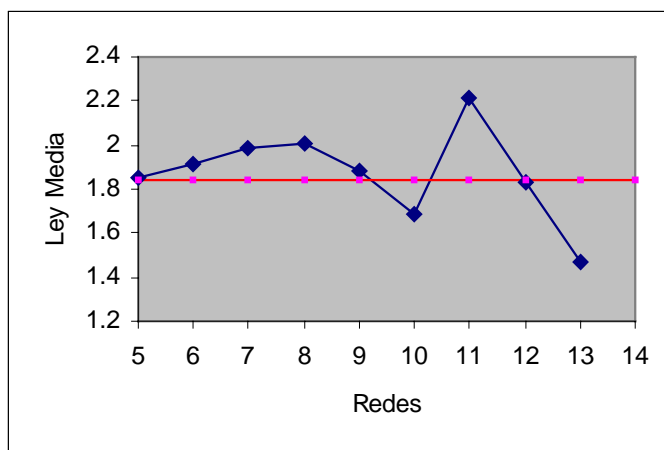


Figura 5 Gráfico de dispersión de la ley Media de Au vs el espaciamiento de la red.

Para evaluar la influencia de las redes de exploración en la estimación se calculó la estadística básica para cada una de ellas (tabla 3). Como se puede observar en el gráfico de dispersión de la media del banco contra el espaciamiento de la red (fig.5) las medias convergen hacia el valor medio del modelo simulado ("ley media real" = 1.84) a partir de la red (7x7 m). Para redes mayores la media lo que hace es fluctuar alrededor del la ley real. Todo parece indicar que la red más apropiada para estimar la ley se encuentra entre 6x6 m y 7x7 m.

Conclusiones

- 1- La composición litológica de la muestra influye sobre su ley de Au. Las litologías más ricas son la limonita y las areniscas limonitizadas
- 2- La ley de Oro de los compositos de 5 m presenta una clara estructura espacial con un rango de aproximadamente 30 m.
- 3- La técnica de estimación evaluada (KI) posibilita considerar las particularidades geológicas del yacimiento durante el control de la ley en el yacimiento
- 4- El estudio indica que la red más apropiada para estimar la ley se encuentra entre 6x6 m y 7x7 m.

Referencias bibliográficas

- Annels, A. E., S. Al-Hassan, 1994. Mineral Resource Evaluation II, Methods and cases histories, Geological Society Special Publication No.79:157-169.
- Deutsch, C. and A.G. Journel, 1998. *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*. Second Edition. New York: Oxford University Press.
- Carr, J. R., R. E. Bailey, E. D. Deng, 1985. Use of indicator variogram for enhanced spatial analysis. *Mathematical Geology*, Vol. 17. No. 8:797-811.
- Estévez, C.E., 2000. 3D Oroboddy Modelling and Resource Estimation of the Jucaro Deposit, Pinar del Río, Cuba. *Minería y Geología*, Vol. XVII, N°2.
- Estévez, C.E., 2002. Yacimiento Oro Castellano: evaluación y comparación de técnicas de estimación espacial. *Minería y Geología*, Vol. XVIII, N°1-4. (en Prensa)
- Isaaks, E. H., R. M. Srivastava, 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York, 561 pp.



- Journel, A. G., F. Alabert, 1990. New method for reservoir mapping, JTP: 212-218.
- Kreiter, M.V., 1968. Geological Prospecting and Exploration, Moscow.
- Tulcanaza, E., 2000. Evaluación de recursos y negocios mineros. Incertidumbres, riesgos y modelos numéricos, Instituto de ingenieros de minas de Chile, 350 p.
- Valdés-Nodarse, E. L., A. Díaz-Carmona, J. F. Davies, R. E. Whitehead, L. Fonseca, 1993. Cogenetic sedex Zn-Pb and stockwork Cu ore, Western Cuba. Explor. Mining Geol. Vol. 2. No. 4: 297-305.
- Whitehead, R. E., J. F. Davies, E. L. Valdés-Nodarse, A. Díaz-Carmona, 1996. Mineralogical and Chemical Variation, Castellanos Shale-Hosted Zn-Pb-Ba Deposit, Northwestern, Cuba. Economic Geology, Vol. 91: 713-722.



EL AUTOCAD EN LAS GEOCIENCIAS

Ángel Corpas Toledo. Filial Holguín SCG. ENIA 6 Carretera Central # 53, Rpto. Harlem, Holguín 80100. Teléfonos: 46-3409, 42-3501. E-Mail uichog@enet.cu

RESUMEN

Actualmente el **AutoCAD** se ha impuesto notablemente para la confección de la Cartografía en Formato Digital, generalizada para representar, gestionar y procesar toda la información con referencia espacial generada por las investigaciones relacionadas con las Geociencias. No obstante, sus propias características de uso para diseños multipropósitos le confieren a este software una marcada complejidad, generándose dificultades objetivas al tratar de resolver problemas técnicos y situaciones específicas relacionadas en nuestro caso con la creación, edición, procesamiento y análisis de los resultados de las investigaciones ingenieras.

El trabajo consiste en un análisis generalizado de las últimas versiones del AutoCAD desde el punto de vista de su aplicación práctica en las Geociencias, detallando las principales ventajas y desventajas de cada versión objeto de estudio. Se hace especial énfasis en las características y principios de aplicación del AutoCAD Map, por constituir una herramienta poderosa y muy actual que permite satisfacer nuestros requerimientos en lo que respecta a los Sistemas de Información Geográfica.

- Se expone una Metodología que simplifica el uso de este software en las Geociencias
- Se presentan Ejemplos representativos de su aplicación práctica.

El AutoCAD Map (R2 o R4) es la solución GIS de Autodesk y en estos momentos satisface cabalmente los requerimientos de automatización de nuestras investigaciones.

La Metodología que se presenta simplifica significativamente la complejidad y variedad de usos del AutoCAD y es aplicable en cualquier entidad que se dedique a realizar estudios o investigaciones relacionados con las Geociencias y el Medioambiente.

SUMMARY

At the moment the **AutoCAD** it has been imposed notably for the making of the Cartography in Digital Format, widespread to represent, to negotiate and to process all the information with space reference generated by the investigations related with the Geociens. Nevertheless, their own use characteristics for multiproposes designs confer to this software a marked complexity, being generated objective difficulties when trying to solve technical problems and specific situations related in our case with the creation, edition, prosecution and analysis of the results of the engineers investigations.

The work consists on a widespread analysis of the last versions of the AutoCAD from the point of view of its practical application in the Geociens, detailing the main advantages and disadvantages of each version study object. It becomes special emphasis in the characteristics and principles of application of the AutoCAD Map, to constitute a powerful and very current tool that allows to satisfy our requirements in what concerns to the Systems of Geographical Information.

-A Methodology is exposed that allows to use this software in the Geociens.

-Representative Examples of practical application.

The AutoCAD Map (R2 or R4) it is the solution GIS of Autodesk and in these moments it satisfies the requirements of automation of our investigations completely.

The Methodology that is presented simplifies the complexity and variety of uses of the AutoCAD significantly and it is applicable in any entity that is devoted to carry out studies or investigations related with the Geociens and the Enviroment.

INTRODUCCION.

Objetivos del trabajo.

1. Realizar un análisis generalizado de las últimas versiones del AutoCAD desde el punto de vista de su aplicación práctica en las investigaciones.
2. Analizar las ventajas y desventajas de cada una de las versiones objeto de estudio.



3. Confeccionar una **METODOLOGÍA** que facilite la aplicación del AutoCAD para dar respuesta a los objetivos específicos de trabajo de las Geociencias.

Premisas.

Analizar los elementos básicos que deben conocerse para aplicar consecuentemente el AUTOCAD de acuerdo a los propósitos específicos de las Geociencias, fundamentalmente en lo referente a la obtención de PLANOS EN FORMATO DIGITAL y su utilización en PLATAFORMAS GIS, partiendo de diferentes condicionales de trabajo y de variada información de inicio o de referencia.

II. MATERIALES Y METODOS.

Se realiza un análisis generalizado de las últimas versiones del AutoCAD desde el punto de vista de su aplicación práctica en las Geociencias, partiendo de la base de la necesidad impostergable de introducir los Sistemas de Información Geográfica como única vía eficaz de lograr la automatización integral de los resultados de las investigaciones de referencia, y se presenta una Metodología que permite simplificar la complejidad de este software y su adaptación a los requerimientos de estas ramas.

Versiones del AutoCAD objeto de estudio [1].

AutoCAD R14 - AutoCAD 2000 - AutoCAD Map R2 - AutoCAD Map R4

CARTOGRAFIA DIGITAL como base de plataforma GIS. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES [2].

- Analizar detalladamente las características de los Planos que conforman la base cartográfica y proyectar la confección de los mismos en Formato Digital.
- Definir las referencias espaciales del dibujo y los layers (capas) que se requieran.
- Mantener la IDENTIDAD ESPACIAL de cada uno de los objetos a digitalizar.
- Digitalizar en un mismo layer todos los objetos que sean similares desde el punto de vista de sus características espaciales, lo cual es indispensable durante la asignación de atributos establecida en la Plataforma de los SIG para poder caracterizar individualmente cada uno de dichos objetos.
- Evitar el uso de comandos o herramientas de dibujo que dificulten el proceso de edición.
- Diseñar la estructura de las Bases de Datos requerida para almacenar los atributos de los objetos.

III. RESULTADOS Y DISCUSION.

En este epígrafe se incluyen (de forma sintetizada) los principales aspectos que conforman la Metodología propuesta para cumplimentar los objetivos de este trabajo.

PRINCIPALES OBJETIVOS DE APLICACIÓN DEL AUTOCAD EN LAS GEOCIENCIAS.

1. Obtención de "Planos" en formato digital y plataforma GIS a partir de imágenes raster procedentes del escaneo de mapas temáticos de mesa.
2. Obtención de "Planos" en formato digital y plataforma GIS a partir de ficheros DXF generados en otros programas, sistemas o softwares. Muy útil para darle salida dwg a planos y perfiles topográficos, mapas de pendiente, mapas de isolíneas (hidroisohipsas, isopacas, resistividad), etc. generados en sistemas que respondan fácilmente a Bases de Datos como por ejemplo el **Surfer**.
3. Obtención de "Planos" en formato digital representados por dibujos acotados (a escalas variables) dibujando directamente en pantalla con los comandos del AutoCAD. Empleado para croquis y planos de cualquier tipo con acotamiento, como por ejemplo los planos de proyectos de edificaciones e instalaciones de cualquier tipo.

1. Planos a partir de imágenes raster.



- Escanear convenientemente las imágenes raster correspondientes al plano de mesa de que se trate.
- En caso requerido cargar las imágenes escaneadas en un editor de imágenes para mejorarlas.
- Abrir un dibujo nuevo en AutoCAD: definir las preferencias - crear los layers requeridos según el proyecto de Cartografía Digital.
- Activar layer "Imágenes", insertar y georreferenciar cada una de las imágenes que conforman el mosaico en cuestión.
- Comprobar las coordenadas del plano en la ventana de coordenadas reales de la parte inferior.
- Mediante el comando LIMITS y usando el comando PLINE hacer visible los límites o marco del plano. Verificar que estemos trabajando en ESPACIO MODELO.
- Digitalización o vectorización de la imagen con los comandos y herramientas convenientes, manteniendo activo el layer que corresponda.
- Crear los Bloques que se requieran para garantizar la visualización de todos los detalles del dibujo y para agilizar la confección de mapas temáticos superpuestos.
- Dibujar las coordenadas del marco y las rejillas o cruces según se requiera.
- Confección de las Bases de Datos con la información de atributos de objetos requerida para la plataforma GIS.
- Proceso de vinculación - asociación de datos alfanuméricos y atributos de objetos.
- Preparación del diseño y mecanismo de Consultas de acuerdo a los objetivos de que se trate.

2. Planos a partir de ficheros DXF generados en otros sistemas de cartografía digital.

- Exportar el DXF desde el sistema de CD utilizado (con las unidades en METROS) y con la opción "marco".
- En AutoCAD los DXF ni se importan ni se copian, se ABREN.
- Abrir un dibujo nuevo en AutoCAD (en Espacio Modelo).
- File - Open - Buscar y seleccionar el DXF - Abrir.
- El DXF entra al AutoCAD con su escala real, con sus coordenadas cartesianas y también conserva la estructura de capas o layers de origen.
- Este DXF es perfectamente editable.
- Crear nuevos layers en caso que se requieran.
- Completar el dibujo con los comandos y herramientas convenientes, atendiendo a los objetivos trazados.
- Si se necesita otro DXF (por ejemplo para mapas complejos de superposición) hay que abrir un nuevo dibujo, editarlo y crear un bloque que posteriormente pueda ser insertado en el dibujo principal inicial. No puede abrirse directamente más de un DXF en un mismo dibujo dwg.
- Confección de las Bases de Datos con la información de atributos de objetos requerida para la plataforma GIS.
- Proceso de vinculación - asociación de datos alfanuméricos y atributos de objetos.
- Preparación del diseño y mecanismo de Consultas de acuerdo a los objetivos de que se trate.

3. Planos o dibujos acotados.

- Tomando como referencia un plano o dibujo acotado, picar directamente en pantalla con los comandos y herramientas del AutoCAD.



- Dibujar en Espacio Modelo, siempre a escala 1:1 para conservar la escala del dibujo acotado de referencia.
- En este caso siempre se trabajará en Unidades de Dibujo (1UD = 1 mm), partiendo de las acotaciones del dibujo en cuestión.
- Indispensable el empleo de las Coordenadas Polares Relativas y de las ayudas al dibujo (fundamentalmente Modos OSNAP y ORTHO).
- Existen opciones de menú que facilitan notablemente la confección de dibujos acotados:
 - View - Toolbars - Dimension (linear - aligned - ordinate - radius - diameter - angular - quick - baseline - continue dimension).
 - Dimension (tecleando en la línea de comandos).

AUTOCAD 2000 [1][3].

Espacio Modelo y Espacio Papel.

- En los dibujos de AutoCAD se puede trabajar en Espacio Modelo (MS) o en Espacio Papel (PS).
- La mayor parte de la confección y edición de dibujos se realiza en Espacio Modelo, creando previamente el “modelo” del dibujo a representar (límites, layers, etc.).
- El Espacio Papel se utiliza para organizar dibujos complejos, hacer bloques de títulos, cajetines, efectuar anotaciones y sobre todo para trazar varias vistas o ventanas de detalles que pueden tener diferentes escalas, pudiéndose incluso activar o desactivar determinados layers en cada vista o ventana. Para hacer uso del Espacio Papel se usan comandos como MVIEW, PSPACE, MSPACE, VPLAYER, TILEMODE.
- En nuestro caso utilizaremos preferentemente el ESPACIO MODELO como espacio de trabajo.

Principales limitantes del uso del AutoCAD 2000 en las Geociencias.

- Carencia de un Módulo de Georreferencia que permita obtener la corrección geométrica y la correcta creación del mosaico de imágenes raster, lo cual resta precisión a la cartografía digital que se confecciona.
- No interacciona directamente con estructuras de Bases de Datos.
- El banco o bibliotecas de tramas que trae como implícito resulta limitado para representar la variedad de símbolos requeridos.
- No facilita la construcción automática de las estructuras de los mapas (marcos, rejillas, cruces, ejes coordenados).

AutoCAD Map R2 [1][2][3][4].

- ➔ Es la solución AUTODESK para el MAPEO y los SIG en AutoCAD.
- ➔ Combina la precisión y fuerza del AutoCAD con herramientas especializadas para la creación, mantenimiento, análisis y ploteo de mapas.
- ➔ AutoCAD Map soporta formatos de ficheros raster y vectoriales, además de información de atributos a través de datos de objetos o enlaces a Bases de Datos externas.
- ➔ Aparece como versión 2 del AutoCAD 14.

PRINCIPALES FUNCIONES.

- ➔ Creación de mapas con una Georreferencia espacial precisa.
- ➔ Edición de mapas.
- ➔ Vinculación de datos a los mapas:
 - Permite la adición y vinculación de datos alfanuméricos a un mapa de objetos.



- Pueden emplearse vínculos SQL para almacenar información en una Base de Datos externa.
- La creación de estos vínculos permite el uso de Consultas para obtener mapas con variada información que responden a diferentes fines.
 - ➔ Confección de Mapas Temáticos.
 - ➔ Análisis y mantenimiento de los mapas.
 - ➔ Uso de Imágenes raster provenientes de fotos aéreas, fotos vía satélite, cartas topográficas, mapas de mesa, etc.
 - ➔ Impresión y ploteo de mapas.

Por su importancia y nivel de aplicación práctica incluimos el **Resumen sobre Vinculación de datos a los mapas**, ya que es una de las principales funciones **GIS** de esta versión de AutoCAD:

1. Mediante la adición de datos alfanuméricos a un mapa de objetos, pueden crearse mapas empleando poderosas herramientas para variados análisis y toma de decisiones.

AutoCAD Map proporciona gran flexibilidad en la asociación, interacción y manejo de estos datos.

2. Pueden seleccionarse **2 Métodos**:

- Emplear datos de objetos para almacenar información en los mapas por ellos mismos.
- Emplear vínculos **SQL** para almacenar información en una Base de Datos externa. Son compatibles los siguientes programas de Bases de Datos: Access, Excel, dBase III - V, Paradox 7.0, Fox Pro 6.0 Visual.

Ambos métodos tienen diferentes ventajas y pueden usarse juntos en el mismo mapa.

3. **AutoCAD Map** efectúa el proceso de **asociar información** fácilmente, sugiriéndole a usted cómo adicionar los vínculos de la Base de Datos en la medida que se digitaliza.

4. Una vez creados los vínculos, usted no tiene que ocuparse de cómo se almacena la información. Esto posibilita el uso de **consultas**, creación de **mapas temáticos** y **análisis topológicos**.

Con AutoCAD Map usted no necesita conocer la programación **SQL**.

5. Por **ejemplo**, usted puede conectar un mapa geológico de un territorio determinado a una Base de Datos y obtener las características específicas de cada una de las formaciones y localidades tipo con el grado de detalle que usted sea capaz de diseñar.

6. Una vez que usted configura el **AutoCAD Map** para conectar con una **Base de Datos**, será posible ver en el display la información en cuestión.

7. Por ejemplo defina una **consulta** para conocer las propiedades físico - mecánicas de cada uno de los estratos que componen el corte geológico en diferentes puntos de un territorio determinado.

8. Ejecute la **consulta**.

9. Haga clic sobre cualesquiera de las zonas o puntos en cuestión para ver la información vinculada.

10. Las herramientas más importantes para la **asociación de datos a objetos en mapas** están contenidas en la caja de diálogo **Attach/Detach Object Data**.

Diferencias con el AutoCAD 2000.

