

# Morfoalineamientos en la zona costera entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa

**Leomaris Domínguez González**<sup>1</sup> / [leomargeo@yahoo.es](mailto:leomargeo@yahoo.es)

**Alina Rodríguez Infante**<sup>1</sup> / [rinfante@ismm.edu.cu](mailto:rinfante@ismm.edu.cu)

**Florian Wobbe**<sup>2</sup> / [wobbe@geo.tu-freiberg.de](mailto:wobbe@geo.tu-freiberg.de)

**Klaus Peter Stanek**<sup>2</sup> / [stanek@geo.tu-freiberg.de](mailto:stanek@geo.tu-freiberg.de)

**Richard Gloaguen**<sup>2</sup> / [gloaguen@geo.tu-freiberg.de](mailto:gloaguen@geo.tu-freiberg.de)

## RESUMEN

La zona costera de Yamanigüey-Baracoa se caracteriza por una alta complejidad geólogo-tectónica que se refleja en la activa sismicidad, en los rasgos geomorfológicos y en los movimientos neotectónicos recientes. La presente investigación está basada en la aplicación de métodos geomorfológicos y fotointerpretación, que incluye el análisis de perfiles y del Modelo Digital de Elevaciones generado a partir de mapas topográficos. El mapeo y las comprobaciones de campo se realizaron sobre la base de mapas topográficos y datos de satélites de alta resolución para un mejor conocimiento de las variaciones morfológicas. La morfología, la red de drenaje y la topografía revelan importantes detalles de las estructuras existentes, así como índices de los movimientos tectónicos recientes. Se realizaron análisis cuantitativos del sistema de drenaje, la topografía y los perfiles del río. Se identificaron y cartografiaron cuatro sistemas de morfoalineamientos, los cuales presentan las direcciones fundamentales NE-SW, NNW-SSE, N-S y E-W. Estos sistemas se asocian a tres periodos de la evolución geotectónica del Bloque Oriental cubano. Los rasgos geomorfológicos y del comportamiento de la red de drenaje indican movimientos oscilantes diferenciados, con predominio general al levantamiento. Esta zona se ha visto marcada por el desarrollo de peniplanos, terrazas marinas y la existencia de depósitos cuaternarios en posición anómala, lo que atestigua la ocurrencia de movimientos geotectónicos.

## PALABRAS CLAVE

Alineamientos, modelo digital de elevaciones, métodos morfométricos.

---

Recibido: junio 2007 / Aceptado: julio 2007

<sup>1</sup> Instituto Superior Minero Metalúrgico. Las Coloradas s/n, Moa, Cuba.

<sup>2</sup> Institut für Geologie, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Alemania.

# Morphological alignments in the coast zone between Yamanigüey town and Baracoa city

## ABSTRACT

The Baracoa- Yamanigüey coastline zone is characterized by high geologic and tectonic complexity. Active seismicity is reflected by the still on-going deformation on this part of Cuba as witnessed by recent neotectonic movements and geomorphologic features. The present work is based on the application of geomorphologic methods and photo interpretation, that includes profiles and Digital Elevation Model analysis based on topographic maps. The mapping and testing field works has been carried out using topographic maps and high-resolution orthorectified satellites data in order to understand the major variations in morphology. Morphological analysis, drainage network and topography, reveals important details of the landscape structures as well as the recent tectonic movements. The quantitative analysis of the drainage system, topographic and river profiles was also carried out. We identified and characterized four morphological lineaments systems in this zone. The principal directions of the lineaments systems are NE-SW, NNW-SE, N-S y E-W. These systems are related with tectonic structures generated by geotectonical evolution of the Eastern part of Cuba (Orient block). The geomorphologic features and pattern drainage indicate the oscillating uplift of the Baracoa- Yamanigüey coastal zone. This zone is marked by the development of peneplains, coral reef terraces and anomalous position of the fluvial deposits. This analysis shows the recent neotectonic movements in the Baracoa-Yamanigüey coastal zone.

