

# Modelo Digital del Terreno (MDT) y uso del criterio geomorfológico para la búsqueda de yacimientos minerales

## Digital Terrain Model and the Use of Geomorphological Criteria in the Mineral Exploration

Guillermo Casarreal Valdés<sup>1</sup>  
Orestes Díaz Valdés<sup>2</sup>  
Wilman M. Oliva Márquez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Profesor Auxiliar del Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río  
<sup>2</sup>Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río.

**RESUMEN:** Los Modelos Digitales del Terreno (MDT), también llamados Modelos de Elevación Digital han adquirido una gran popularidad e importancia en los últimos años al utilizarse conjuntamente con otros datos dentro de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en diferentes campos del saber humano y, entre ellos, la Geología. Existen diferentes vías o métodos para la elaboración u obtención de los MDT. En el presente trabajo se expone la metodología utilizada para la creación del MDT de un área de 35 km<sup>2</sup> en una zona del Noroeste de la provincia de Pinar del Río, así como su procesamiento para la definición, o delimitación, de las zonas favorables para localizar yacimientos de minerales metálicos según criterios geomorfológicos conocidos y establecidos para esa región de Cuba.

**Palabras claves:** Modelo Digital del Terreno, Sistemas de Información Geográfica, búsqueda de yacimientos.

**ABSTRACT:** The Digital Terrain Models or Digital Elevation Models (DEM), have acquired a great popularity and importance in the last years upon their utilization with other data within the Geographical Information Systems in several fields of the human knowledge including Geology. There are several ways or methods for the elaboration of DEM. In this work is exposed a methodology utilized for the creation of the DEM in an area of 35 km<sup>2</sup> in the northwest zones of Pinar del Río province, as well as the processing for the definition of favorable zones in the location of metallic mineral deposits according to well-known and established geomorphological criterias for that region of Cuba.

**Key Words:** Digital Terrain Models, Geographical Information Systems, mineral prospecting.

### INTRODUCCIÓN.

En la actualidad se utilizan diferentes técnicas para la creación de los Modelos Digitales del Terreno (Gutierrez, 1994; Moldes, 1995; Nixon, 1995; Swan, 1986). Las más utilizadas son:

1. Procesamiento de los datos del Radar de Apertura Sintética (SAR).
2. Técnicas de autocorrelación con fotos aéreas o imágenes de satélite.
3. Los mapas o cartas topográficas existentes en el área de estudio.
4. Levantamiento topográfico del área con su posterior procesamiento.

Las técnicas 1 y 2 son precisas, pero son caras y de difícil acceso para muchos investigadores e instituciones. La número 4 tiene la gran desventaja de que requiere de un gran tiempo de trabajo para poder recolectar la información necesaria para la elaboración del modelo.

La 3, es accesible y económica, tanto en el sentido del tiempo como en el de los recursos, siempre que se disponga de la base cartográfica y de varios sistemas computarizados con una configuración o equipamiento mínimo.

A lo anterior debe agregarse que es muy importante considerar los errores que pueden cometerse tanto en el proceso de captura de los datos del mapa original como en los procedimientos de cómputo necesarios para la creación del MDT (Agumya, 1997; Nixon, 1995; Swan, 1986).

El objetivo de nuestro trabajo es precisamente proponer una metodología para la obtención de un MDT y su posterior procesamiento para la definición de un criterio geomorfológico que pueda ser utilizado por un Sistema de Información Geográfica (SIG) o un sistema experto en la búsqueda de yacimientos minerales.

### METODOLOGÍA PARA LA CREACIÓN DEL MDT

A partir del mapa topográfico a escala 1:25 000 (edición de 1991) de un sector del Noroeste de Pinar del Río, y mediante un scanner, se obtuvo una imagen de alta resolución de un área de 35 km<sup>2</sup> (7 X 5) de la carta topográfica.

Esa imagen fue procesada con el módulo **IMAGE** del Sistema **TELEMAP**, para mejorar el contraste y el brillo y obtener la nitidez necesaria para el trabajo de digitalización o vectorización.

Por medio del módulo Vect del propio sistema se procedió a la digitalización de las curvas de nivel. En este proceso se garantizó un mínimo de 12 puntos por centímetro en las isóneas del mapa base y además con una mayor densificación en las inflexiones, tal y como se aconseja en la literatura especializada (Gutierrez y Gould, 1994; Moldes, 1995; Nixon, 1995; Pattillo, 1995).

Como resultado de este proceso se obtuvo un fichero ASCII de trios de valores XYZ con un total de 13097 puntos, que llamamos puntos base.