La PRINCIPAL DIFERENCIA del AutoCAD Map con relación a las anteriores versiones de AutoCAD es contar con “ 2 nuevas y potentes opciones: **BONUS** y **MAP** ”, donde se incluyen una serie de herramientas especializadas que facilitan la creación, análisis y mantenimiento de mapas en plataforma **GIS**.

Ventajas del AutoCAD Map.



- ☞ Permite la digitalización sobre imágenes raster previamente insertadas y georreferenciadas (corregidas geométricamente) con coordenadas reales y elevada precisión en la configuración de mosaicos, pudiéndose incluir tantos ficheros de imágenes como se requieran.
- ☞ Esta opción de imágenes georreferenciadas garantiza la exactitud de la referencia espacial de la Cartografía Digital, lo que resulta indispensable para la asignación de atributos, gestión y procesamiento de información en una plataforma **GIS**.
- ☞ Gracias a la opción **MAP** permite la georreferencia de imágenes, soporta la información de atributos a través de datos de objetos o enlaces a Bases de Datos externas, facilita la construcción de topologías, todo lo cual representa una solución GIS para la cartografía automatizada.
- ☞ Facilita los trabajos de confección y edición de mapas mediante la aplicación de las diferentes posibilidades que ofrece la opción de menú **BONUS**.

AutoCAD Map R4 [1][2][3].

Esta versión incorpora esencialmente dos nuevas opciones (con relación al AutoCAD 2000):

Opciones de menú Express y Map.

Opción Express: brinda una gran cantidad de posibilidades para el trabajo con: Layers, Blocks, Text, Dimension, Selection tools, Modif., Dra., Tools, Web Links.

Opción Map: concentra las principales funciones GIS relacionadas con: Drawings, Query (Consulta), Save Back, Object Data, Database, Data Entry, Image, Topology, Plot Map Set, Tools, Utilities, Options.

A modo de resumen, a continuación presentamos una selección de los **principales aspectos metodológicos** que facilitan la aplicación de esta versión **GIS** en las tareas básicas de las Geociencias.

⌘ USO DE CONSULTAS (PREGUNTAS)

Las Consultas permiten seleccionar sólo los objetos que usted quiere desde su set o escenario de dibujo. Usted puede especificar tres tipos de consultas o preguntas:

De situación - De propiedades - De datos

Los Operadores (condiciones de confabulación) usados son: Y, O, y No.

Una **Consulta de situación** pregunta hallazgos de objetos dentro de una área definida.

Una **Consulta de propiedades** pregunta hallazgos de objetos basándose en una propiedad del display como el color, tipo de la línea, o capa.

Una **Consulta de datos** pregunta hallazgos de objetos basándose en datos guardados dentro del dibujo de AutoCAD Map o en una Base de Datos (BD) externa.

Una vez que usted especifica el criterio, sólo esos objetos se recuperan de las fuentes de dibujos (dibujos de origen) y se agregan al proyecto activo. Usted puede crear un nuevo dibujo o puede guardar los objetos modificados atrás (como fondo) en su dibujo fuente.

⌘ VINCULACION DE DATOS A LOS MAPAS

Usted puede vincular los datos a los objetos de su mapa mediante dos vías: como datos de objetos dentro del propio mapa o en Bases de Datos (BD) externas.

1. Usando datos de objeto, usted crea tablas de información que puede asociar a los objetos en el dibujo. Las tablas de datos de objetos se guardan en el proyecto.

2. Usando Bases de Datos externas, usted vincula los datos en la BD a los objetos en su dibujo. El AutoCAD Map le permite acceder fácilmente a las BD externas desde dentro de su dibujo, usando la opción de de arrastrar y dejar caer el vínculo de BD y la Vista de los Datos.



Después de vincularse los datos a los objetos en un dibujo, usted puede recuperar los objetos de dibujos de fuente (origen) basado en la información almacenada en la BD externa.

A. SOBRE LA VISTA DE LOS DATOS

Usando AutoCAD Map, usted puede vincular los datos de las BD externas a los objetos en su dibujo, entonces ver y seleccionar objetos basados en los datos externos. La Vista de los Datos le permite ver y editar las tablas de la BD. También puede resaltar los registros de la BD que se vinculan a los objetos seleccionados.

B. SOBRE LOS DATOS DEL OBJETO Y TABLAS

El dato del objeto es la información textual (alfa - numérica) asociada a los objetos en sus dibujos.

Para usar los datos del objeto, cree tablas de información, y entonces asocie los registros específicos de la tabla a los objetos.

Use las tablas de datos de objeto para salvar cualquier información clave.

Usted puede ver y editar los datos, y ejecutar consultas basadas en la información de las tablas.

Principales opciones:

- Crear una tabla de datos de objeto
- Asociar los datos a un objeto
- Desplegar y editar los datos para un objeto

- Para Crear una Tabla de Datos de Objeto

Las tablas de los datos de objetos guardan información textual (alfa - numérica) relacionada a un objeto. De forma general, para crear una tabla de datos de objeto, haga a lo siguiente:

- 1 Map - Object Data - Define Object Data.
- 2 En el cuadro de diálogo Define Object Data, seleccione una tabla para modificar, o haga clic en New para crear una nueva tabla.
 - Si usted selecciona una tabla existente, el Data Fields lista y despliega los campos ya definidos por la tabla.
 - Si usted pulsa el botón Nuevo, escriba un nombre para la nueva tabla.
- 3 Para crear un nuevo campo de datos, rellene el área de Definición de Campo:
 - Escriba un nombre y descripción para el campo.
 - Seleccione el tipo del campo.
 - Especifique el valor predefinido para el campo. Este valor se asocia automáticamente al objeto a menos que usted lo cambie.
- 4 Click en el botón el Add para agregar el nuevo campo a la tabla.
- 5 Agregue cualquier campo adicional a la tabla.

- Para Asociar los Datos a un Objeto

Antes de asociar los datos a los objetos, ejecute un Dibujo a modo de consulta para copiar los objetos en el dibujo del proyecto. Para asociar los datos a un objeto, haga a lo siguiente:

- 1 Map - Object Data - Attach/Detach Object Data.
- 2 En el cuadro de diálogo Attach/Detach Object Data, seleccione una tabla.
- 3 Revise los valores predefinidos para los campos en la tabla.

Para cambiar un valor, seleccione los campos de datos, teclee un nuevo valor en la caja de Value, y presione ENTER.

- 4 Para sobrescribir cualquier valor para esta tabla ya asociado al objeto, verifique la caja de chequeo Overwrite.

Si esta caja no es chequeada, el objeto tendrá ambos (el viejo y el nuevo) valores asociados.

- 5 Pulse el botón Attach To Objects.
- 6 Seleccione los objetos.



- Desplegar y Editar los Datos para un Objeto

- 1 Map - Object Data - Edit Object Data.
- 2 Seleccione el objeto cuyo datos usted quiere ver.
- 3 En el cuadro de diálogo Edit Object Data, revise los valores para cada campo de datos.
- 4 Para cambiar un valor, seleccione el campo de datos e introduzca un nuevo valor en la caja Edit Value al fondo de la pantalla.
- 5 Para ver los datos del objeto de otra tabla, seleccione la tabla de Table list.

§ SOBRE LAS VISTAS DEL DOCUMENTO

Use las vistas del documento para asociar los documentos externos a los objetos en su dibujo, entonces vea esos documentos desde el interior de AutoCAD Map.

De forma general, para usar las vistas del documento debe hacer lo siguiente:

- 1 Cree una Tabla de datos de objeto con un campo para cada tipo de documento que usted usará.
- 2 Asocie los documentos a los objetos.
- 3 Defina una vista del documento que especifica el programa a usar para ver los documentos en el campo especificado o columna.
- 4 Vea los documentos.

§ SOBRE DIGITALIZAR E IMPORTAR

Antes de crear o analizar una topología, usted debe crear la línea de trabajo (linework) subyacente para el mapa. Usted puede crear el linework de dos maneras:

1. La digitalización es el proceso de convertir la información gráfica en un formato digital. Las formas más frecuentes de digitalizar un mapa son: vectorizar imágenes raster insertadas y georreferenciadas o usar una tableta digitalizadora para rastrear el mapa.
2. La importación de mapas permite tomar un mapa que se digitalizó usando un programa diferente e importarlo en el AutoCAD Map. El dato digital se convierte al formato de AutoCAD Map.

Principales opciones: Preparar para digitalizar - Digitalizar vínculos y nodos - Importar mapas de otros programas - Crear los objetos en las capas específicas - Usar los bloques específicos para los puntos y centroides.

§ SOBRE LOS MAPAS TEMÁTICOS

Los mapas temáticos ofrecen una mejor información mediante el cambio de la visión o vista de los objetos. Usted puede usar los mapas temáticos para contar una historia (información de cualquier tipo variable en el tiempo) cambiando colores del mapa, tipos de líneas, combinaciones de datos, símbolos, texto, u otros rasgos para presentar la información. Para incluir otro objeto inalterado en su mapa temático, defina y ejecute una consulta normal (estándar).

Principales opciones: Recuperar los objetos - Especificar cómo cambiar las propiedades - Crear una leyenda.

§ SOBRE TOPOLOGIAS

Topología es la relación de afinidad espacial entre los puntos, líneas y polígonos en un mapa. Mediante topologías se pueden establecer adicionalmente construcciones inteligentes dentro de los mapas.

Una topología es un juego (set) de objetos y datos del objeto que definen las relaciones entre los objetos. AutoCAD Map usa tres tipos de topologías:

- Topologías de nodo que involucran los puntos independientes.
- Topologías de red que involucran los objetos lineales, pueden tener nodos dónde los objetos lineales se conectan. Además, los objetos lineales pueden tener dirección o resistencia.



-Topologías de polígonos que involucran polígonos que definen las áreas.

PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS CON LAS VERSIONES MAP (R2 Y R4).

- ⊇ Utilización de imágenes raster de alta resolución georreferenciadas con la precisión requerida.
- ⊇ Cartografía digital interactuante con otros formatos.
- ⊇ Vinculación de objetos vectoriales con información alfa - numérica contenida dentro del propio mapa o en Bases de Datos externas.
- ⊇ Posibilidad de mantenimiento y actualización sistemática de los datos, pudiéndose de esta forma generar nueva información a partir de la existente.
- ⊇ Calidad de edición final.
- ⊇ En conjunto, se obtiene un mapa digital en plataforma GIS con la calidad requerida, compatible con las exigencias técnicas del mundo moderno.

CONCLUSIONES.

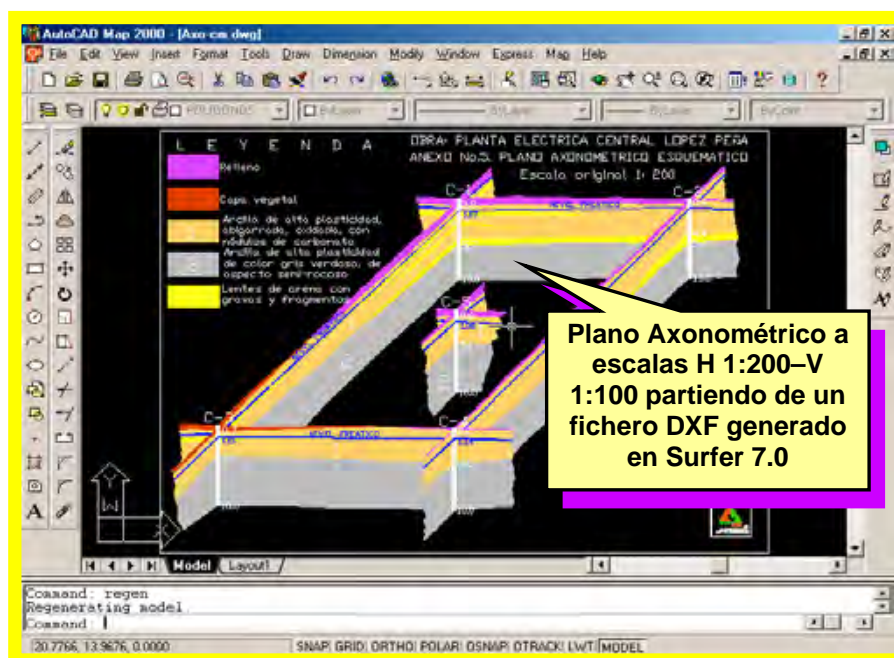
1. La confección de la Cartografía Digital debe tener como premisa su posterior utilización en una plataforma GIS, por lo cual es indispensable que se conozcan y apliquen los principios fundamentales que recomendamos para cumplimentar este objetivo.
2. El AutoCad Map (versiones R2 y R4) es la solución GIS de Autodesk, y en estos momentos satisface cabalmente los requerimientos de automatización de nuestras investigaciones. Debe tenerse en cuenta que las Principales Funciones de ambas versiones son muy semejantes, lo que facilita su empleo.
3. Esta Metodología se sustenta en el dominio básico del AutoCAD 2000 y de diferentes softwares de Bases de Datos (fundamentalmente el Access).
4. La aplicación de este trabajo ha permitido entregar toda la información cartográfica de nuestros estudios en los mismos formatos y extensión con que trabajan las entidades proyectistas, lo cual agiliza sensiblemente el trabajo de ambas partes y permite una total compatibilidad.
5. La Metodología que se presenta simplifica significativamente la complejidad y variedad de usos del AutoCAD y es aplicable en cualquier entidad que se dedique a realizar estudios o investigaciones relacionados con las Geociencias y el Medioambiente.
6. Los resultados hasta ahora alcanzados con su aplicación práctica demuestran su incidencia directa en el aumento de la calidad y potencialidad de actualización y uso posterior de los resultados de las investigaciones, lo que contribuye notablemente a elevar la eficiencia económica.

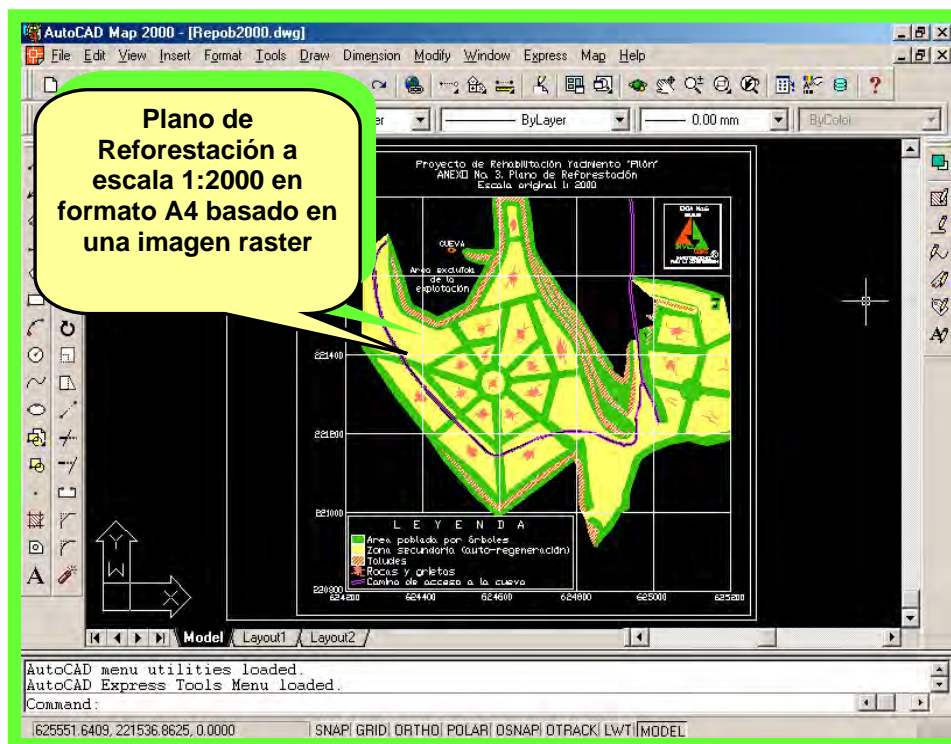
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

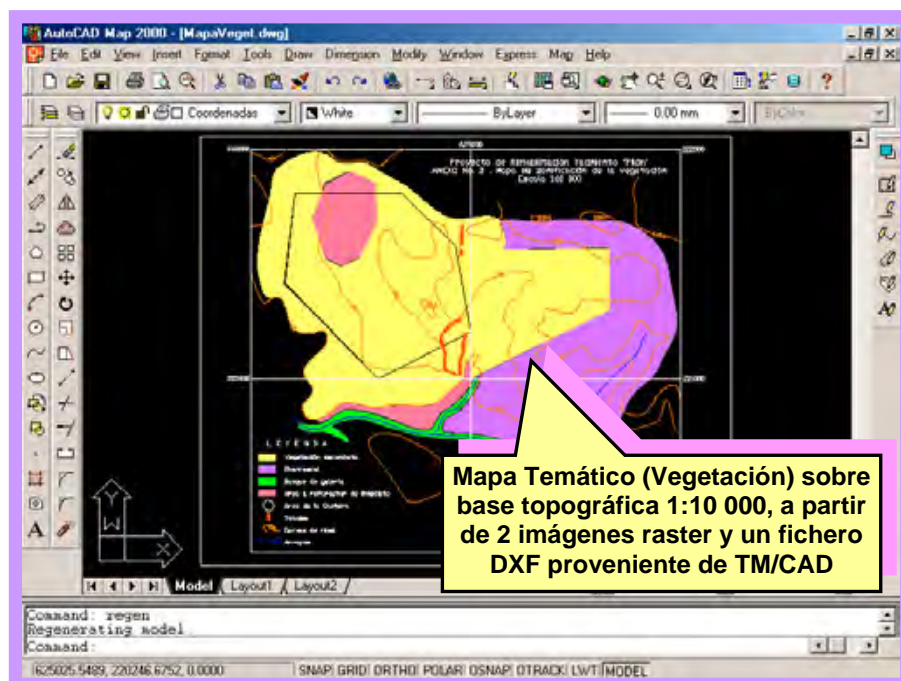
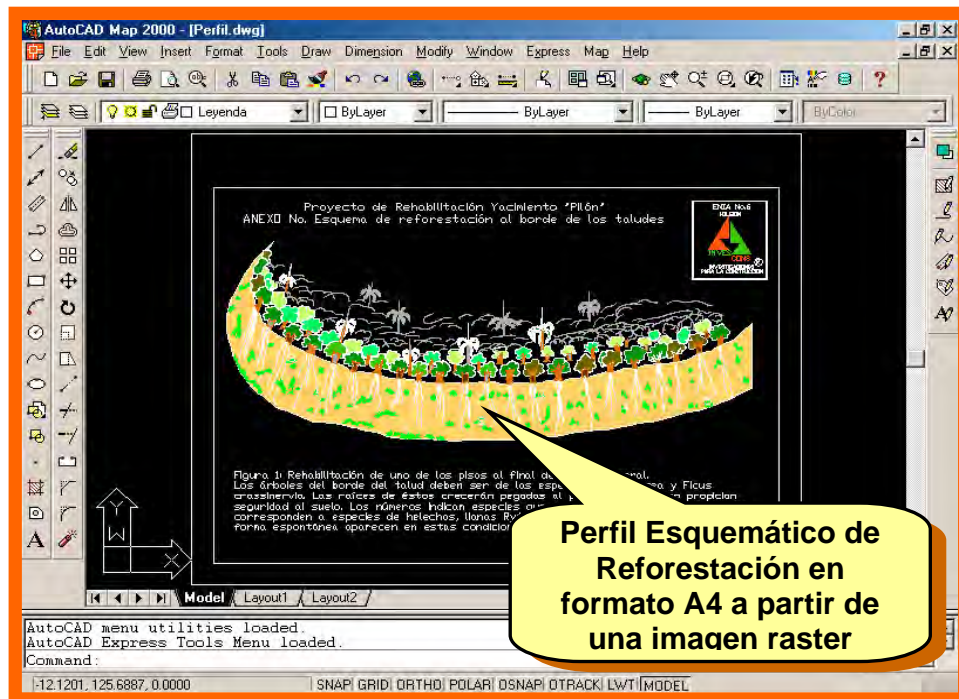
1. Autodesk. Ayudas y Tutoriales de las diferentes versiones de AutoCAD. EEUU.
2. Corpas, A (2001). Sistemas de Información Geográfica. Generalidades - Metodología. ENIA 6, Holguín.
3. Corpas, A (2002). AutoCAD - SIG. ENIA, Holguín.
4. Rivera, D (2002). AutoCAD Map R2: Una herramienta para el futuro de la Ingeniería Aplicada. ENIA 5, Camagüey.