## KEY WORDS

Alignments, Digital Elevation Model, Morphometric methods .

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en la parte noreste y norte de las provincias Holguín y Guantánamo respectivamente, caracterizada por la alta complejidad geólogo-tectónica, se encuentran en proyección o ejecución importantes obras para el desarrollo regional, por lo que se hace necesario profundizar en el conocimiento tectónico de la zona y determinar las estructuras activas que condicionen la generación de riesgos de génesis geológica. Geográficamente el área de investigación corresponde al sector entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa como se muestra en la figura 1.

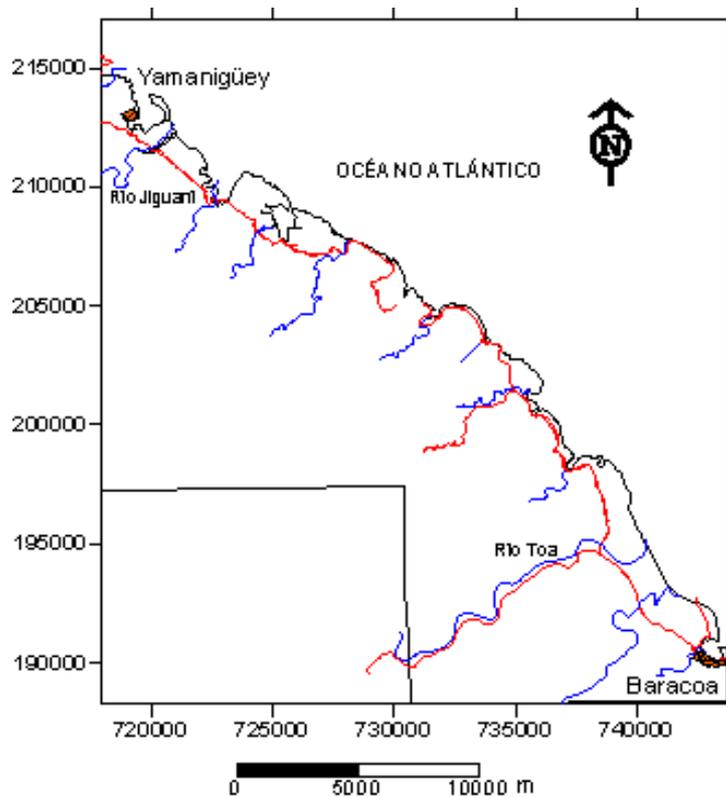


Figura 1. Mapa de ubicación.

Geológicamente el área corresponde a la parte noreste del Bloque Oriental cubano, caracterizado por una alta complejidad que en la actualidad se pone de manifiesto a través de la actividad sísmica. En el sector afloran principalmente las rocas de la antigua corteza oceánica emplazadas a través de un complejo proceso de acreción durante el periodo Cretácico-

Paleógeno, al cual se han superpuesto eventos más jóvenes. También afloran las rocas del arco volcánico Cretácico y del arco del Paleógeno, de las cuencas sedimentarias postvolcánicas y transportadas (piggy back) de edad Campaniano Superior al Eoceno Superior y las rocas sedimentarias pertenecientes al Neoautóctono (Iturralde-Vinent, 1998).

El relieve del noreste oriental en general es también reflejo de la alta complejidad estructural existente. En esta zona se ponen de manifiesto muchas morfoestructuras heredadas de los procesos geodinámicos que se iniciaron a fines del Mesozoico y se extendieron hasta el Paleógeno y que a pesar de la vigorosa reestructuración neotectónica aún se reflejan en el mismo.

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

En la elección de los métodos de trabajo se partió del hecho de que las estructuras geológicas a través de las cuales ocurren los principales movimientos neotectónicos y en particular los movimientos sísmicos se ven reflejados en el relieve. El conjunto de métodos aplicados comprende la utilización simultánea de los métodos morfométricos, fotointerpretación geomorfológica, procesamiento digital de imágenes y la generación del Modelo Digital del Elevaciones (MDE), así como el uso de la información de los trabajos precedentes realizados en la región.