Seguidamente se procedió a la obtención de la red regular o GRID con un espaciamiento o tamaño de celda de 25 m. En este proceso se utilizaron diferentes técnicas: Inverso de la distancia con búsqueda radial, promedios móviles, círculos de confianza, Kriging y una combinación de varios métodos asignándole pesos a cada uno.

Se escogió como modelo final el de menor error de ajuste, es decir, se seleccionó el método que diera una menor media de los residuos (diferencia entre el valor de Z en un punto base y el valor de Z en el modelo para ese mismo punto). En la figura 1 se muestra el gráfico de regresión entre los valores observados (base) y los calculados (modelo).

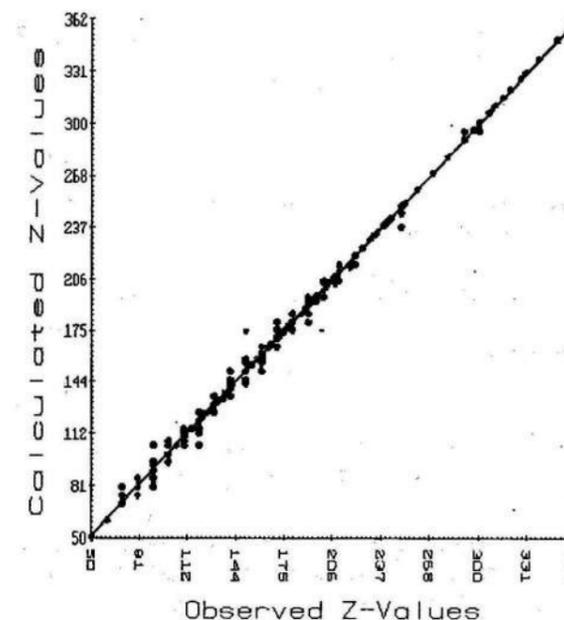


FIGURA 1. Análisis del error de ajuste del modelo

Sumario estadístico:

No. de puntos	13097
Covarianza	2196.68
Coef. de correlación	0.99
Media de residuos	0.007
ERROR	1.0275 m

Como puede observarse en la Figura 1, el error de ajuste del modelo ( $E_a = 1,0275$  m) es permisible si consideramos que el error para el mapa topográfico a escala 1:25 000 es de 5 m.

Es importante señalar que no debe considerarse este error de ajuste como una medida total de la precisión en la creación del MDT ya que hay un proceso de digitalización, que como toda actividad de medición o captura de datos, evidentemente implica un error (Davis, 1973). A este error lo llamamos error de captura de datos ( $E_c$ ).

Para valorar la magnitud de ese error se hace necesario tomar un número determinado de puntos y calcular el error medio cuadrático de la diferencia entre el modelo y el mapa original:

$$E_c = 1/N \sum (Z_{mi} - Z_{ci})^2$$

Se tomaron 250 puntos en este procedimiento y se obtuvo un error de 0,92 m, tal y como se puede observar en la figura 2.

Podemos plantear entonces que el error de nuestro modelo es la suma de los dos errores analizados anteriormente

$$E = E_a + E_c = \pm 1,95 \text{ m}$$

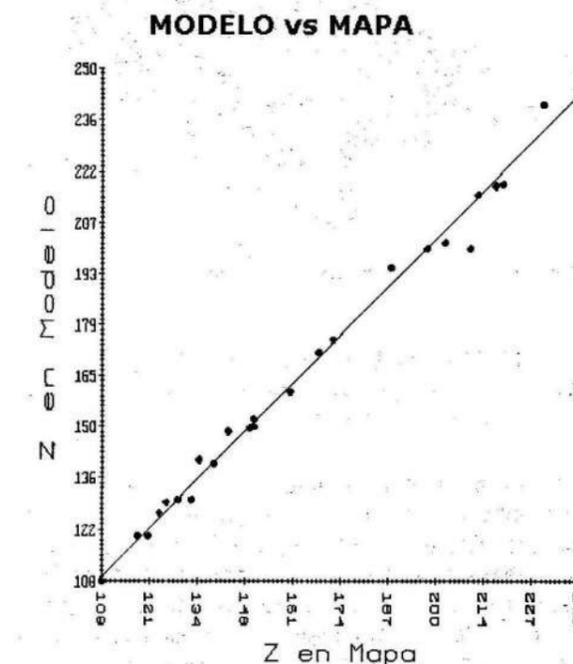


FIGURA 2. Análisis del error de captura de datos.

Sumario estadístico:

No. de puntos	250
Covarianza	1631.6
Coef. de correlación	0.995
ERROR	0.92 m

El modelo elaborado se presenta en la Figura 3 con un efecto de sombreado y en la Figura 4 se puede observar una vista 3D del mismo desde el suroeste con una elevación de 45°.