1. EJEMPLOS.









IMPLEMENTACIÓN DE UN SIG PARA EL PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN GEÓLOGO-GEOQUÍMICO-GEOFÍSICA EN UNA PRÁCTICA LABORAL DE LA CARRERA DE GEOLOGÍA.

José Francisco Lastra Rivero, Esther María Cruz Gámez y Elmidio Estévez Cruz

Universidad de Pinar del Río, Departamento de Geología, Calle Martí No. 270, esq. 27 de Noviembre, Pinar del Río, Cuba. C.P. 20100. E-mail: jlastra@geo.upr.edu.cu, ecruz@geo.upr.edu.cu, estevez@geo.upr.edu.cu

RESUMEN

En la formación de los profesionales de la geología se ha percibido la necesidad de incorporar las técnicas de SIG en sus diferentes esferas de actuación: yacimientos minerales, yacimientos de petróleo y gas, ingeniería geológica e hidrogeología, para lo cual el momento más adecuado es el correspondiente a las prácticas laboral-investigativas.

Un ejemplo de ello lo constituye la práctica laboral-investigativa de Prospección y Exploración de Yacimientos Minerales Sólidos en la que como problema profesional a resolver se propone la necesidad del pronóstico metalogénico en el Distrito Metalogénico Matahambre-Santa Lucía.

Para ello se dispone de una base de datos que incluye información topográfica, geológica, geoquímica y geofísica, las que preliminarmente han de ser transformadas a formato digital.

La metodología que se propone implica el procesamiento vectorial de diversas capas de información (curvas de nivel, litología, anomalías geoquímicas, anomalías geofísicas, etc.), integrando la georeferenciación de las imágenes raster originales, su vectorización y la creación de la topología; mediante la superposición lógica de estas capas de información son obtenidos los mapas temáticos correspondientes. Como alternativa se propone la creación de redes a partir de la información vectorial y el procesamiento de imágenes raster, atendiendo a la formulación de un algoritmo.

Mediante la implementación de estos procedimientos, los estudiantes alcanzan una metodología de trabajo actualizada para la adquisición vectorial de información geológica y su integración en un SIG (vectorial o raster), dando respuesta de esta forma a una situación problemática de mediana complejidad, lo que les permite afianzar las Nuevas Tecnologías de la Computación y la Informática aplicadas a las Geociencias.

ABSTRACT

In the formation of the professionals of geology the need of incorporating the GIS techniques in their different spheres of performance: mineral deposits, petroleum and gas deposits, engineering Geology and hidrogeology; has been perceived. For doing this most appropriate moment is the one corresponding to the labor-investigative practices. An example of this is the labor-investigative practice of Prospecting and Exploration of Mineral Deposit in which the professional problem to be solved is the need of evaluating the mineral potential of the Metalogenic District Matahambre-Santa Lucía.

In order to attain this a database that includes topographic, geologic, geochemical and geophysical information is available. Initially these data must be transformed to digital format

The methodology proposed includes first the vectorial processing of several layers of information (contour lines, lithology, geochemical and geophysical anomalies etc), then georeferencing of the original raster images and its vectorization and finally the corresponding thematic maps are obtained through the creation of the topology and the logical overlaying of these layers of information. An alternative is the creation of grids starting from the vectorial information and the images processing according to the formulation of an algorithm.

By means of implementing these procedures, the students attain an updated work methodology for the vectorial acquisition of geologic information and their integration in a GIS (vectorial or raster), answering this way to a problematic situation of medium complexity. This allows them to assimilate the New Technologies of Computer science and information and their applications on the Geosciences.



Introducción.

La necesidad del acercamiento del estudiante a las esferas de actuación del profesional de la geología se convierte en un encargo social insoslayable para todo el personal vinculado con su formación integral. Se impone adicionalmente una adecuada inserción de las herramientas computacionales de manera transversal para el procesamiento de la información geológica durante el desarrollo de cualquier investigación en cada una de estas esferas de actuación, resultando el momento más oportuno el que corresponde a las prácticas laboral-investigativas de la carrera.

En este marco y como consecuencia de las bondades que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica para el procesamiento de imágenes en formato raster y vectorial, se propone la incorporación de estas técnicas en la práctica laboral-investigativa de Yacimientos Minerales Sólidos, con el fin de dar solución a un problema profesional de mediana complejidad.

La idea que se propone está sustentada en:

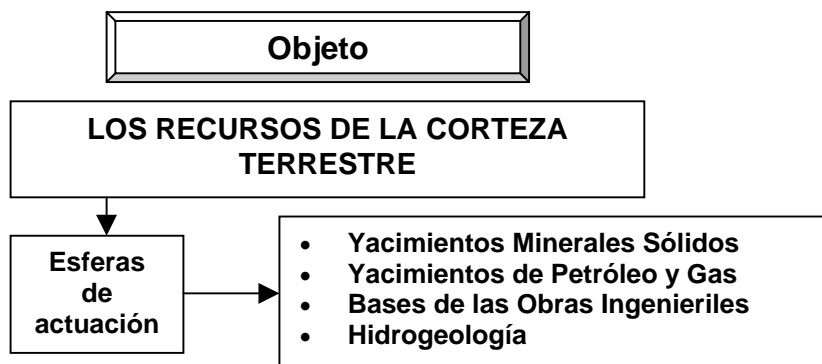
- Modelo del profesional. Este se encuentra definido en el Plan de Estudios C perfeccionado.
- Formación docente-investigativa de los profesores. Se basa en una experiencia profesional suficiente y de utilización de las Nuevas Tecnologías de la Computación y la informática en actividades docentes e investigativas por parte del claustro de profesores.
- Base material en hardware. Laboratorio de computación para estudiantes equipado con 8 microcomputadoras Pentium II; laboratorio de SIG con 3 microcomputadoras Pentium II, 1 scanner (formato A4), 1 impresora EPSON LX-300+, 1 impresora Deskjet 1120C (formato A3), 1 plotter (formato A0).
- Base material en software. Consta de: EXCEL, SURFER 7.0, IDRISI, AutoCAD MAP 2000, CARIS GIS 4.4
- Vínculos sólidos con la Empresa Geominera de Pinar del Río para la colaboración docente e investigativa. Desde hace varios años se ha estado realizando esta práctica laboral-investigativa en esta institución, con resultados favorables para ambas partes; existe un convenio de colaboración inter-institucional.
- Estrategia curricular de Informática y Computación. Concibe la aplicación de la las Nuevas Tecnologías de la Computación y la Informática como una estrategia transversal.
- Guía para la práctica de Yacimientos Minerales Sólidos. Orientación metodológica que incluye los elementos básicos que conforman la práctica, a partir de una concepción integradora de diferentes asignaturas que inciden en la prospección y exploración de yacimientos minerales sólidos.



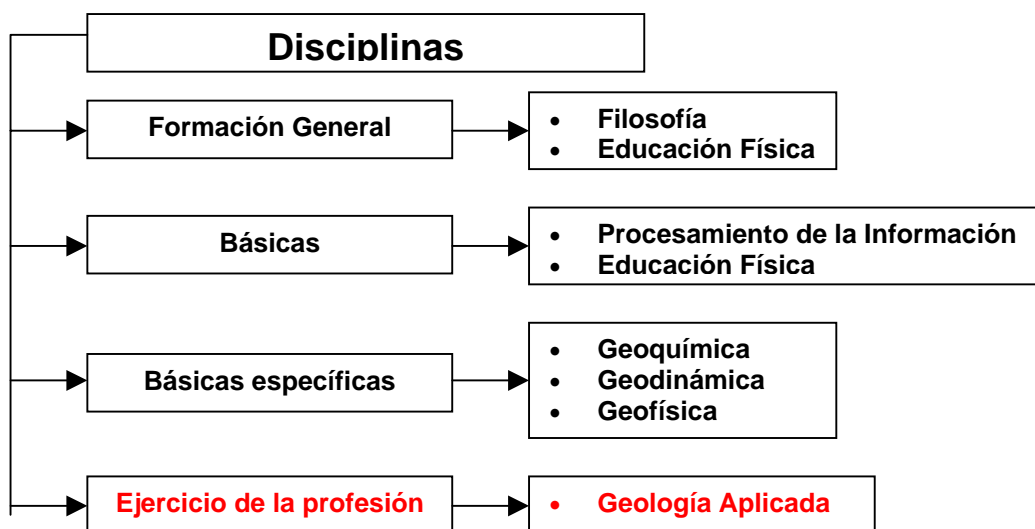
Materiales y métodos.

➤ Fundamentos curriculares sobre la formación del profesional de la geología.

Analizando el modelo del profesional integral de la geología resulta fácil detectar las diferentes esferas de actuación en que este se ha de desenvolver una vez egresado de las aulas universitarias.



Ello implica que cada profesional adquiera una sólida formación integral en cada una de estas esferas de actuación, lo cual debe ser garantizado durante la ejecución de las prácticas laboral-investigativas que competen a la disciplina de Geología Aplicada (Díaz, 1999).



Esto se complementa transversalmente con la Estrategia Curricular de Computación e Informática de la carrera de Geología (Díaz, 2002).

➤ Escenario para la introducción de un SIG en las prácticas laborales.

Para el diseño y organización de las prácticas es imprescindible partir de los elementos constitutivos del curriculum de la carrera y de un contexto geológico adecuado. Resulta de mucha importancia también lograr la interdisciplinaridad (Cruz et al., 2001).



El diseño y ejecución de la práctica laboral-investigativa de Prospección y Exploración de Yacimientos Minerales Sólidos está en correspondencia con una de las esferas de actuación del profesional que se está formando.

El diseño de este proyecto parte de considerar el problema profesional a revolver, el objeto de estudio y los objetivos, los cuales se declaran a continuación (Lastra et al., 2002):

Problema Profesional. Necesidad del pronóstico metalogénico en el Distrito Metalogénico Matahambre-Santa Lucía.

Objeto. Distrito Metalogénico Matahambre-Santa Lucía.

Objetivos.

Educativo: Lograr que los estudiantes muestren durante su trabajo una concepción científica de los procesos geológicos, haciendo uso de sus conocimientos para la prospección, exploración y evaluación de los recursos minerales sólidos, caracterizándose por el amor a la naturaleza y una correcta ética ambiental.

Instructivo: Proyectar y ejecutar investigaciones geológicas de prospección, exploración y evaluación de los recursos minerales, haciendo uso de los métodos y procedimientos más eficaces, racionales y sustentables y procesando la información resultante con las técnicas automatizadas de actualidad.

La información geólogo-geofísico-geoquímica a procesar está garantizada totalmente a diferentes escalas (investigaciones geológicas regionales, trabajos de prospección y exploración) realizados durante muchos años en esta región. Sobre esta base se sugiere el logro de un conjunto de habilidades (Díaz, 2002):

- Crear bases de datos geológicos, geoquímicos y geofísicos automatizados, así como su mantenimiento.
- Procesar datos en forma tabular.
- Elaborar presentaciones de cierto nivel de complejidad.
- Elaborar gráficos empleados en la presentación de información geológica y geofísica.
- Procesar datos vinculados a la tectónica de un área de investigaciones.
- Elaborar informes técnicos.
- Procesar empleando estadística multivariada datos cuantitativos geológicos y geofísicos.
- Elaborar modelos numéricos de la distribución espacial de parámetros cuantitativos.
- Operar con redes.
- Procesar imágenes en formato raster y vectorial.
- Aplicar técnicas de procesamiento complejo de la información geológica (Álgebra de mapas).
- Modelar yacimientos.
- Editar diferentes formatos de mapas en que se presenta la información geológica y geofísica.

La tarea específica de introducir un SIG en el procesamiento de la información geólogo-geofísico-geoquímica, se corresponde con parte del objetivo instructivo de la práctica laboral-investigativa y tiene repercusión en las habilidades a, b, d, e, g, h, i, j, k y m de la Estrategia curricular de Informática y Computación.



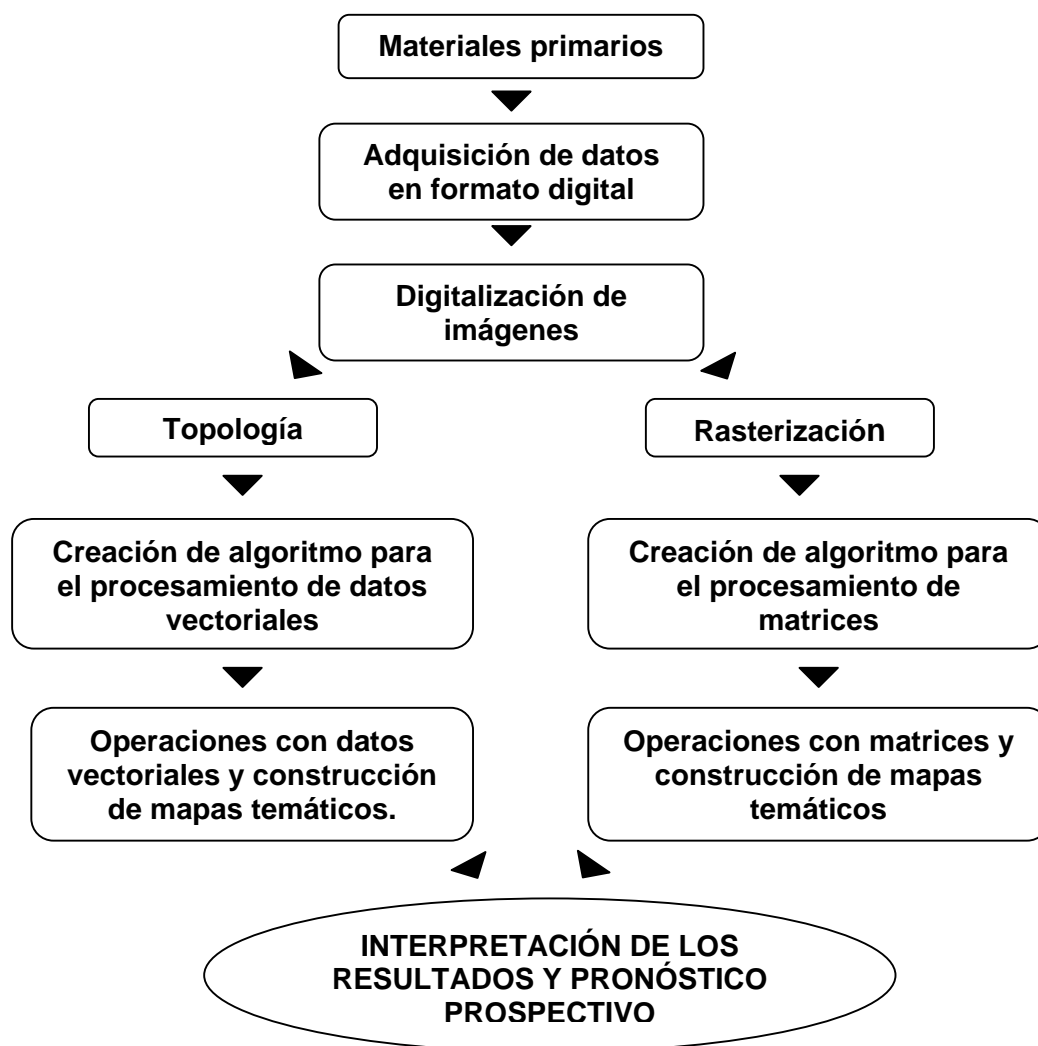
Resultados y discusión.

Desde el punto de vista didáctico se propone una situación problémica (Jaén y Bernal, 1993) que el estudiante debe resolver aprovechando al máximo las herramientas computacionales y, específicamente, el uso de SIG (vectoriales y raster). Esta situación queda definida de la manera siguiente:

“Se han realizado trabajos de reconocimiento en una región con potencialidades metalíferas para el alojamiento de mineralización sulfurosa tipo SEDEX. Además, existe un desarrollo apreciable de zonas de oxidación en las que presumiblemente existen condiciones propicias para la concentración de metales preciosos (oro y plata). Los criterios geomorfológicos, geológicos, geofísicos y geoquímicos contribuyen a establecer correspondencias entre las estructuras geológicas favorables para el alojamiento de este tipo de mineralización, el relieve, las anomalías geofísicas y las anomalías geoquímicas. Realice un pronóstico de mineralización sulfurosa y de metales preciosos (oro y plata) en zonas de oxidación a escala 1:50 000, mediante la digitalización y combinación automatizada de los mapas topográfico, geológico, geofísicos (aeroespectrométricos y aeromagnéticos) y geoquímicos (Cu, Pb, Zn, Ba, etc.)”.

De inicio, se crean equipos de 4 estudiantes que serán tutorados por un profesor. La información inicial es ofrecida por el tutor, como parte del trabajo científico-investigativo que el “colectivo de especialistas” está desarrollando. Requisito primordial lo constituye el tener un conocimiento básico de las posibilidades que ofrecen los SIG para resolver este problema, tanto en formato vectorial como raster, siendo capaz de evaluar las ventajas y desventajas que ofrecen estos.