Para la generación del MDE se utilizaron las cartas topográficas (1:25 000). Estas fueron georeferenciadas y rectificadas para la digitalización de tipo vectorial manual de las isolíneas y con ello, la generación del *grid* (rejilla regular de puntos o nodos) (Ver Golden Software® Help). Se utilizó además el MDE generado a partir de STRM data.

Los trabajos morfométricos consistieron en la obtención de forma manual y automática de los mapas de Red Fluvial, Isobasitas de Segundo y Tercer orden, Disección Vertical y Pendientes (en grados), a partir del uso de mapas

topográficos a escala 1:25 000 y del procesamiento del MDE. Por su parte los trabajos de fotointerpretación geomorfológica se basaron en la utilización de fotografías aéreas a escala aproximada 1: 36 000 del proyecto K-10 de 1972, así como para el procesamiento digital se utilizaron imágenes de satélites ortorectificadas (ASTER y LANDSAT TM) para determinar las variaciones de los rasgos morfológicos y con ello los principales morfoalineamientos. Se realizaron comprobaciones de campo de los alineamientos para corroborar los resultados.

A partir de la aplicación simultánea de los métodos geomorfológicos tradicionales, procesamiento digital de los datos morfométricos e imágenes fue posible representar y caracterizar las formas de relieve y con ello determinar los principales alineamientos reflejados en el relieve de la zona costera comprendida entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa.

## **RESULTADOS**

El MDE de la zona costera comprendida entre el poblado de Yamanigüey y la ciudad de Baracoa (figura 2) se reflejan las variaciones morfométricas del relieve lo que hizo posible la determinación y vectorización de los alineamientos resultantes del procesamiento.

Se distinguen claramente dos zonas geomorfológicas fundamentales: zona de llanura y zona de montaña. La zona de llanura se distribuye paralelamente a la línea de costa. En los sectores próximos a la línea de costa aparecen zonas elevadas delimitadas por pendientes fuertes, con dirección paralela a la línea de costa constituidas fundamentalmente por materiales carbonatados, que constituyen terrazas marinas desplazadas centenares de metros de su posición original. La zona de montaña se localiza hacia la parte sur del mapa. En esta zona aparecen dos sectores en forma de mesetas delimitadas por formas de relieve negativo que describen una alineación.

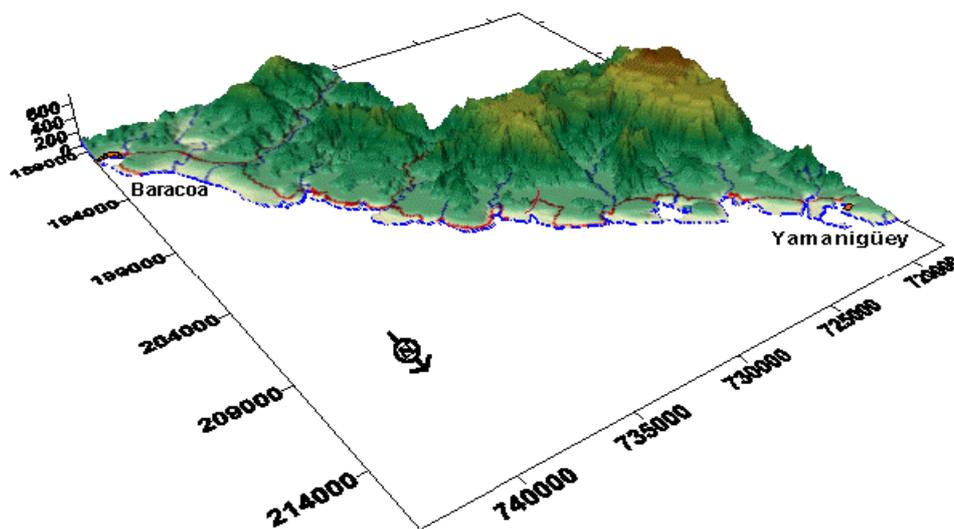


Figura 2. Modelo Digital de Elevaciones.