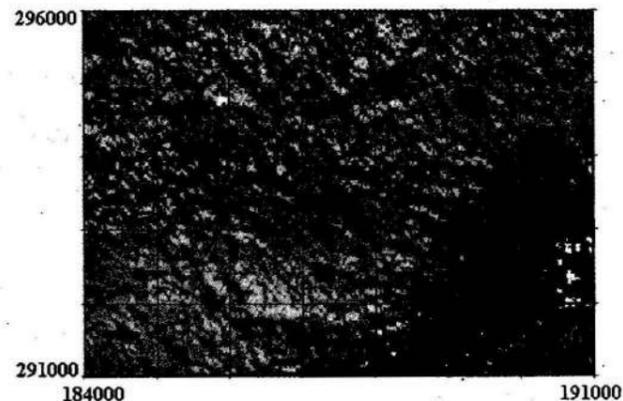


FIGURA 3. Modelo digital del terreno del área de estudio con iluminación desde el NE. (Ancho de cuadrícula: 1 Km).

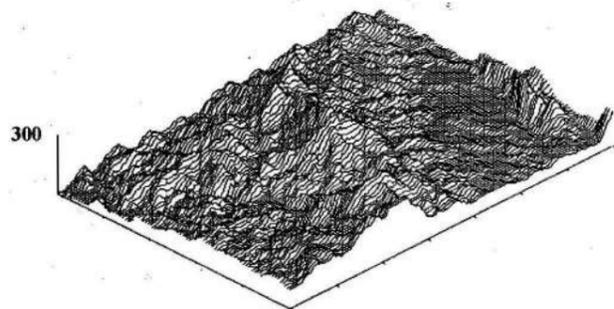


FIGURA 4. Vista 3D del modelo desde el SW con una elevación de 45°.

#### UTILIZACIÓN DEL MODELO PARA LA BÚSQUEDA DE YACIMIENTOS MINERALES

Varios autores han planteado la existencia de una relación entre la ubicación de los yacimientos y manifestaciones minerales y la topografía del terreno en toda la provincia metalogénica del noroeste de Pinar del Río (Fernández de Lara, 1993). Esta relación radica en el hecho de que las acumulaciones minerales conocidas hasta la fecha se localizan en formas positivas del relieve, bien en la cima de colinas o en las partes superiores de las laderas. Esto es explicable desde el punto de vista geológico si consideramos que las alteraciones relacionadas con la mineralización hacen a las rocas más resistentes a la acción de los agentes erosivos.

Lo planteado anteriormente nos da elementos para considerar a la geomorfología como un índice más para la búsqueda de yacimientos minerales en la mencionada zona, en el contexto de la interpretación compleja de datos geológico-geofísicos que se realiza por

varias instituciones de nuestro país, y también en otros países. Sobre todo cuando se utilizan las tecnologías de los Sistemas de Información Geográfica (Casarreal y otros, 1996; Fernández de Lara, 1993; Truebe, 1994).

El modelo creado fue procesado con el Sistema IDRISI, con el cual se le realizaron varias transformaciones (Eastman, 1992).

Primeramente se hizo el análisis de la tendencia del relieve y se separaron las formas positivas de esto, es decir, las elevaciones. Seguidamente se confeccionó el mapa de pendientes, el cual se clasificó para obtener uno entre 15 y 60°. Ambos mapas se superpusieron y después se estableció una zona de influencia o buffer de 200 m, obteniéndose el mapa de la Figura 5, el cual contiene las áreas favorables para la localización de yacimientos desde el punto de vista geomorfológico.

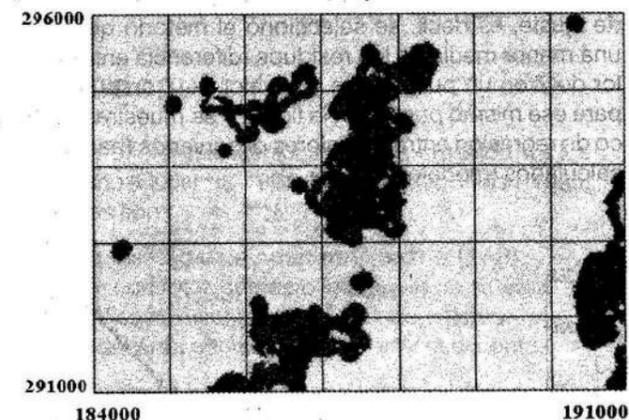


FIGURA 5. Zonas favorables. Los pequeños círculos negros representan dos yacimientos conocidos del área de estudio.

Es interesante señalar que dos yacimientos conocidos de ese sector se encuentran en las llamadas zonas favorables.