Es imprescindible la existencia de un jefe de equipo que, conjuntamente con el tutor, sea capaz de dosificar, distribuir y organizar los pasos a dar en el procesamiento de la información, definiendo las responsabilidades individuales que reportan al cumplimiento de los deberes colectivos. Sobre la base de una discusión grupal en la que participen todos los miembros del equipo, se propone un procedimiento que está expuesto a variaciones en su concepción, siempre que existan argumentos suficientes que lo avalen. Los principios generales de esta metodología se ofrecen en el esquema que se presenta a continuación:



A. Materiales primarios.

Los materiales primarios a recopilar incluyen: mapa topográfico, mapa geológico, mapas aerospectrométricos (canales K, Th, U), mapas aeromagnéticos (T), mapas geoquímicos (Cu, Pb, Zn, Ba, etc.). En ellos está representada gráficamente la información útil que será necesario digitalizar con posterioridad; su significación será tanto mayor en la medida en que el colectivo sea capaz de aprovechar cada uno de los rasgos y características que pudieran constituir índices para la prospección de yacimientos minerales de tipo SEDEX.

B. Adquisición de datos en formato digital.

Este constituye el paso inicial en el procesamiento de la información geólogo-geofísico-geoquímica, mediante el auxilio de un SIG. Se lleva a cabo mediante el escaneo de los mapas y su conversión a imágenes, las que son archivadas en ficheros .jpg.



C. Digitalización de imágenes.

Esta parte de la asignación de coordenadas rectangulares (sistema Cuba Norte) a cada una de las imágenes correspondientes de las imágenes escaneadas, es decir, realizar la georeferenciación más adecuada cuidando la precisión y exactitud necesarias para que esta operación no introduzca errores significativos.

Se procede seguidamente a la conversión de las imágenes raster (obtenidas en el paso anterior) en imágenes vectoriales.

Esto se puede realizar con diferentes softwares que permitan la creación de ficheros .dxf, pero resulta muy fácil y eficiente el uso de AutoCAD MAP 2000, para lo cual los estudiantes requieren de un adiestramiento muy elemental.

Con estas operaciones realizadas hasta aquí se han creado las bases para desarrollar el procesamiento de imágenes, orientado al pronóstico metalogénico de mineralización sulfurosa primaria y metales preciosos en zonas de oxidación (gossan). Existen 2 variantes que se ramifican atendiendo a la adopción del formato vectorial o raster en el procesamiento ulterior de los datos primarios.

En el caso en que se seleccione el formato vectorial, se continuará de la manera siguiente:

- **Topología.**

Esta se encuentra encaminada a la creación de regiones en forma de polígonos en los que se almacena la información necesaria para la solución del problema a resolver (intervalos de alturas, formaciones geológicas, niveles anómalos para los campos físicos y elementos indicadores de la mineralización, etc.). Los estudiantes tendrán a su disposición el Manual de Usuarios del CARIS GIS 4.4 (Universal Systems Ltd., 2001), preferentemente en el tópico "Building Topological Relationships"

A cada uno de los polígonos obtenidos se le deberá asignar una base de datos que permita la realización de consultas sobre los mapas individuales o en los mapas temáticos que se obtengan como resultado de la superposición de los primeros. Estas bases de datos pueden ser preparadas por el CARIS Database Manager; las condiciones para mezclar mapas y bases de datos textuales se ofrecen en el tópico "Linking a Map to Textual Databases" del Manual de Usuarios correspondiente.

- **Creación de algoritmo para el procesamiento de datos vectoriales.**

Este debe contener los principios que rigen la localización de la mineralización sulfurosa o de metales preciosos en zonas de oxidación mediante superposición de los mapas digitales correspondientes. En este caso el papel del especialista es insustituible y requiere de una orientación detallada por parte del tutor, sin suplir la creatividad e independencia del colectivo de estudiantes.



- **Operaciones con datos vectoriales y construcción de mapas temáticos.**

En este caso se puede optar por operaciones booleanas en las que se toman 2 zonas, se realiza una operación y produce una nueva tercera zona. Las operaciones que se pueden realizar en CARIS GIS 4.4 son: intersección, unión, sustracción y OR exclusivo.

También se puede optar por el establecimiento de relaciones entre zonas existentes mediante un proceso denominado "Zone Modelling" que permite crear modelos de análisis.

Estas operaciones conducen a la obtención de mapas temáticos que permiten el pronóstico metalogénico, siempre que se haya realizado un diseño apropiado de los algoritmos.

Por otra parte, si ha sido seleccionado el formato raster para el procesamiento de la información esto conduciría a:

- **Rasterización.**

Esta se ejecuta mediante la definición de las dimensiones del pixel en cada uno de los mapas y la aplicación de técnicas de interpolación apropiadas. Se sugiere con este fin la utilización del módulo GRID de Surfer 7.

- **Creación de algoritmo para el procesamiento de matrices.**

Diversos algoritmos pueden ser creados por los estudiantes para realizar las operaciones con matrices que permitan revelar las zonas más perspectivas para la ejecución de trabajos futuros de prospección a escala más detallada.

- **Operaciones con matrices y construcción de mapas temáticos.**

Los principios que rigen estas operaciones pueden llevarse a efecto mediante la aplicación de algunas herramientas de IDRISI (RECLASS, OVERLAY, etc.) que ya han sido empleadas por los estudiantes en la práctica docente de Levantamiento Geológico III, dándole continuidad así a las habilidades adquiridas en el uso de este SIG.

D. Interpretación de los resultados y pronóstico prospectivo.

Este resulta el punto culminante del procesamiento, donde se demuestra la efectividad de los algoritmos desarrollados y de las operaciones entre imágenes. El momento es adecuado para que los resultados obtenidos sean enfrentados a situaciones reales (yacimientos y manifestaciones minerales conocidos en la región), información que el colectivo de profesores de la práctica mantuvo oculta para evitar que los estudiantes fuesen subjetivos en sus análisis.

Conclusiones

Con la realización de esta tarea se puede concluir que:

1. Los estudiantes alcanzan una adecuada preparación metodológica en la utilización de un SIG a la solución de un problema profesional vinculado con una de las esferas de actuación del profesional de la geología: yacimientos minerales sólidos.
2. A través del proceso de instrucción se consolida el papel educativo y la formación de valores en los estudiantes, dada la necesidad del establecimiento de nexos comunicativos,



unidad de acción, solidaridad y cooperación entre los diferentes miembros del colectivo estudiantil.

3. Se logra un acercamiento al modo de actuación del profesional de la geología, donde la toma de decisiones juega un papel trascendental en el desarrollo sucesivo de una investigación geológica.
4. Queda esta experiencia como un ejercicio investigativo factible de ser reproducido creativamente ante otra situación problemática y para las restantes esferas de actuación del geólogo.
5. Los resultados obtenidos pueden ser de utilidad para otros especialistas interesados en la introducción de los SIG a sus investigaciones en el campo de la prospección de yacimientos minerales sólidos.

Referencias bibliográficas.

- Comisión Nacional Carrera de Geología, 1997. Plan de Estudios C perfeccionado.
- Cruz, E. M., Díaz, O. y Cáceres, D., 2001. Un escenario de interdisciplinariedad: las prácticas de campo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 9 (1): 49-56.
- Díaz, O. (1999): Diseño de modelos didácticos de prácticas en la carrera de geología. Tesis de maestría Universidad de Pinar del Río.
- Díaz, O., 2002: Estrategia de la Carrera de Geología para el empleo de las técnicas de computación (Curso 2002 – 2003). Departamento de Geología. Universidad de Pinar del Río. Inédito.
- Lastra, J, Estévez, E. y Pérez, R. (2002). Guía para la práctica de Prospección y Exploración de Yacimientos Minerales Sólidos. Departamento de Geología. Universidad de Pinar del Río. Inédito.
- Jaén, M. y Bernal, M., 1993. Integración del trabajo de campo en el desarrollo de la enseñanza de la geología mediante el planteamiento de situaciones problemáticas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 1 (3): 153-157.
- Universal Systems Ltd., 2001. CARIS GIS 4.4: <http://www.caris.com>



TELEDETECCION Y SISTEMATIZACION DE LAS ESTRUCTURAS PALEOVOLCANICAS EN LA SIERRA MAESTRA.

Ramón O. Pérez Aragón⁽¹⁾, Jesús Triff Oquendo⁽¹⁾, Guillermo Pantaleón Vento⁽¹⁾, Jorge L. Chang Bravo⁽¹⁾, Iris Méndez Calderón⁽²⁾, Ramona Rodríguez Crombet⁽²⁾, Valentina Strazhevich⁽¹⁾

(1) Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca S/Ny Carretera Central, SMP, Ciudad de la Habana, Cuba, e-mail ramon@igp.minbas.cu

(2) Empresa Geominera Santiago de Cuba. Carretera de Siboney, Km 2 ½, Alturas de San Juan, Santiago de Cuba, e-mail geominstgo@stg.minbas.cu

RESUMEN

Cuantiosos datos se han acumulado sobre la actividad volcánica pretérita en la isla durante su evolución geológica, pero son contados los reportes específicos acerca de la ubicación espacial, estudio y clasificación de los antiguos centros volcano-plutónicos que originaron las volcanitas en Cuba, debido a los diversos y complejos eventos geólogo-tectónicos ocurridos que destruyeron y enmascararon los rasgos originales de los antiguos paisajes volcánicos. Métodos que incluyen la interpretación de fotos aéreas, el procesamiento digital de imágenes satelitarias y del modelo digital del terreno, permitieron detectar estructuras anulares presentes en el territorio de la Sierra Maestra. Estas fueron comparadas con la información preexistente, organizada en bases de datos que incluyen información geológico-geofísica, petrográfica y descripción de afloramientos de los principales levantamientos a escalas 1:50 000 y 1:100 000 efectuados en el territorio entre 1972 y 1987, y datos sobre los yacimientos y manifestaciones minerales contenidos en el Sistema Informativo para los Recursos Minerales de Cuba. Comprobaciones de campo de las estructuras interpretadas, más de 400 puntos de afloramientos, 300 nuevas descripciones petrográficas y paleontológicas, la generalización de los datos aeromagnéticos y la coincidencia espacial de estos datos y de las estructuras descritas por otros autores y los depósitos minerales reportados, con las detectadas, permitieron la confección de un Catalogo con más de 250 estructuras, asociadas directa o indirectamente con la actividad volcano-plutónica en la región, clasificadas según la nomenclatura y conceptos que proponen las novedosas teorías acerca de la vinculación paisaje volcánico-depósito mineral, utilizadas internacionalmente en las últimas décadas.

ABSTRACT

A considerable amount of data have been accumulated on the past volcanic activity occurred in the island during its geologic evolution, but there are a few specific reports about the space location, study and classification of the ancient volcano-plutonic centers that originated the volcanites in Cuba, due to the diverse and complex geological-tectonic events occurred, that have destroyed and masked the original features of the old volcanic landscapes. Methods that include the photointerpretation of air pictures, the digital processing of satellite images and the digital terrain model, have allowed to detect ring structures present in the territory of Sierra Maestra, which were compared with the preexistent information organized in databases, that include information geological, geophysical, petrographical and outcrops description from the main surveys at 1:50 000 and 1:100 000 scales, made in the territory between 1972 and 1987, and data on the mineral occurrences and manifestations contained in the Informative System for the Mineral Resources of Cuba. The field confirmations of the interpreted structures, more than 400 outcrop points, 300 new petrographical and paleontological descriptions, the generalization of the aeromagnetic data, and the space coincidence of all these data and of the structures described by other authors and the reported mineral deposits, with those detected, have allowed to built a Catalog, with more than 250 structures, direct or indirectly associated with the volcano-plutonic activity in the region, classified according to the nomenclature and concepts that propose the newest theories about the linking volcanic landscape -mineral deposit, which are being used internationally in the few last decades.



Introducción

Los resultados de las investigaciones geológicas en Cuba, han permitido acumular cuantiosos y valiosos datos acerca de las rocas relacionadas con la actividad volcánica pretérita en la isla durante su evolución geológica, las cuales han sido vinculadas a los dos arcos volcánicos reportados: Cretácico (AVC) y Paleógeno (AVP), empero, son pocos los reportes específicos acerca de la ubicación espacial, estudio y clasificación de los antiguos centros efusivos, o aparatos volcano-plutónicos que dieron origen a dichos complejos rocosos, debido en parte a los diversos y complejos eventos geólogo-tectónicos, ocurridos posteriormente, los cuales contribuyeron ardua y eficientemente a la destrucción y enmascaramiento de los rasgos y formas originales de los paisajes volcánicos. Existen otros factores que han dificultado o impedido la obtención de tales resultados, como son: la carencia o desconocimiento de una metodología efectiva para el estudio y cartografía de las estructuras paleovolcánicas (EPV) y los paisajes volcánicos; la insuficiente o deficiente utilización con dichos fines de los materiales fotográficos aéreos e imágenes espaciales disponibles y la no-disponibilidad de las necesarias; la ausencia de mapas litológicos detallados que faciliten el estudio por separado de los diferentes tipos de lavas, flujos piroclásticos y demás tipos de rocas volcanogénicas y volcano-sedimentarias y permitan acometer la reconstrucción de los paisajes paleovolcánicos; la falta de investigaciones temáticas específicas para estos fines.

En la Sierra Maestra, varios autores han intentado con mayor o menor éxito el mapeo de las EPV, pero aunque no cubren totalmente el territorio, son los trabajos de Alioshin, V. (1975), y Kuzovkov, G. (1977, 1987), los que parecen haber abordado la temática de una forma científicamente más completa. El primero, separa y denomina al menos ocho volcanes y otros tantos macizos intrusivos, así como numerosos campos de diques y cuerpos subvolcánicos, algunos de los cuales describe en su informe utilizando los términos de volcán, cráter, neck, estructura volcano-plutónica, etc. El segundo presenta en (1977), un "Mapa Tectónico Esquemático" de la parte centro-occidental de la Sierra Maestra, donde plasma numerosas estructuras anulares, que asocia con cuerpos subvolcánicos y otras estructuras, a las que define utilizando términos como "estructuras volcano-plutónicas", y mapea diferentes campos de distribución de rocas efusivas, intrusivas, subvolcánicas y volcano-sedimentarias. Mientras que en (1987), presenta para el extremo oriental de lo que él llama "cinturón volcano-plutónico Sierra Maestra", al menos 15 estructuras Volcano-Plutónicas, y reporta numerosas "construcciones" volcánicas o plutónicas a ellas asociadas, las que describe con términos como estratovolcanes, calderas, necks, maeres, embudos de explosión, cúpulas extrusivas, etc. Un trabajo similar aunque menos detallado realiza Golovkin, L. (1981), en el extremo occidental de la región. Donskij, V. (1988), confeccionó un esquema de interpretación preliminar muy complejo, donde se proponen numerosas estructuras anulares y lineales que asocia con antiguos centros efusivos y sus áreas de distribución de diferentes tipos de lavas, piroclastos y otras rocas volcanogénicas, empleando los términos de "calderas", "volcanes de tipo central y fisurales", etc. Aunque otros autores han utilizado y reflejado en sus trabajos estos datos, la cartografía, clasificación y estudio de los paisajes volcánicos y su vinculación con los depósitos minerales, continúa siendo en Cuba un campo insuficientemente explorado, a pesar de su importancia científica y económica y de las favorables premisas geológicas existentes, sobre todo en esta parte de la región oriental.

Asumiendo la Teledetección como el método más idóneo y asequible para detectar los rasgos y formas remanentes de estructuras con alguna expresión en el relieve, por estar éstas erosionadas y/o cubiertas, y estar vedados otros métodos convencionales como la perforación, laboreos mineros, etc., por su elevado costo, se han utilizado la interpretación de imágenes espaciales y aéreas; las novedosas técnicas (herramientas SIG) de procesamiento y análisis



digital de imágenes e información georreferenciadas, y del relieve con la utilización de filtros especiales, construcción de vistas 3D, mapas shadow y otras, basadas en los modelos de elevación digital del terreno (MED); la utilización de los métodos aerogeofísicos, ha ayudado a la interpretación de las EPV que se proponen mediante el reflejo de las propiedades físicas de las rocas. Aunque la mayoría de las clasificaciones propuestas revisten un carácter preliminar, todas fueron cotejadas digitalmente en ambiente SIG con las bases de datos georreferenciadas, confeccionadas a partir de los resultados de las observaciones anteriores y los puntos de mineralización contenidos en INFOYAC, Batista, R. (2000), por lo que consideramos que sin lugar a dudas, este trabajo constituye un nuevo punto de referencia que deberá tenerse en cuenta para futuros trabajos más detallados, lo cual requerirá inevitablemente de mayores gastos de recursos humanos y financieros.

Materiales y métodos

Se realizó una revisión bibliográfica de los trabajos nacionales e internacionales de mayor interés para la temática tratada (litologías, estructuras, cuerpos intrusivos y/o subvolcánicos, yacimientos y manifestaciones de origen hidrotermal, scarn u otros afines, fuentes de aguas termales, etc.). Se realizó el estudio de varios artículos científicos de diferentes autores internacionales, pioneros del estudio y la clasificación de los paisajes volcánicos y de las teorías de asociación paisaje volcánico-depósito mineral. Se diseñaron y compilaron las bases de datos georreferenciadas para su utilización como herramientas SIG, y se incluyó la base de datos de yacimientos y manifestaciones minerales (INFOYAC).

Se seleccionaron los materiales a utilizar en los diferentes trabajos: fotos aéreas (1:62 000 y 1:37 000); fotoesquemas (1:100 000), los cuales fueron llevados a formato digital, georreferenciados y utilizados como base para el traslado mediante digitalización, de la información fotointerpretada; hojas topográficas a escalas 1:50 000 y 1:100 000; imágenes espaciales LandSat TM, de 30 m de resolución espacial; matrices del modelo de elevación digital del terreno (1:100 000), etc. Se realizó la interpretación de las fotos aéreas 1: 62 000 de toda la región, para la compilación del esquema preliminar, donde se reflejaron las estructuras fotointerpretadas, presumiblemente de origen paleovolcánico, para su posterior comprobación en el terreno. Para mayores facilidades durante los trabajos de fotointerpretación, y para los demás trabajos de comprobación de campo, edición de los materiales gráficos generados, el enorme territorio seleccionado para el estudio fue subdividido en cuatro polígonos más pequeños, lo cual se realizó según la nomenclatura de las hojas topográficas a escala 1:100 000 editadas por GeoCuba, como se muestra en la tabla I.