Con los valores (XYZ) de *grid* obtenidos del MED se generó el mapa de relieve sombreado el cual muestra una imagen similar a un relieve iluminado en función del acimut del sol y el ángulo de inclinación con respecto al punto iluminado. Este mapa fue de vital importancia para la determinación de los alineamientos, puesto que al cambiarle la posición y el ángulo de la iluminación del relieve se reflejan claramente las diferentes direcciones de los alineamientos por el efecto sombra. En la figura 3 se reflejan los principales alineamientos, los cuales describen una dirección predominante. Desde la desembocadura del río Nibujón hasta el Alto de Iberia, aparece nítidamente reflejado un alineamiento con dirección noreste. El mayor por ciento de los alineamientos reflejados en este mapa siguen una dirección noreste-suroeste. Muchos de estos alineamientos bordean zonas elevadas aplanadas en forma de mesetas. En estas zonas existe desarrollo de cortezas y se ubican al suroeste del área. Paralela a la línea de costa, aparece una franja con relieve de llanuras abrasivas marinas y terrazas marinas carsificadas.

En la figura 4 se aprecian sectores de pendientes altas en contacto brusco con pendientes de bajo ángulo, las cuales pueden ser indicadoras de un escarpe de falla o de línea de

falla. Se puede observar el sentido en que se desarrollan las pendientes, la dirección, así como los cambios de dirección los cuales pueden ser indicadores del sentido de movimientos. Hacia el oeste se distingue claramente una zona de pendientes suaves, en contacto brusco con pendientes de altos gradientes, que a su vez describen alineaciones delimitando una zona poligonal. Se puede apreciar una zona alargada próxima a la costa con pendientes de 0-3°, incluyendo sectores aislados con pendientes mayores. El límite entre las zonas de pendientes altas y bajas describe alineaciones paralelas a la costa.

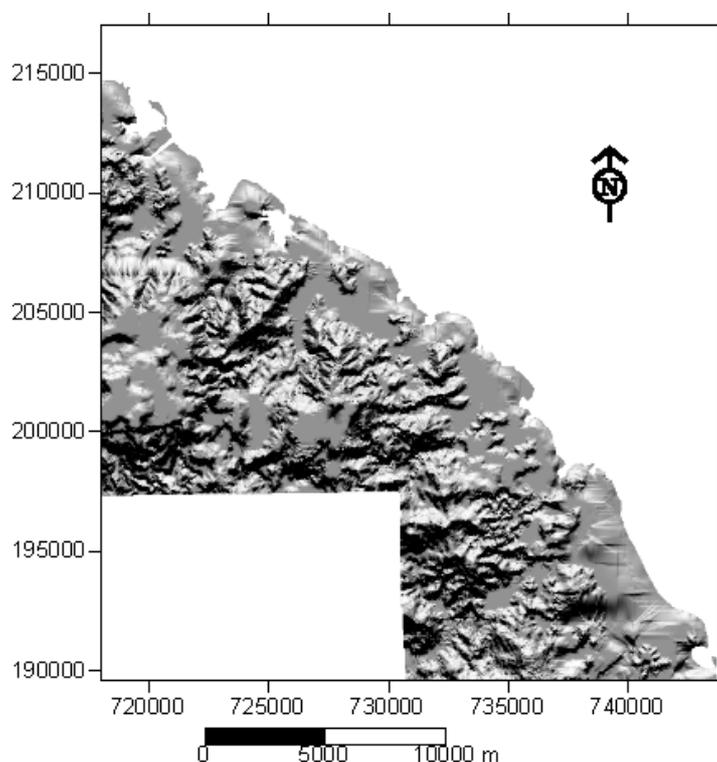


Figura 3. Mapa de Relieve Sombreado (Ángulo de posición de la luz: horiz 90, vert: 35).