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Si se dispone de los sistemas mencionados, es posible confeccionar un modelo digital del terreno a partir de la carta topográfica. Es importante considerar en este proceso tanto el error de ajuste del modelo como el de captura de datos.

A partir del MDT se pueden confeccionar los mapas derivados necesarios para elaborar un nuevo mapa que delimite las zonas que cumplan ciertas y determinadas condiciones, favorables para la localización de algunos tipos de yacimientos minerales. Este mapa resultante puede integrarse posteriormente en una evaluación multicriterio para la búsqueda de esos yacimientos.

Se recomienda utilizar esta metodología para otras provincias o zonas minerales de nuestro país y valorar su efectividad.

#### BIBLIOGRAFÍA

- AGUMYA, A., G. HUNTER: "Determining fitness for use of geographic information", en *ITC Journal*, The Netherlands, 1997, pp 109-113.
- CASARREAL, G., O. DÍAZ, R. FERNÁNDEZ DE LARA: "Superposición de mapas con modificación de atributos, una técnica de procesamiento e interpretación de datos geológico-geofísicos", en *Resúmenes*, I Simposio de la Minería "Matahambre'96", Pinar del Río y *Resúmenes*, III Simposio de Geofísica, La Habana, Cuba, 1996.
- DAVIS, J. C.: "Statistics and data analysis in geology", John Wiley & Sons, New York, 1973.
- EASTMAN, J. R.: "IDRISI - User's guide", Clark University Press, Massachusetts, 1992.
- FERNÁNDEZ DE LARA, R.: "Confección del mapa pronóstico para mineralización sulfurosa asistido por métodos matemáticos en la región del Distrito Metalogénico Dora-Francisco, Pinar del Río", Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Geológicas, CUJAE, Ciudad de La Habana, 1993.
- GUTIERREZ, J., M. GOULD: *SIG: Sistemas de Información Geográfica*, Editorial Síntesis, Madrid, 1994, 251 pp.
- MOLDES, F. J.: "Tecnología de los Sistemas de Información Geográfica", Editorial Ra-ma, Madrid, 1995, 190 pp.
- NIXON, S.: "Digital Elevation Models", en *Applications of ER-Mapper*, Earth Resource Mapping, Perth, Australia, 1995.
- PATILLO, C.: *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica. Guía de Estudio*, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 1995.
- SWAN, R. MAC DONALD: "The automated Extracción of Digital Terrain Models", en *XX International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Nairobi, 1986.
- Telemap. Manual de Usuarios*. GEOCUBA, La Habana, 1994.
- TRUEBE, H.: "Managing Mineral Exploration on a Personal Computer", en *Engineering and Mining Journal*, Vol. 195, no. 7, July 1994. USA., pp. 18-23.

### INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA Nuevas defensas de doctorado

CURSO 1999-2000

*Estudio de la influencia en el medio ambiente del sistema de generación de la Empresa del Níquel "Comandante Ernesto Che Guevara" de Moa y el sistema de transmisión eléctrico adyacente*

M. Sc. ING. *Gilberto Hurtado Freyre*

PROFESOR INSTRUCTOR DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

La magnitud de los impactos ambientales que provocan el Sistema de Generación de la Empresa del Níquel "Comandante Ernesto Che Guevara" de Moa y el Sistema de Trasmisión eléctrico adyacente, representa uno de los problemas ambientales que influyen en la decadencia de la calidad ambiental de la región de Moa. En la investigación se determina la magnitud de estos impactos ambientales, lo que permite establecer alternativas de mitigación dimensionadas en Planes de Manejo Ambiental en territorial, empresas y casos específicos. En el trabajo se utiliza —en la fase inicial— un conjunto de métodos que responden a los procesos de identificación y caracterización de los impactos ambientales, y determinan las interacciones que se producen entre las acciones y actividades que los provocan y los factores ambientales que los reciben. Para el proceso de evaluación, la selección de los métodos de trabajo estuvo en función de tres niveles de análisis:



*infrafase, interfase y transfase*, obteniéndose como resultado la valoración de la influencia ambiental de los sistemas de generación y trasmisión eléctricos, lo que posibilita evaluar las consecuencias ambientales de las acciones que ejerce en el sistema socioeconómico y natural, la detección y valoración de los principales problemas y el respectivo análisis comparativo, acorde con el estado del conocimiento actual y las condiciones del contexto tratado.

A partir de los resultados obtenidos, se establecieron los lineamientos para el manejo ambiental, así como un conjunto de medidas que minimizan los efectos evaluados y se diseñaron Planes de Manejo Ambiental en territorios, empresas y casos específicos, en función de la magnitud en que estos afectan a los componentes del medio ambiente y del grado de responsabilidad de las entidades implicadas dentro del territorio de Moa.