Tabla I	Nombre de los polígonos o sub-áreas en que fue subdividida la región de trabajo y correspondientemente, de los cuatro mapas finales.			
Nombre del área (mapa)	Pilón	Turquino	Contramaestre	Santiago de Cuba
Nomenclatura hojas 1:100 000 de cada área	4775-4776	4875-4876	4975-4976	5075-5076 y aproximadamente el tercio occidental de las hojas 5175 y 5176

Resultados

Se realizaron diferentes combinaciones de composiciones en falso color de imágenes espaciales multispectrales, clasificaciones supervisadas y no-supervisadas de las mismas para resaltar los contrastes entre diferentes tipos de litologías, que pudieran ayudar a la cartografía de límites litológicos y/o tectónicos, obteniéndose modestos resultados debido a la gran



capacidad de apantallamiento de la cobertura vegetal desarrollada sobre la mayor parte del territorio y a la ausencia de mapas litológicos de referencia para la selección de las muestras de entrenamiento para las clasificaciones. No se descarta la obtención de mejores resultados a partir de una mayor variedad de tipos de imágenes, incluyendo las de radar, los que en esta ocasión se limitaron a resaltar estructuras lineales de grandes y medianas dimensiones, la mayoría ya conocidas y en muy contadas oportunidades la presencia de estructuras anulares, objeto principal de nuestro estudio.

Excelentes resultados se obtuvieron del procesamiento digital del relieve, mediante la confección de vistas 3D, sobre las cuales es posible desplegar las imágenes espaciales y aéreas, mapas y esquemas georreferenciados, así como de una pseudo imagen de aspecto 3D ("shadow"), obtenida por aplicación sobre el MED de diferentes filtros direccionales. Esto último resultó de gran ayuda, al permitir resaltar no sólo las estructuras lineales asociadas con fallas, si no las anulares, anteriormente detectadas de forma parcial o fragmentada en las vistas estereoscópicas de los pares aéreos. Estas "imágenes shadow" sirvieron además, junto con los fotosquemas georreferenciados, como base digital para la compilación de los mapas de las diferentes estructuras interpretadas.

Se ejecutaron 29 itinerarios para la verificación en el campo de la interpretación preliminar, cuyos resultados se muestran en la tabla II. Durante los mismos se visitaron y describieron alrededor de 450 afloramientos, cuya mayoría cuenta con resultados analíticos, fotografías a color y amarre topográfico con ayuda del GPS, lo cual constituye una valiosa fuente de información primaria para futuras interpretaciones.

Tabla II		RESUMEN DE LOS TRABAJOS DE CAMPO REALIZADOS						
Total de Km.	Puntos desde-hasta	Total de puntos	Muestreo *					Fotografía de afloramiento
			PI	Pt	Q	ATD	EA	
825	1-400-	447	31	300	31	4	13	121
* PI – muestreo paleontológico; Pt – muestreo petrográfico; Q – análisis químico; ATD- análisis térmico diferenciado; EA- edad absoluta								

La mayoría de las numerosas estructuras fotointerpretadas y visitadas sobre rocas del Grupo El Cobre (Ej. Sigua, Daiquirí, Santiago, Los Guaos, Nima Nima, Campo Rico, Cambute, La Victoria, Turquino, Pico Turquino, La Magdalena), denotan una evidente relación con paleoestructuras volcano-plutónicas en general con alto grado de erosión. En el caso de estructuras anulares desarrolladas en áreas de desarrollo de rocas sedimentarias de cobertura (Ej. Fm. Charco Redondo y San Luis), se constató que son antiformalas dómicas con evidencias de actividad volcano-plutónica en su periferia, (diques o cuerpos subvolcánicos), que sugieren la posible influencia de cuerpos ciegos subyacentes que les dieron origen, (Ej. Estructuras Loma La Gloria y La Serafina).

La reinterpretación de los materiales aéreos a escala 1:37 000 de toda el área (alrededor de 3000 pares estereoscópicos) y la revisión de la información previamente compilada (petrográfica, geofísica, de yacimientos, estructural, litológica, etc.), teniendo en cuenta los resultados de las verificaciones de campo y los nuevos datos que de las mismas se obtuvieron, permitieron en algunos casos, precisar la cartografía (Mapas de Estructuras Vulcano-Plutónicas a escala 1:100 000) (Fig.1) y proponer el posible origen de las diferentes estructuras visitadas así como extender por analogía los criterios utilizados, para clasificar las no visitadas, a partir de lo cual se completaron a su vez las bases de datos y se confeccionó el "Catálogo de Estructuras Paleovolcánicas de Cuba Sudoriental" (fig. 2), con su génesis propuesta y su posible vinculación con diferentes tipos de depósitos espacialmente a ellas asociados.



Todo el trabajo quedó montado en un sistema de información geográfica sobre la base del software ILWIS 3.0, donde sobre imágenes georreferenciadas, asociadas con bases de datos, se pueden ejecutar consultas, así como la superposición de los diferentes mapas geológicos, geofísicos, petrográficos, de afloramientos, de yacimientos minerales metálicos, de aguas minerales y manganeso, etc., con acceso inmediato a los atributos de cada uno de ellos (información textual).

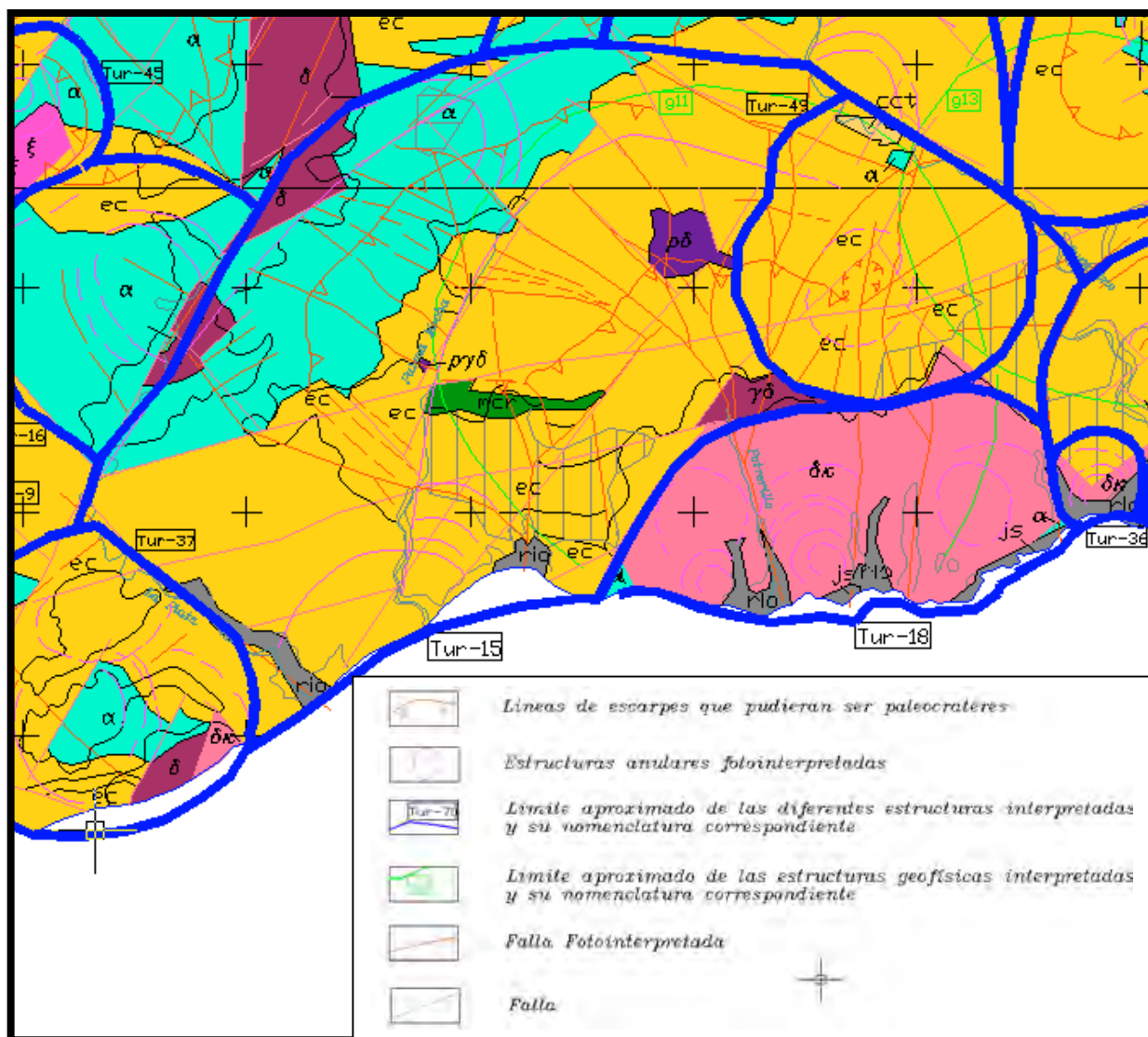


Fig. 1. Fragmento del "Mapa de Estructuras Paleovolcánicas de Cuba Sudoriental"

Discusión

Una gran variedad de rocas, relacionadas con la actividad volcano-plutónica del AVP, de la más variada composición, y cuyas edades reportadas van desde el Paleoceno hasta el Eoceno Inferior, Kuzovkov, G. (1977), aparece distribuidas actualmente en un área de más de 5567.8 Km² en el territorio de la Sierra Maestra. La mayoría de ellas han sido incluidas estratigráficamente en una enorme unidad (Grupo El Cobre), que incluye las formaciones Pilón y El Caney y sus efusivos, subvolcánicos e intrusivos, cuyo espesor total aproximado se calcula



entre 5000 y 6000 m. Muy conservadoramente, se puede calcular que el volumen de rocas volcanogénicas de la parte actualmente aflorada del AVP, asciende aproximadamente a unos 10000 Km³. Esta cifra, pudiera duplicarse si se tiene en cuenta que el eje de esta mega estructura se supone paralelo y casi coincidente con la línea de costa actual, Kuzovkov, G. (1977), habiendo desaparecido su mitad meridional a partir del gran evento tectónico regional que constituyó la Falla Oriente y la apertura de la Fosa de Bartlett-Caimán durante el Eoceno Superior- Mioceno, Iturralde, M. (1998). Si se tuvieran en cuenta los volúmenes de roca erosionados, dados los diferentes niveles del corte erosivo, que generalmente es profundo, puede inferirse que los volúmenes totales iniciales de rocas volcánicas eran muy superiores. Desde el punto de vista volcanogénico, es evidente que tan gigantesco volumen de rocas y tal cantidad de litologías, proceden de una serie de eventos que ocurrieron de forma simultánea y/o se sucedieron en un tiempo geológico relativamente breve -del Paleoceno hasta el Eoceno Inferior- Kuzovkov, G. (1977), constituyendo por tanto, un campo volcano-plutónico (CVP) (del Inglés "volcano-plutonic field"), el cual, según la división de Elston, W. (1994), clasifica como un CVP de grandes dimensiones (de 10³ – 10⁷ Km³ de roca para áreas de 10⁴ – 10⁶ Km²).

Todo lo anteriormente expuesto, parece estar avalado por los resultados de muchos de los trabajos anteriores, el propio hecho de incluir todas las rocas en una sola unidad litoestratigráfica (Grupo El Cobre), resulta significativo. Sánchez, R. (1984), consideraba todos los intrusivos desde Sexta-Yara, Kuzovkov, G. (1977) por el oeste, hasta Daiquiri, Kuzovkov, G. (1987) por el este, como un "complejo magmático único". Alioshin, V. (1975) hablaba del "complejo volcano –tectónico", mientras Kuzovkov, G. (1987) refería "cinturón volcano – tectónico", eventos que todos proponen llamar Sierra Maestra. Estos antecedentes, así como los análisis de los datos petrográficos, estratigráficos y geofísicos y la fotointerpretación, aquí realizados, animan a complementar la propuesta, considerando todas las rocas del AVP de esta región, desde las inmediaciones de Ojo del Toro por el oeste, hasta la zona de la Laguna Baconao por el este, como el gran "campo volcano-plutónico Sierra Maestra". Aunque se reitera la necesidad de realizar trabajos estratigráficos más detallados y subdividir en lo posible la unidad El Cobre y mejor aún, confeccionar mapas litológicos que faciliten la reconstrucción paleovolcánica, por lo menos de los más importantes centros o aparatos volcano-plutónicos que dieron origen a dichas rocas, sobre todo de aquellos de mayor coincidencia entre las interpretaciones de autores anteriores y que se reafirman en las propuestas del presente reporte.

Los trabajos de interpretación realizados en la región de estudios, permitieron detectar más de 250 estructuras anulares de variado aspecto y tamaño y con diferente expresión en las formas positivas y negativas del relieve. Las formas más comunes de manifestación son los segmentos arqueados de los ríos y los parteaguas o la combinación de ambos elementos en forma concéntrica. En las zonas periféricas del norte de la región de estudio, donde el relieve es más suave, suelen predominar las disposiciones centrífugas (para las antiformalas) y en menor grado centrípetas (para las sinformas) de las redes de drenaje. Las estructuras pueden aparecer solas y aisladas, aunque es mucho más común que aparezcan agrupadas en las más diversas y caprichosas combinaciones. Generalmente se observan estructuras de medianas o pequeñas dimensiones asociadas a la periferia o hacia el interior de otras más grandes (calderas?). También es frecuente que aparezcan deformadas o truncas por fallas o por otras estructuras anulares asociadas con diferentes tipos de eventos volcano-plutónicos.

Teniendo en cuenta los conceptos y definiciones de tipos de paisajes volcánicos propuestos en Sillitoe, R. (1984), se intentó clasificar y sistematizar las estructuras anulares interpretadas (tabla III). Las propuestas se hacen teniendo en cuenta la combinación de varios rasgos y criterios, como la morfología, dimensiones, disposición de los elementos del relieve (dirección y



configuración de las pendientes y los escarpes), la presencia o ausencia de estratificación y/o fluidez. Es muy importante la presencia (en los mapas) o el reporte de lavas, tobas u otros tipos de rocas intrusivas, hipabisales o subvolcánicas, así como la composición de las mismas. También se ha tenido en cuenta la coincidencia o no con reportes de estructuras de este tipo por otros autores, así como la coincidencia y naturaleza de diferentes estructuras anulares reflejadas en los campos físicos, determinadas en diferentes trabajos y compilados, analizados y resumidos para este proyecto. Un criterio adicional es el tipo de manifestaciones minerales presentes, las cuales pueden estar asociadas espacial, temporal o genéticamente con determinados tipos de estructuras según las leyes de asociación paisaje volcánico – depósito mineral, Sillitoe, R. (1984).

Tabla III TABLA RESUMEN DE CLASIFICACION DE LAS ESTRUCTUTAS PROPUESTAS					
Tipos de estructuras interpretadas	Nombre del polígono				Total
	Pilón	Turquino	Contramaestre	Santiago de Cuba	
Calderas o couldrones	3	4	3	1	11
Estratovolcanes	17	32	25	11	85
Domos fluidales	12	22	17	19	70
Cuerpos intrusivos	9	5	9	9	32
Cuerpos subvolcánicos	21	3	8	0	33
Necks o cuellos volcánicos	0	1	2	0	3
Indeterminadas	4	3	8	1	15
Total	66	70	73	41	250

Una caracterización general de todas las estructuras reportadas y propuestas en este trabajo se muestra de forma más amplia en el citado “Catálogo de Estructuras Paleovolcánicas de Cuba Sudoriental” (Fig.2). Lamentablemente, para este trabajo no se contó con datos de sondeo profundo (perforación), ni fue posible visitar todas las estructuras interpretadas, lo cual hubiera aportado un carácter, si bien no concluyente, al menos más definitorio a las propuestas de clasificación de las mismas, algunas de las cuales incluso no pudieron ser clasificadas. Por los mismos motivos y tal vez por la escala de los trabajos no se reportan maares ni diatremas, lo cual no excluye su posible existencia. Es evidente por lo tanto, que dichas clasificaciones son susceptibles de modificaciones, cambios y completamiento durante nuevos trabajos que han de ejecutarse en el futuro

Conclusiones

Todo el territorio de la Sierra Maestra, escenario de la superposición de los dos arcos de islas hasta hoy reportados: AVC Y AVP, constituye ante todo, desde el punto de vista de su génesis geológica, un Campo Volcano-Plutónico (CVP), el cual con posterioridad (y/o simultáneamente) fue sometido a complejos eventos tectónicos y erosivos. Se propone que en lo adelante, este territorio ser denominado como “Campo Volcano-Plutónico Sierra Maestra”.

Teniendo en cuenta que las teorías de asociación paisaje volcánico- depósito mineral, a pesar de su demostrada eficacia, no están aún suficientemente desarrolladas, ni constituyen patrones exactamente aplicables en diferentes entornos geoambientales, la introducción de las mismas en nuestras condiciones concretas debe hacerse con la toda rigurosidad, aplicando los conocimientos hasta hoy consolidados, y a la vez que con la flexibilidad necesaria para que posibilite el hallazgo de respuestas a las incógnitas que aún prevalecen o puedan surgir durante su implementación y permitan una retroalimentación en esta esfera, de inestimable valor para el aumento del conocimiento científico, para nuestro país y para el resto del área y del mundo.