En el mapa de Red Fluvial que se muestra en la figura 5 se aprecia que la red de drenaje generalmente es de tipo dendrítica, con algunos sectores de red rectangular, sin embargo, los cursos principales se disponen paralelos entre sí con orientación noreste. En zonas de igual litología se observan tramos rectos y alineados, así como cambios bruscos de la dirección de los cursos fluviales principales, indicando el control tectónico del drenaje. Esto se observa en los ríos Jiguaní y Nibujón.

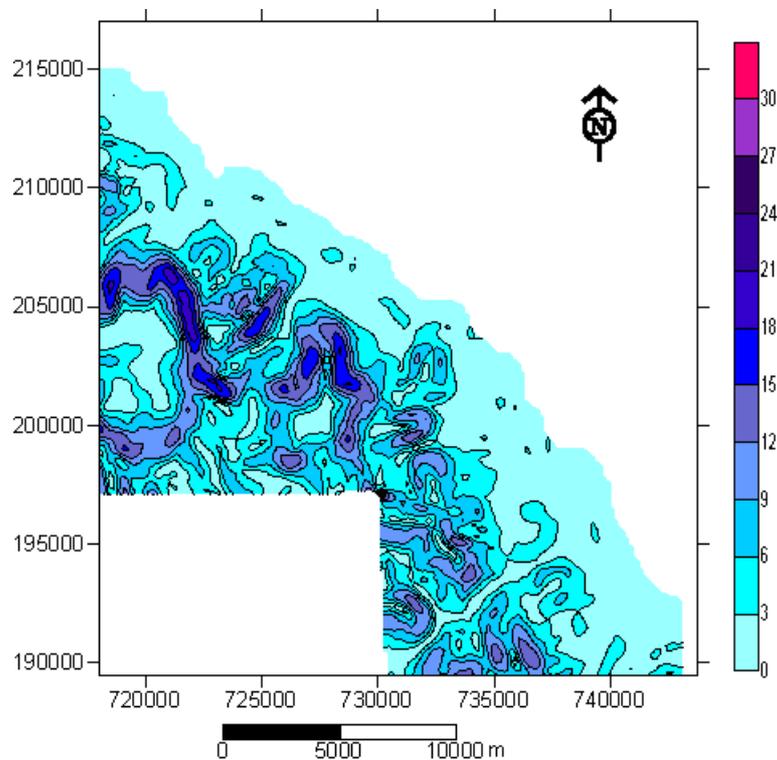


Figura 4. Mapa de Pendientes (en grados).

En cuanto al sistema de tributarios de toda la zona muestran cierta tendencia a alinearse fundamentalmente en las direcciones norte, noroeste y noreste, dado posiblemente por los ambientes geodinámicos que han actuado sobre el Bloque Oriental cubano. Como dato de interés, el mapa aporta la ocurrencia de cambios bruscos en la orientación de los parteaguas (líneas en verde) de los ríos ubicados en la parte occidental. La unión de todos los puntos de inflexión describe una línea que al prolongarla en dirección NW coincide con el tramo de costa alineada en el sector de Yamanigüey, evidenciando una falla tectónica.

La interpretación del mapa de isobasitas es de gran utilidad para los estudios tectónicos y neotectónicos en particular y en la evaluación de la intensidad de la erosión en el tiempo. En la figura 6 se muestra el Mapa de Isobasita de 2<sup>do</sup> orden. Se observan dos sectores de cierre positivo máximos en la parte centro occidental y otro cierre, de menor magnitud en el

extremo sur oriental. En su interior las isolíneas están espaciadas; en la periferia de estos sectores, el espaciamiento se comporta con un gradiente mucho más elevado que en su interior, lo que indica la existencia de zonas de levantamientos con mayor velocidad. En las zonas próximas a la costa las isolíneas se comportan prácticamente paralelas. Las inflexiones negativas mantienen una dirección perpendicular a la línea de costa formando alineaciones las que pueden estar dadas por la existencia de estructuras tectónicas. Los límites de estos sectores aparecen en todos los casos orientados hacia el noreste, corroborando la orientación predominante de los mayores morfoalineamientos aportada por los métodos antes descritos.

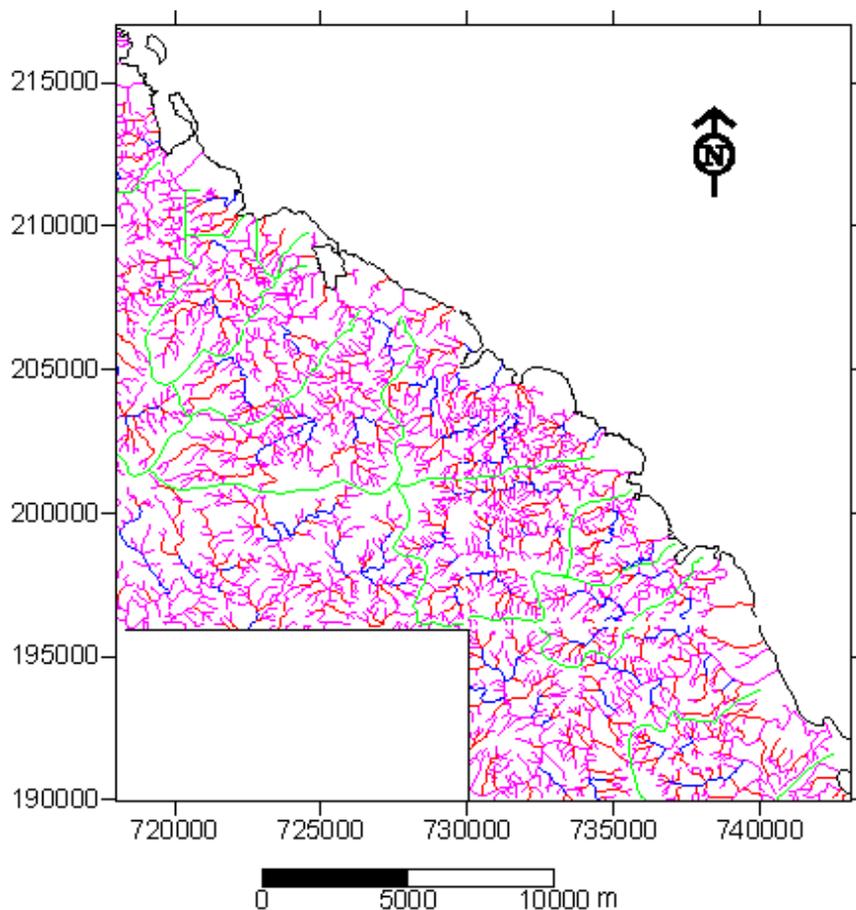


Figura 5. Mapa de Red Fluvial.