Identificador	Tur- 15		
Nombre	Pico Turquino		
Centroide	(X = 496397.21, Y = 146051.20)		
Largo (Km)	17,3	Área (Km²)	100,2378841
Ancho (Km)	10,0	Perímetro (Km)	59,393
Diámetro (Km)	17,0	Hoja 50000	4875-IV
Manifestación Espacial	Elevación circular delimitada por segmentos arqueados de la red fluvial (río La Plata, río La Mula) interpretados como fallas anulares límites de caldera; parteaguas arqueados y depresión central. La mitad meridional de la estructura está ausente. Incluye varias estructuras menores.		
Coincidencia	Coincide parcialmente con la estructura anular volcano-plutónica "Turquino" descrita por G. Kuzovkov et al (44) y limita por el norte con el extremo sur del área descrita por V. Alioshin et al. (2) como Estructura Volcano-Plutónica Yara. En el mapa de E. Nagy et al. (59), aparecen lavas andesíticas, asociadas a la zona de fallas anulares, donde también afloran cuerpos de dioritas que las intruyen. Más al centro aparece un cuerpo pequeño en forma de stock de pórfidos dioríticos, y al sur, en lo que sería el centro de la estructura, afloran las dioritas cuarcíferas del intrusivo Turquino (44).		
Ambiente Geológico	Comprende fundamentalmente rocas del Grupo El Cobre, representadas por lavas andesíticas, andesito-basálticas, tobas, tufitas, ignimbritas, calizas. La parte sur central la integran rocas plagiograníticas, granodioríticas, dioríticas, aplíticas del intrusivo Turquino.		
Clasificación	Caldera resurgente fragmentada y fuertemente erosionada		
Manifestación Mineral	Incluye varias manifestaciones de Cu, Ag (Purialón) y Fe (Camaroncito y Arroyo Cabrera) de tipo skarn.		
Expresión Geofísica	Coincide con la estructura g-11. Campo magnético positivo, con valores entre 100 y 300 nT, solo perceptibles por su distribución circular de pequeñas anomalías magnéticas hacia su borde perimetral. Campo enteramente de valores positivos con algunos lugares puntuales de valor nulo.		
Perspectiva de Mineralización	Posibles nuevos depósitos de scarn de Fe y posibles depósitos porfíricos de Cu-Mo- Au asociados a las partes centrales y profundas y depósitos vetíticos de Cu. Pb. Zn. Ag y Au. asociados a las partes medias de los estratovolcanes de		

Fig. 2. Ejemplo de una página del "Catálogo de Estructuras Paleovolcánicas de Cuba Sudoriental"

De la experiencia obtenida en este trabajo se desprende que los materiales que mayores y más interesantes resultados aportaron, fueron el procesamiento del modelo digital del terreno y las imágenes "shadow", así como las vistas y maquetas tridimensionales del relieve y demás aplicaciones obtenidas a partir de él. Las imágenes Landsat TM utilizadas, no arrojaron los frutos esperados debido a la acción enmascaradora de la cobertura vegetal –muy abundante en la región-, aunque no se descarta que otras combinaciones y aplicaciones, así como el uso de imágenes de radar, ofrezcan mejores resultados. Las imágenes aéreas a escala 1:62 000 utilizadas en la interpretación estereoscópica, por abarcar mayores espacios, ofrecen vistas más completas de las diferentes estructuras que las 1: 36 000, mientras que estas últimas son



de un valor apreciable en la precisión de algunos límites y contactos de las estructuras interpretadas en las anteriores y de inestimable ayuda en los trabajos de comprobación en el terreno.

Muchas de las estructuras aquí propuestas y sus clasificaciones tienen carácter preliminar y en algunos casos no pudieron ser clasificadas, debido a la escala de los trabajos y a las limitaciones de tiempo y recursos que impidieron un estudio más detallado. Muchas de ellas no fueron verificadas en el campo y en las visitadas no se realizaron perfiles detallados; no en todos los casos se cuenta con suficiente cantidad y variedad de datos y en ninguno se contó con datos de perforación. Sin embargo, este trabajo constituye un punto de referencia obligada para la gran tarea que deberá emprenderse en el futuro en áreas más limitadas, con mayor detalle e ineludiblemente con mayor rigurosidad y por supuesto, con mayor gasto de recursos humanos y financieros. Sólo de esta manera podrán ser rechazadas o confirmadas, para en este último caso poder profundizar en el conocimiento de su génesis, detallar su cartografía e inferir y/o determinar la existencia o no de nuevas fuentes de mineralización a ellas asociadas. Desde todos los puntos de vista, tanto por su extensión territorial, como por la enorme cantidad de estructuras interpretadas, así como por los niveles medios (con respecto a las áreas vecinas) del corte erosivo, la región central (polígonos Turquino y Contramaestre), parece ser la de mayores perspectivas para la localización de nuevas fuentes de recursos minerales.

Bibliografía

- Alioshin, V. et. al., 1975. "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Geológico y su Búsqueda a escala 1:100 000 en la Parte Nororiental de la Sierra Maestra". *Archivo ONRM*.
- Batista, R. et. al., 2000. "Sistema Informativo para los Recursos Minerales de Cuba. INFOYAC". *IGP*.
- Donskij, V. V. et al., 1988. "Las estructuras volcano-tectónicas de la Sierra Maestra. Su tipificación y origen". *Memorias I Congreso Cubano de Geología. La Habana*.
- Elston, W. E., 1994. "Centros Volcánicos Silíceos como Guías de Exploración Mineral. *Revisión y Sumario*". *Economic Geology*. Vol. 89, No. 8, Dic., 1994.
- Golovkin, L. M.; et. al., 1981. "Informe sobre los resultados del levantamiento geológico a escala 1:100 000 realizados en la parte oeste de la Sierra Maestra durante los años 1976-77 (2da. etapa)". *ONRM*.
- Iturralde-Vinent, M., 1998. "Sinopsis de la constitución geológica de Cuba". *Acta Geológica Hispánica*, v. 33. No. 1-41998.. pp 9-56.
- Kuzovkov, G. et. al., 1977. "Informe sobre los resultados del levantamiento geológico a escala 1:100 000 realizado por la brigada Sierra Maestra en la pendiente sur de la cresta del Turquino en la parte oeste de la provincia de Santiago de Cuba durante los años 1975-1976". *ONRM*.
- Kuzovkov, G. et. al., 1988. "Informe sobre el levantamiento geológico a escala 1:50 000 y búsqueda acompañante ejecutada en el área de la Gran Piedra al este de Santiago de Cuba en los años 1983-1987". *ONRM*.
- Nagy, E. et. al., 1975. "Informe del Levantamiento Geológico a escala 1:100 000 de la Provincia de Oriente". Academia de Ciencias de Cuba y Academia de Ciencias de Hungría, *IGP*.
- Sillitoe, R. H.; H. F. Bonham Jr., 1984. "Paisajes Volcánicos y Depósitos Meníferos". *Economic Geology*. Vol. 79, No. 4, Jun-Jul, 1984. pp. 1286-1298.



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.

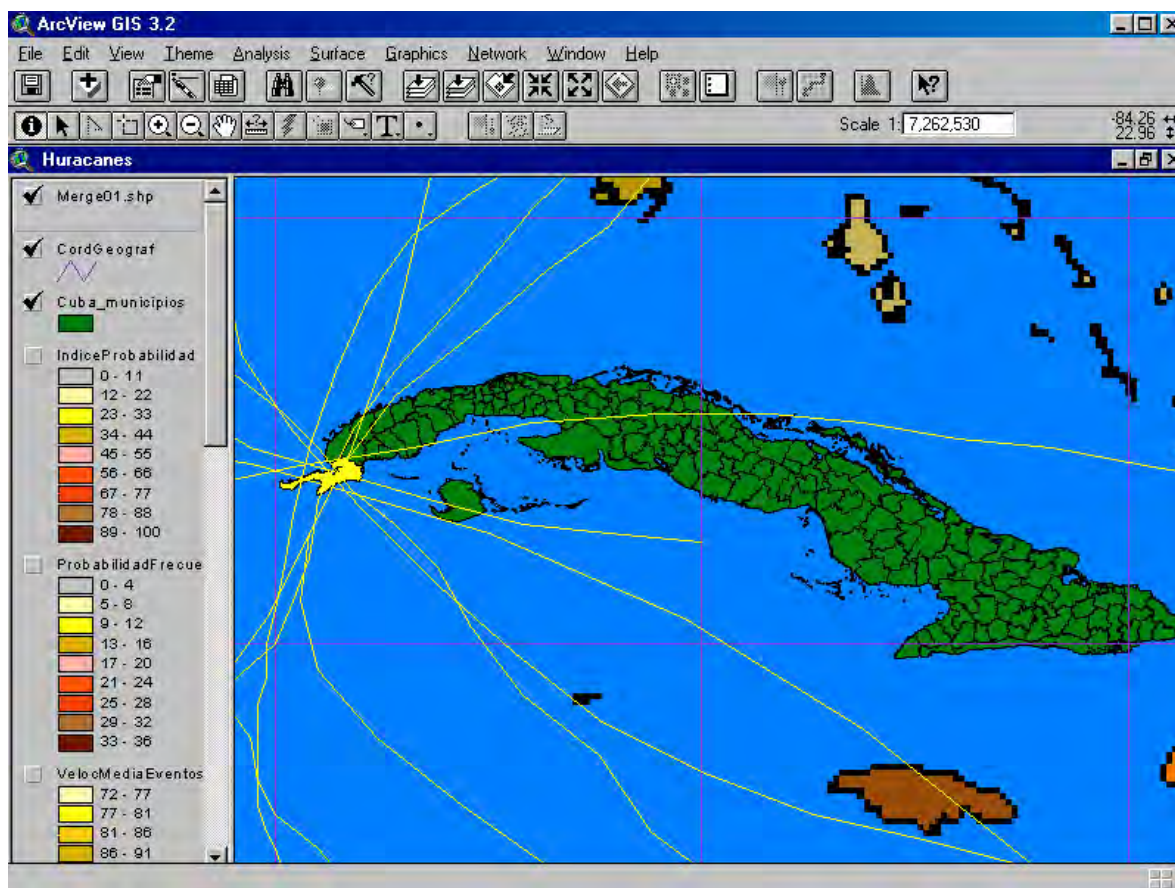


FIGURA 1. Huracanes seleccionados que pasaron sobre el municipio Sandino.

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.

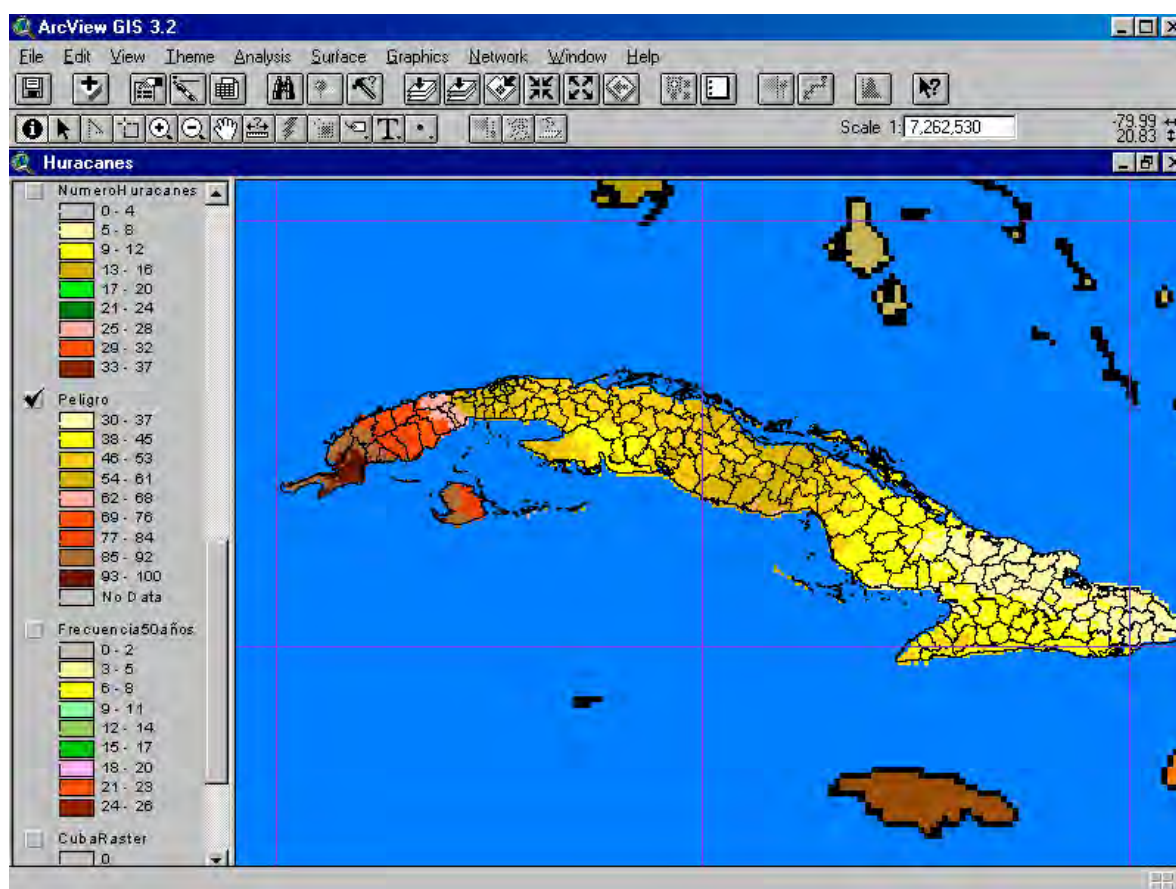


FIGURA 2. Mapa del Índice Complejo de Peligro.

TABLA II. Índices de Peligro.

No.	Indicador	Valor (dimensiones)	Máximo valor algún lugar en Cuba
1	Índice de velocidad	60 (S.D)	100
2	Periodo recurrencia en 50 años	16 (Número)	26
3	Índice 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 Cols. 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.



DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA PARA TODA CUBA DE LOS FORAMINIFEROS PLANCTONICOS Y BENTONICOS.

Guillermo Pantaleón Vento⁽¹⁾, Jesús Triff Oquendo⁽¹⁾, Roberto Gutiérrez Domech⁽¹⁾, Rafaela Pérez Arias⁽¹⁾, Consuelo Díaz Otero⁽¹⁾, Gustavo Furrázola Bermudez⁽¹⁾, Arsenio Barrientos Duarte⁽¹⁾, Ana Ibis Torres⁽¹⁾ y Nurys Corona Rodríguez⁽¹⁾.

(1) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y prolongación de la Carretera Central, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba. E-mail: panta@igp.minbas.cu

RESUMEN

Se presenta uno de los resultados obtenidos en el desarrollo del Proyecto "La micropaleontología como componente principal de la base bioestratigráfica de los conocimientos geológicos fundamentales". que es acometido por el Instituto de Geología y Paleontología (IGP) del Ministerio de la Industria Básica (MINBAS).

En el Museo "Mario Sánchez Roig" del Instituto de Geología y Paleontología (IGP) existen colecciones de fósiles de variados grupos, entre ellos microfósiles que constituyen la base estratigráfica de cualquier trabajo geológico regional que se haga internacionalmente. Dichas colecciones proceden de diferentes afloramientos y perforaciones, colectados durante levantamientos geológicos, realizados a diferentes escalas en casi todo el territorio nacional y provenientes de colecciones privadas hechas por varios investigadores, incluso para compañías extranjeras, antes de 1959.

Toda esta información fue procesada en formato digital, conteniendo datos de cientos de localidades fosilíferas y han sido almacenadas en Bases de Datos, que se encuentran soportadas mediante el software Access, las mismas contienen toda la información disponible y necesaria para futuros trabajos de investigación, a las cuales es posible acceder mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) montado sobre el software "ILWIS".

Los registros en esta Base de datos cuenta con los campos siguientes: Localidad georeferenciada que incluye además de las coordenadas cartográficas, nombre del sitio, municipio, provincia, genero, especie, autor, edad y otros datos; por lo que la información puede ser analizada integralmente, lo que permitirá apreciar donde se encuentran las mayores concentraciones de los diferentes tipos de microfauna fósil y realizar consideraciones de tipo paleogeográficas y paleoecológicas.

ABSTRACT

It is presented one of the results obtained in the development of the Project "The micropaleontology like main component of the biostratigraphical base of the fundamental geologic knowledge." that is carry out by the Institute of Geology and Paleontology (IGP) of the Ministry of the Basic Industry (MINBAS).

In the Museum "Mario Sánchez Roig" of the Institute of Geology and Paleontology (IGP) collections of fossils of varied groups exist, among them microfossils that constitute the stratigraphic base of any regional geologic work that is made internationally. These collections come from different blooming and perforations, collected during geologic risings, carried out to different scales in almost the whole national territory and coming from private collections made by several investigators, even for foreign companies, before 1959.

All this information was processed in digital format, containing data of hundred of fosiliferous localities and they have been stored in databases that are supported by means of the software Access, the same ones



contain all the available and necessary information for future research works, to which it is possible to consent by means of a System of Geographical Information (SIG) mounted on the software "ILWIS."

The registrations in this database have the following fields: georeferences localities that includes besides the cartographic coordinates, name of the place, municipality, province, genera, species, author, age and other data; in a way that the information can be analyzed integrally, what will allow to appreciate where the biggest concentrations of the different types of fossil microfauna are, and to make paleogeographic and paleoecological considerations.

Introducción

El Grupo de Paleontología de la Vicedirección de Investigaciones del Instituto de Geología y Paleontología (IGP) del Ministerio de la Industria Básica (MINBAS) ha estado ejecutando a partir de 2001 el proyecto 231 "La micropaleontología como componente principal de la base bioestratigráfica de los conocimientos geológicos fundamentales" el cual tiene entre sus objetivos principales realizar la catalogación e inventario de las muestras de microfósiles existentes en los diversos muebles del Museo, que debieron ser previamente procesados y ordenados.

Entre los ejemplares de las colecciones del Museo se encuentran numerosos géneros y especies de diversos grupos de microfósiles planctónicos y bentónicos, de singular importancia como índices de las edades geológicas presentes en Cuba. Entre los mismos se hallan los que fueron colectados durante los levantamientos geológicos, realizados a diferentes escalas en casi todo el territorio nacional en el marco de la colaboración con las academias de ciencias de los antiguos países socialistas principalmente, así como provenientes de colecciones privadas, hechas por varios investigadores, incluso para compañías extranjeras, antes de 1959. Entre todas debe destacarse la realizada por Primitivo Borro, destacado micropaleontólogo, especialista en foraminíferos bentónicos pequeños.

Teniendo en cuenta el nivel alcanzado en la actualidad en el desarrollo de la informática, y la importancia que tiene la misma para el análisis integral de cualquier conjunto de datos y las facilidades que brinda, los lineamientos estratégicos del Instituto de Geología y Paleontología con referencia al mapeo geológico y la utilización de los sistemas de información geográfica en el procesamiento de la base patrimonial de esta institución, es que se tomó la decisión de incluir dentro de los objetivos del proyecto de referencia la creación de una base de datos en Access con todos los géneros y especies de microfósiles atesorados en las colecciones del museo "Mario Sánchez Roig", de forma que se facilitará la utilización de la información en la confección de mapas geológicos a diferentes escalas, facilitando que su manejo fuera más fácil, útil y productiva para los usuarios.

Materiales y métodos

Durante el desarrollo de los trabajos se presentó la dificultad de que muchas de las localidades de los microfósiles carecían de una microlocalización cartográfica adecuada, pues se hacía referencia solo a fincas, barrios, distancias a lugares específicos (que pueden o no existir en la actualidad), términos municipales hoy inexistentes y provincias que han cambiado sus límites de acuerdo a la división política administrativa vigente. Por este motivo se hizo necesario realizar un trabajo arduo en el rescate de aproximadamente un 40% de estas importantes localidades, gracias al análisis detallado de las hojas cartográficas 1: 50 000 de todo el territorio nacional y al conocimiento personal de los autores de un grupo de esas localidades.



La información elaborada cuenta con miles de datos de localidades microfósilíferas y ha sido convenientemente almacenada en bases de datos, las cuales se encuentran soportadas mediante el software Access, las mismas contienen toda la información disponible y necesaria para futuros trabajos de investigación, a las cuales es posible acceder mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) montado sobre el software "ILWIS".

Fig. 1 Formulario de entrada de datos a la base de datos de Microfósiles

Los registros en esta base de datos están organizados en los campos siguientes: Microfósiles, Noposición, NoPlaca, Localidad, coordenada X, coordenada Y, Observaciones, Autores, Especies, Genero, municipio, provincia, edadmax, edadmin y ambiente (Fig. 1)

Con la información contenida en las tablas de la base de datos se procedió a su organización y estructuración, confeccionándose una base de tipo relacional (Fig. 2). Esta base de datos originalmente confeccionada en el software ACCESS, consta de 7 tablas (Fig. 3) entre las cuales se encuentran: TMicrofósiles, Genero, Especies, Autores, Edad, Municipios y Provincias

El soporte cartográfico fue creado mediante la georeferenciación de la generalización del mapa geológico de Cuba a escala 1: 1 000 000 que fue creado previamente en el software ILWIS, luego el mapa fue importado desde el ILWIS realizándose la topología de acuerdo a la nomenclatura litoestratigráfica establecida por el Léxico Estratigráfico de Cuba, cuya actualización fue aprobada en el año 2000.

Esta base de datos fue posteriormente importada desde el ILWIS, asignándosele un dominio a la misma. A partir de las tablas se crearon igual número de mapas puntuales con los mismos dominios, lo que permite el acceso a los diferentes atributos contenidos en las 15 columnas de la tabla. Así mismo se crearon dominios para algunas columnas de la tabla, de forma tal de diferenciar su representación gráfica (símbolo) si así se deseaba.

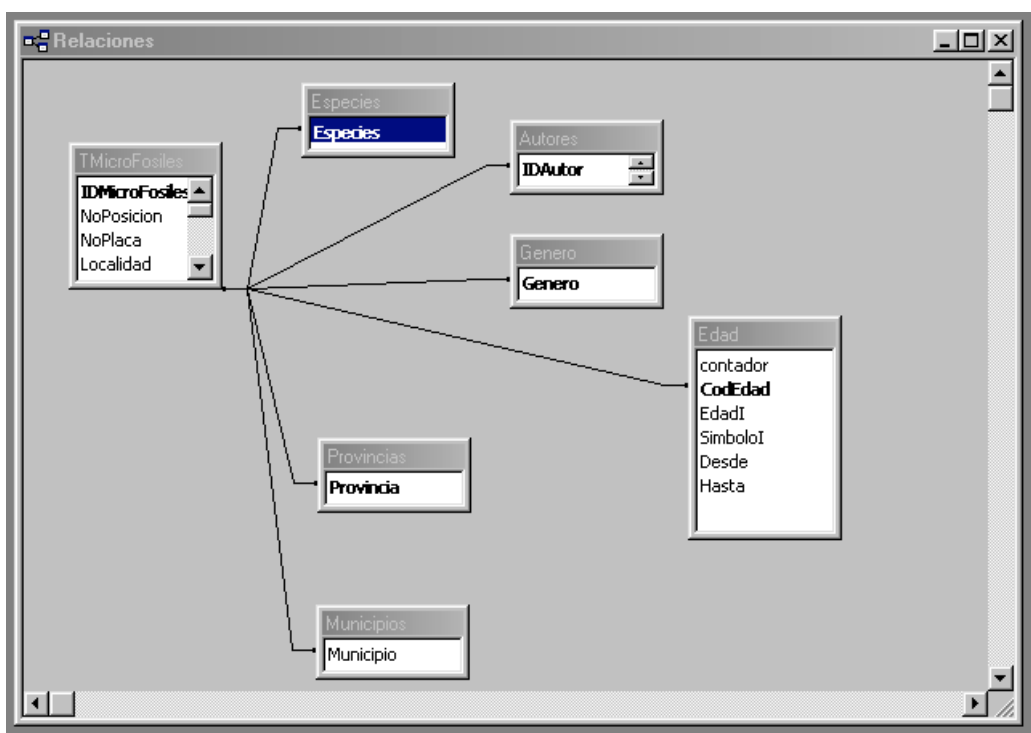


Fig.2 Relaciones entre las tablas de la base de datos

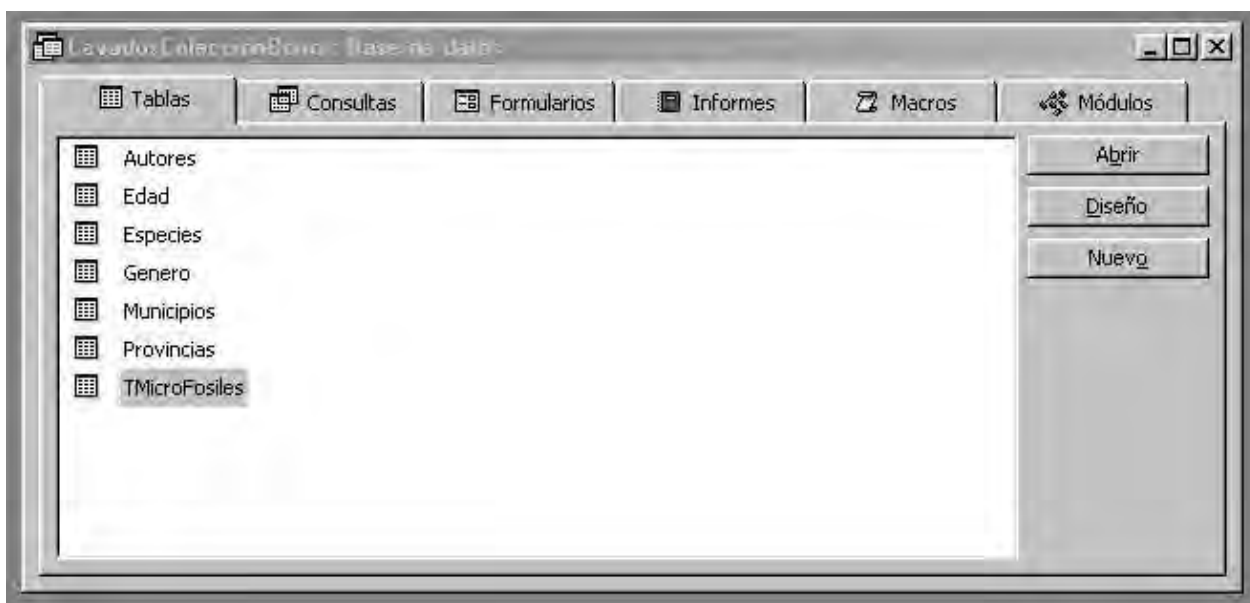


Fig. 3 Tablas contenidas en la base de datos

Resultados y discusión

El SIG le permite al usuario tener un acceso más rápido a la información deseada, a la vez que le permite el cuestionamiento de la información contenida, así como realizar diversas



operaciones entre los campos que componen su base de datos, analizar integralmente la información y apreciar donde se encuentran las mayores concentraciones de los diferentes tipos de microfósiles.

Entre sus múltiples usos, el SIG propuesto resulta de gran utilidad para la localización rápida de los ejemplares que se encuentran ubicados dentro del museo, cuya accesibilidad por los métodos tradicionales, dada la forma en que se encuentran almacenados, resultaría engorrosa.

El SIG propuesto permitirá realizar consideraciones de tipo Paleogeográfico y Paleoecológicos, siendo posible la reinterpretación y obtención de nuevos mapas a partir de estos datos.

Como aspecto limitante del SIG se puede señalar, que el mismo no cuenta con un soporte propio, por lo que para su empleo se requiere de cierta experiencia en el software ILWIS.

Conclusiones

Las consultas y operaciones de visualización que fueron realizadas, demuestran que el SIG que se propone funciona adecuadamente según lo previsto.

Con el SIG la localización de la información de los microfósiles planctónicos y bentónicos se hace más fácil.



MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (MDE) Y RED DE DRENAJE SUPERFICIAL (RDS) DE UN SECTOR DE LA PROVINCIA DE PINAR DEL RÍO. MAPAS ASOCIADOS.

Norberto Díaz Rivero, Carlos E. Valdés Moreira, Kelma Zubiaur Chapman.

Grupo de Estudios Regionales de Occidente. Centro de Ingeniería y Consultoría de la Construcción. UCM. Calle 20, # 4114 entre 41 y 47. Miramar. Playa. Ciudad de la Habana. Cuba. E-mail: norber0817@hotmail.com, norber0817@yahoo.es.

Resumen:

En el presente trabajo se muestra el Modelo Digital de Elevación (MDE) y la Red de Drenaje Superficial (RDS) de un sector de la provincia de Pinar del Río (Sierra del Rosario) y un grupo de mapas geológicos y geomorfológicos obtenidos a partir de procesos automatizados aplicados al MDE y la RDS.

El MDE y la RDS se confeccionan a partir de la digitalización de las planchetas topográficas a escala 1:10000, empleando para ello un grupo de sistemas automatizados.

Entre los mapas obtenidos están, los Mapas de Sombras del MDE, el Mapa Hipsométrico del Relieve, el Mapa de Disección Vertical, el Mapa de Disección Horizontal, el Mapa de Componentes Principales, los Mapas de Isobasitas y un Esquema Tectónico de la región de estudios.

Con la información contenida en estos mapas, se pueden realizar estudios geólogo-geomorfológicos que pueden esclarecer eventos del desarrollo geológico-tectónico de la zona, así como pueden servir también para realizar estudios medioambientales.

Estos mapas también pueden ser utilizados en etapas preliminares de las investigaciones ingeniero-geológicas con buenos resultados y con la finalidad de orientar posteriores trabajos de detalle.

La utilización del Modelo Digital de Elevación y la Red de Drenaje Superficial para las investigaciones geológicas, permiten un consumo mínimo de tiempo y recursos, así como la posibilidad de poder contar con la información en formato digital para futuros trabajos.

Abstract:

The present work shows the Digital Elevation Model (DEM) and Surface Drainage Network (SDN) of a Pinar del Río sector (Sierra del Rosario) and a group of geologic and geomorphologic maps, obtained from automatic processes applied to the DEM and SDN.

DEM and SDN were obtained from the digitalization of topographical sheets to scale 1:10000, using for this purpose, some softwares.

Among the obtained maps are the shade maps of the DEM, the hypsometric relief map, the vertical and horizontal dissection maps, the map of the main components, the isobathic map and a tectonic scheme of study region.

With the information contained in these maps, geologic-geomorphology studies, which might clarify events of the geologic/tectonic development of the area, can be carried out. They can also be used in environmental studies.

These maps can also be used with good results in preliminary stages of the engineering-geologic researches and with the aim of giving guidance on subsequent detailed works.

The use of DEM and SND for the geologic researches allows a minimum consumption of time and resources, as well as the availability of the information in digital format for future works.

Introducción.

En tiempos pasados era extremadamente trabajoso y engorroso confeccionar mapas geológicos y geomorfológicos ya que se realizaban manualmente, con la introducción además



de errores. En la última década del pasado siglo la computación tuvo un desarrollo vertiginoso y con ello muchas tareas que el hombre realizaba a mano ahora se han automatizado. Una de estas actividades es precisamente la confección de mapas temáticos de geología.

Nuestro departamento se dio a la tarea de desarrollar una serie de software con este objetivo, ahorrando gran cantidad de tiempo, haciendo el trabajo más fácil para el hombre y sobre todo aumentando muy significativamente la calidad del producto obtenido, porque ya no se introducen los errores de antes y los mapas obtenidos son mucho más exactos.

Por lo tanto, el presente trabajo no es más que una aplicación de ese sistema que se instaura a mediados de los años 90 en nuestro departamento.

Este es un estudio geólogo-geomorfológico regional básico, de un sector de la Provincia de Pinar del Río con el empleo de técnicas automatizadas. El área estudiada se enmarca entre las siguientes coordenadas planas.

x: 277000 - 317000

y: 325000 - 357000

El trabajo comienza con la creación del Modelo Digital de Elevación (MDE) y la Red de Drenaje Superficial (RDS) del área de trabajo, partiendo de la digitalización de las hojas cartográficas a escala 1:10000 de la región de estudios.

Al MDE y la RDS se le aplican entonces un complejo de métodos morfométricos y geomorfológicos automatizados, con los cuales obtenemos un grupo de mapas temáticos, a estos posteriormente se les realiza una interpretación compleja obteniéndose los elementos necesarios para contribuir al enriquecimiento del estudio geológico, así como para un análisis estructural del área.

Para estos fines se emplean varios sistemas automatizados creados en nuestro departamento, así como otros softwares reconocidos en esta esfera como son el Telemap, TN Estudio, Autocad Map y Surfer.

Materiales y métodos.

Para llevar a cabo la tarea asignada primeramente se inició un estudio de toda la bibliografía existente en el departamento que nos ayudaría en la posterior realización del trabajo.

Seguidamente y teniendo en cuenta la existencia de hojas cartográficas a escala 1:10 000 y equidistancia entre curvas de nivel de hasta 1 metro en las zonas llanas, se procedió a la preparación de las mismas para la digitalización de todos los datos que intervienen en la confección del Modelo Digital de Elevación (MDE), para ello trazamos todas las corrientes superficiales que existen en el área (cañadas, ríos y corrientes intermitentes) con su correspondiente ordenamiento fluvial. Es necesario señalar la utilización del programa Cot_ríos desarrollado en el grupo, el cual le asigna las cotas a los ríos a partir de las curvas de nivel.

Todos los datos (red de drenaje, parteaguas, 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 Krigging 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 correspondencia con las curvas de nivel de las hojas topográficas.



Finalmente con los ríos y partidores interpolados y el resto de los datos digitalizados usted genera el MDE. Teniendo como base el MDE se puede entonces trabajar en la realización de varios mapas morfológicos y morfométricos como son:

Mapa hipsométrico del relieve, mapas de sombras del MDE, mapa de disección vertical del relieve, mapa de disección horizontal del relieve, mapa de pendientes, mapa de aspecto de la pendiente, etc.

También se puede realizar el análisis de componentes principales, obteniéndose un mapa falso color de las componentes principales, así como el mapa de la red de drenaje de cuyo análisis se obtienen a su vez nuevos mapas como los de isobasitas o los de polisobasitas.

También a partir del análisis del MDE y la RDS se puede llegar a conclusiones sobre las estructuras del área y confeccionar un esquema tectónico de la región.

Resultados y Discusión.

Análisis Morfológico y Morfométrico.

Del procesamiento del MDE resultaron los siguientes mapas:

Mapas morfológicos:

Mapa Hipsométrico del Relieve (Figura 1):

Este mapa facilita la apreciación del relieve destacando sus características más relevantes, esto se logra si coloreamos el mapa con una gama adecuada de colores, obtenida de un análisis según criterio estadístico, donde el carácter multimodal de la matriz de cotas generada indica vínculos entre el relieve, rasgos estructurales y litológicos, señalando que la historia del área está directamente asociada a ellos (Astrain et al, 1995a).

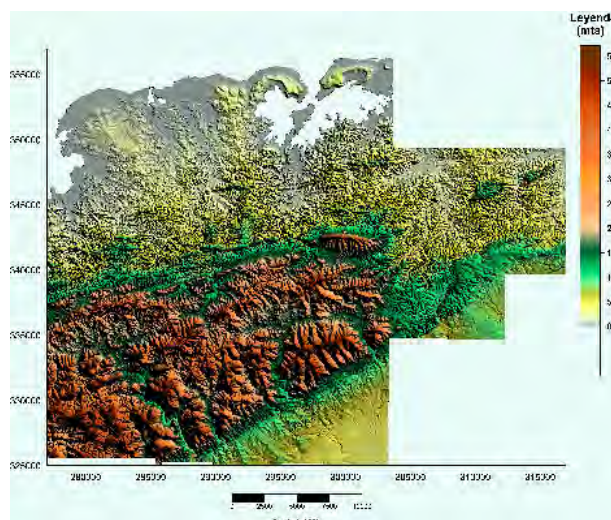


Figura 1. Mapa hipsométrico del relieve, sombreado.



Con este objetivo se estudió el comportamiento estadístico del MDE haciéndose un análisis de su histograma de distribución a través de un programa propio del grupo creado para este fin, lo que demostró su comportamiento logarítmico-normal multimodal, quedando de esta manera los siguientes umbrales significativos: 0,30, 60, 150, 300 m, estos sirvieron de base para el coloreado del mapa.

Los valores más bajos (0-30 metros), se corresponden con las terrazas marinas que se desarrollan al norte del área de trabajo y cerca de la costa.

Valores entre 30 y 60 metros: se corresponden mayormente con las llanuras costeras fluvio-marinas que se desarrollan en la zona norte del área, incluyendo los flancos de los ríos de mayor orden que desembocan en la costa norte.

Valores entre 60 y 150 metros: Corresponden a las llanuras onduladas fluvio-denudativas y a las alturas del noreste de Pinar del Río pertenecientes a las elevaciones septentrionales occidentales.

Valores entre 150 y 300 metros: Corresponden a las partes más bajas de las alturas y montañas de la Sierra del Rosario.

Valores mayores de 300 metros: Se corresponden con las zonas más altas del área de trabajo (Sierra del Rosario).

Mapas de sombras del MDE (Figura 2):

La sombra constituye un elemento importante para resaltar los rasgos del relieve. Mediante el efecto del sombreado se logran visualizar los diferentes complejos litológicos a través de sus texturas características además de su marcado carácter estructural, al darnos una mejor visión del relieve, sin pasar por alto los efectos de deformación que provoca, pues los límites estructurales por supuesto no quedan bien definidos espacialmente, por lo que aplicamos el análisis en conjunto por varias direcciones que permite atenuar estos desplazamientos (Astrain et al, 1995b)..

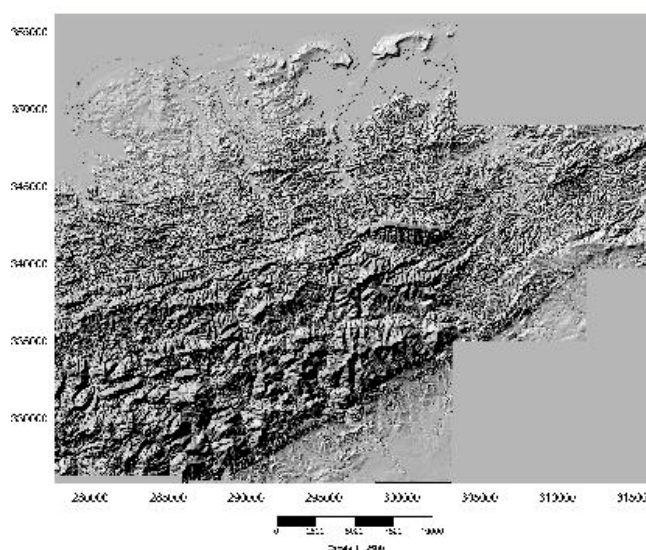


Figura 2. Modelo Digital de Elevación sombreado a 45° por el oeste.



Mapa de la Red de Drenaje Superficial (Figura 3):

De todos los factores que pueden conducir al esclarecimiento de las características geológicas de una región, el drenaje es uno de los de mayor importancia. De su análisis podemos aclarar litología, estructuras y líneas de debilidad tectónica. En el área existe un buen desarrollo de corrientes fluviales, las cuales se organizan desde órdenes inferiores hasta ir ocupando órdenes superiores, incluso hasta ríos de orden 7.

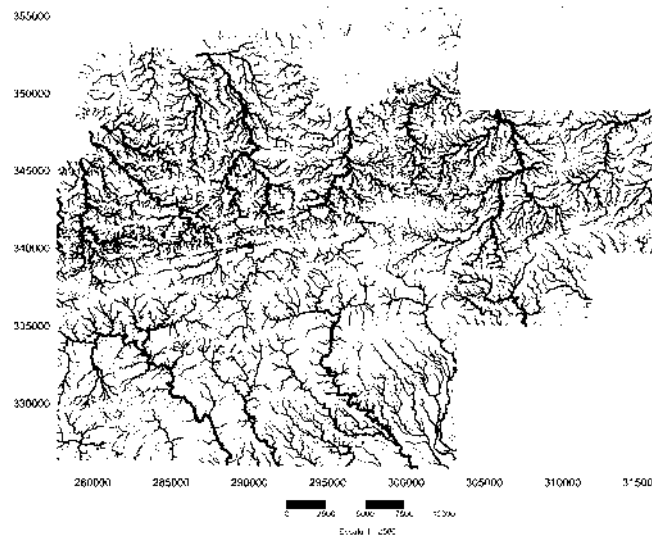


Figura 3. Mapa de la Red de Drenaje Superficial.

La red de drenaje fue de gran utilidad en el análisis estructural del área, de ella se obtuvieron un buen número de estructuras, las que fueron incorporadas al mapa de estructuras, también nos fue muy útil en la delimitación de algunas estructuras circulares que se observan en la zona.

Mapas Morfométricos:

Para este análisis se calcularon los parámetros de disección así como el procesamiento del MDE con el programa Morf_grd con un paso y cuadrícula determinado. Para nuestro caso se tomó una resolución de 100 metros para el paso y 400 metros para la cuadrícula, de modo que con esta matriz de influencia se hace un barrido de toda el área, ubicando los valores calculados en el centro de las mismas.

Mapa de Disección Vertical del Relieve (Figura 4).

Resulta de la diferencia entre el nivel del río y el de los interfluvios que lo bordean (Oscilación del Relieve). A partir del MDT y con el programa Morf_grd se genera un modelo por diferencia entre la cota máxima y la cota mínima existente en la cuadrícula elegida. La existencia de valores altos de disección vertical señala eventos tectónicos de mayor o menor envergadura, incluso de neotectónica (encajonamiento de la red fluvial y formación de cañones).

Generalmente su tendencia coincide con la tendencia general del relieve. El significado tectónico de su interpretación hace evidente zonas de interés y el procedimiento de la matriz de



sus datos permite sacar conclusiones de valor Ingeniero-Geológico. En este mapa los tonos claros equivalen a los mayores valores de disección vertical y por consiguiente los tonos oscuros a los menores valores del parámetro.

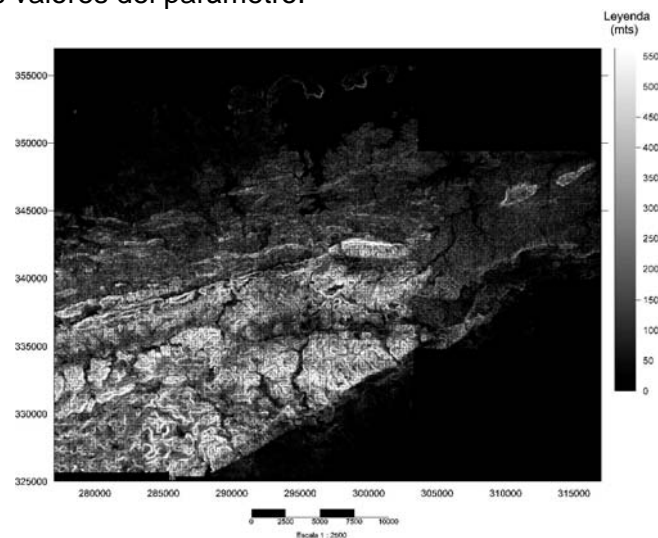


Figura 4. Mapa de Disección Vertical del relieve.

Mapa de Disección Horizontal del Relieve (Figura 5).

La longitud total de las corrientes fluviales dentro de un área, dividida entre el área es lo que conocemos como densidad total o Disección Horizontal del relieve, en nuestro caso utilizamos un radio de influencia (área) de 150 metros a través de un programa preparado con este fin, que además nos permite obtener las densidades; cantidad y longitud media de los ríos por órdenes a partir de los datos obtenidos por la digitalización de los mapas. Parámetros útiles para el análisis estructural, geodinámico y litológico; apreciándose diferencias sustanciales para distintas zonas de drenaje, permeabilidad, etc.

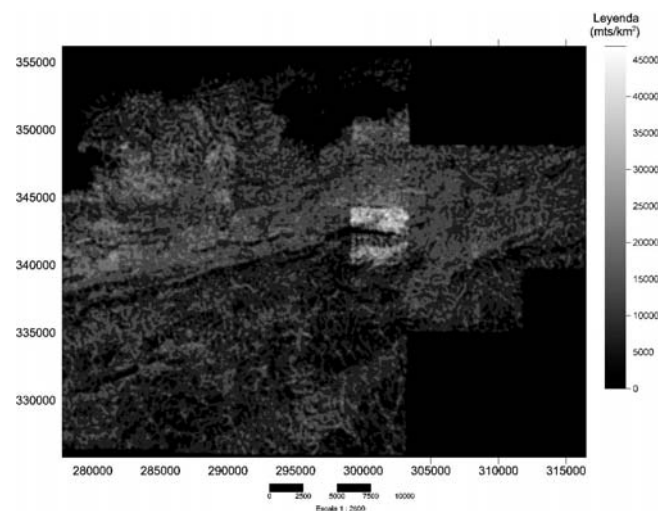


Figura 5. Mapa de Disección Horizontal del relieve.

En el análisis de este mapa se observan distintas zonas de drenaje. Los tonos claros corresponden a los valores altos y consecuentemente, los oscuros a los valores bajos.



Análisis de Componentes Principales (Figura 6).

Con la intención de reducir la información redundante de los mapas de disección vertical, pendiente de la disección vertical, desviación estándar de la disección vertical, coeficiente de variación de la disección vertical, cotas mínimas, cotas medias y cotas máximas; que resultan perfectamente correlacionables, se decidió hacer un análisis por componentes principales.

Para ello se empleó el sistema Image del módulo Telemap y para corroborar estos resultados también realizamos el proceso con el sistema TN Estudio para el procesamiento de imágenes, utilizando en ambos casos como bandas las imágenes correspondientes a los mapas mencionados en el párrafo anterior. El resultado de los cálculos se muestra en la tabla siguiente; destacándose en negrita las bandas predominantes en el componente resultante así como el porcentaje total de todas las bandas por las que el mismo está compuesto.

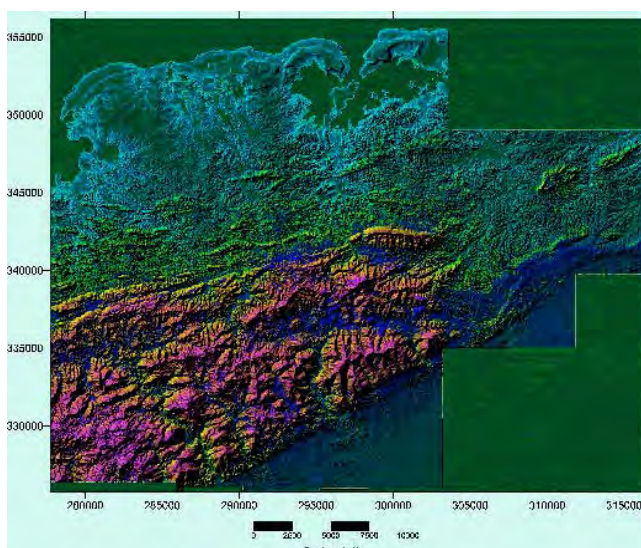


Figura 6. Mapa falso color de componentes principales

Bandas Utilizadas:

- 1- Disección Vertical (DV).
- 2- Pendiente de la Disección (PD).
- 3- Desviación Estándar (DE).
- 4- Coeficiente de Variación (CV).
- 5- Cotas Máximas (MAX).
- 6- Cotas Medias (MED).
- 7- Cotas Mínimas (MIN).

Componente	DV	PDV	DE	CV	MAX	MED	MIN	Porciento
1	0.372	0.425	0.402	-0.021	0.426	0.416	0.406	79.339
2	0.313	0.359	0.348	0.588	-0.286	-0.320	-0.349	12.97
3	-0.132	-0.411	-0.139	0.790	0.226	0.237	0.249	5.312
4	0.479	-0.722	0.465	-0.170	-0.020	-0.046	-0.080	2.109
5	-0.715	-0.025	0.694	-0.011	-0.062	0.007	0.051	0.227
6	0.089	0.002	-0.015	0.007	-0.825	0.405	0.384	0.034



7 -0.045 0.003 -0.001 -0.002 0.016 **0.708** -0.704 0.009

Obteniéndose finalmente la imagen falso color de componentes principales según lo tradicional (RGB): primer, segundo y tercer componente para los canales rojo, verde y azul respectivamente con un nivel de significación de 97,621 porciento.

Las tonalidades que presenta este mapa pudieran ayudar a una profundización del conocimiento litológico e ingeniero-geológico del territorio y estamos convencidos de que reflejan variaciones en el comportamiento de sus rocas.

Análisis de algunos mapas obtenidos a partir de la digitalización de la Red Fluvial.

Mapas de Isobasitas.

A partir de los datos obtenidos por la digitalización de las corrientes fluviales superficiales, se generó un modelo para cada uno de los órdenes fluviales presentes en el área, quedando un modelo polibásico característico para cada nivel. A la hora de analizar estos mapas tendremos en cuenta que ellos representan superficies con igual nivel de erosión; lo que nos permite realizar un análisis de la evolución del relieve y de los diferentes movimientos tectónicos que han influenciado en el desarrollado del mismo.

Análisis Estructural.

Pretendemos hacer un estudio de modo que podamos presentar un esquema que permita valorar de una forma sencilla y rápida el cuadro estructural de la zona de estudio, para ello nos propusimos hacer un análisis minucioso por separado de algunos criterios que pudieran aportar información de interés en el tema tratado y finalmente llegar al esquema estructural que refleje las principales estructuras dadas por la coincidencia de las mismas. Con este fin se procedió a la detección de estructuras disyuntivas por niveles partiendo del procesamiento del Modelo Digital del Relieve como herramienta primordial de trabajo.

Determinación de estructuras Disyuntivas.

Para este fin quisimos aunar el resultado de una serie de procesos realizados, entre los que se encuentran, las imágenes siguientes:

Fallas Verticales: El software SURFER permite hacer este tipo de procesamiento al tener opciones para los cálculos de "Terrain Modeling", de esta forma buscamos un método que permita destacar los cambios en la concavidad del terreno y su posterior procesamiento, el cual resultó demasiado detallado, por lo que implementamos una metodología que suavice este efecto sin perder la tendencia del relieve (es decir, sin contemplar los cambios minuciosos de concavidad, que lejos de ayudarnos pudiesen constituir "ruidos" por el interés regional que perseguimos), donde por supuesto aquellos puntos de inflexión provocados por dichos cambios son los de mayor interés nuestro.

Se promedió el Modelo Digital de Elevación con radio de influencia de 400 metros, obteniéndose un Modelo Digital Residual que resulta de la diferencia del M.D.E con el M.D.E promediado, de este modo y con los procesos posteriores de threshold, detección de bordes y multiplicación por la pendiente del residuo, se obtuvo una imagen a la cual llamamos evidencia #1, la cual fue explorada en frecuencia para obtener las 12 direcciones principales de los puntos de inflexión, la superposición de máximos de ellas da como resultado el cuadro general de agrietamiento para la metodología explicada. Esta imagen fue debidamente promediada y



reescalada con el objetivo de realizar su exploración, esqueletización y vectorización de las estructuras por niveles en correspondencia con la imagen en cuestión. Este proceso se repitió dos veces más, utilizando otros parámetros. En la siguiente tabla se muestran los parámetros utilizados en la preparación de estas imágenes.

Estructuras (Niveles)	Píxel (Metros)	Radio (Metros)
E1	80	400
E2	60	200
E3	40	80

Modelo Digital del Relieve: A partir de él obtuvimos la Pendiente Máxima que resulta de un barrido total del M.D.E con una matriz de 3 x 3, ubicando en el centro el cálculo de la pendiente máxima de los ocho vecinos. Esta imagen fue explorada direccionalmente en frecuencia y se obtuvo un cuadro general de agrietamiento graduado de negro a blanco (vinculando el tono con la importancia de la fracturación). Utilizando al igual que el caso anterior la metodología descrita.

Además se tuvo en cuenta las evidencias de estructuras según el análisis de la red de drenaje, las sombras del Modelo Digital de Elevación y los mapas de Disección. Con todos estos criterios construimos el Esquema Tectónico del área (Figura 7), basados en el principio de superposición de las estructuras y su coincidencia espacial por dichos métodos, por supuesto, siempre teniendo en cuenta las características particulares de cada uno de ellos, como por ejemplo, la profundidad de estudio que abarcan, así como el nivel de prioridad escogido.

Como reflejo de aspectos ya analizados en el mapa geomorfológico, nos podemos referir a varios momentos tectónicos en el territorio.

Entre las estructuras de primer nivel que pueden estar relacionadas con diferentes momentos tectónicos, nos encontramos un grupo de fallas ubicadas principalmente en la parte central del área de estudio, que son las que prácticamente dividen la región en dos grandes zonas, una al norte de cotas bajas y relieve bastante tranquilo y otra del centro hacia el sur, de cotas altas y relieve complejo, predominando en ellas la dirección sudoeste-noreste, además encontramos varias fallas de este tipo hacia el sudoeste de la región. Todas ellas podrían estar relacionadas con los movimientos más antiguos. Las estructuras de segundo nivel, sin embargo, están mejor distribuidas en toda el área y tienen menor longitud que las primeras.

Coincidiendo perfectamente con la teoría, en cuanto al reflejo de los fenómenos tectónicos en rocas de mayor plasticidad (es mucho menor que para rocas carbonatadas o terrígeno-carbonatadas, las cuales son más frágiles). Tenemos que hacia el este, en el entorno de la formación Capdevila, las estructuras sufren una gran atenuación debido a esta causa.

Aunque muy difícil de valorar, se manifiesta en nuestro estudio una validación de las principales direcciones cubanas de los esfuerzos, planteadas por otros autores en sus investigaciones; secundadas por otras de predominio sudoeste-noreste, las cuales han creado todo un complejo campo de estructuras de menor nivel, a la cual no se escapa en su conjunto macrozona alguna.

La importancia de nuestro mapa radica en poder brindar con un mayor nivel numérico estas estructuras de diferentes órdenes, para los posteriores análisis tanto de ubicación de objetos como de influencia de estas en los ya ubicados, lograr estudiar la interrelación entre estos y sus posibles consecuencias en el medio físico.

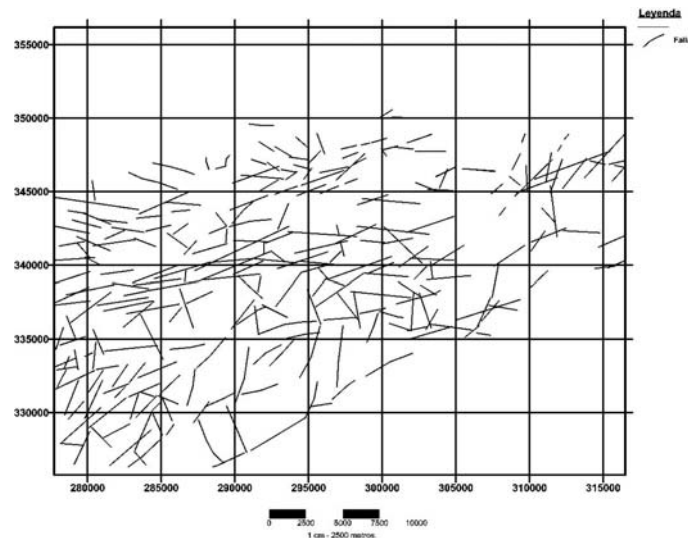


Figura 7. Esquema tectónico del área de investigación.

Conclusiones.

- El área se encuentra dividida en dos grandes estructuras regionales, Bloque Norte y Bloque Sur.
- De forma general existe una evidencia de movimientos neotectónicos en el área.
- Existe un drenaje central, definido por el parte agua de dirección sudoeste-noreste, ubicado hacia el centro del área, organizando la escorrentía hacia el norte y el sur de la región.
- Existe una estrecha relación entre litología y drenaje, observándose redes dendríticas y radiales en formaciones terrígenas como Capdevila y terrígeno – carbonatadas como Universidad y Guanajay. Mientras que en formaciones cársticas como Cojímar y Jaruco vemos un menor desarrollo de la red con tendencia a la infiltración.
- Desde el punto de vista estratigráfico, en el área se presentan varias formaciones cuyas edades oscilan entre el Jurásico y el Cuaternario con una variabilidad litológica caracterizadas por complejos terrígenos, terrígenos carbonatados y carbonatados, cuyos contactos en superficie se desarrollan en la dirección de los esfuerzos principales suroeste – noreste.
- El procesamiento del Modelo Digital de Elevación permitió definir un conjunto de alineaciones y estructuras disyuntivas, corroborándose estructuras dadas por otras investigaciones y permitiéndonos delimitar otras nuevas, siendo las direcciones fundamentales suroeste-noreste y sureste-noroeste.
- La utilización del Modelo Digital del Relieve para la investigación realizada, permite un consumo mínimo de tiempo y recursos, así como la posibilidad de poder contar con la información digital para futuros trabajos.

Bibliografía.

- Astraín, P., y C. Guilarte (1995a): "Análisis Estructural por métodos complejos de Teledetección y Geomorfológicos" [inédito]. Unión de Construcciones Militares. FAR. X Forum de Ciencia y Técnica.
- Astraín, P., y C. Guilarte (1995b): "Curso de Cartografía Geológica Automatizada" [inédito]. Maestría de Geofísica Aplicada. Departamento de Geofísica. Facultad de Ingeniería Civil. ISPJAE.