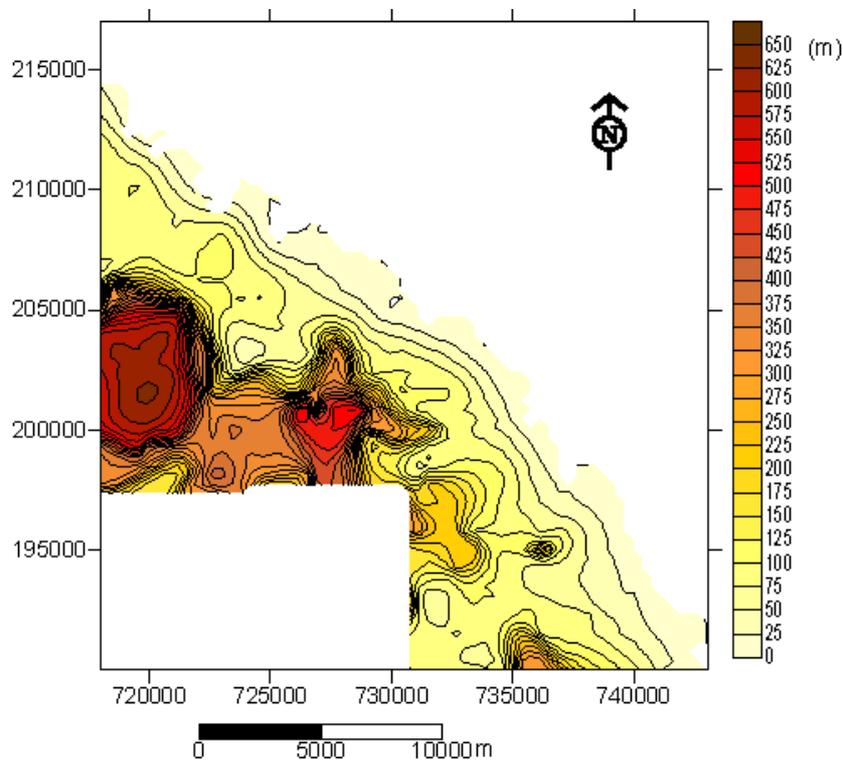


Figura 6. Mapa de isobasitas de 2<sup>do</sup> orden.

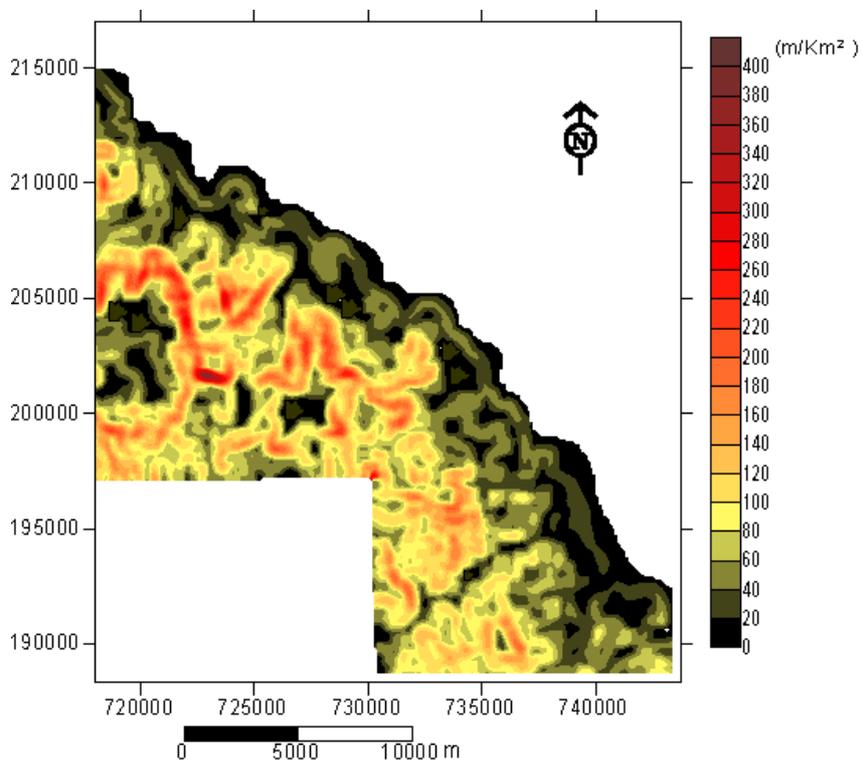


Figura 7. Mapa Disección Vertical con ventana móvil de 640 m.

Para determinar los principales alineamientos de la disección vertical y resaltar las estructuras de mayor o menor tamaño se trabajó con ventanas móviles (Martínez, 2000). En la figura 7 se muestra el mapa de Disección Vertical con ventana móvil de 640 m. En el mismo se distinguen sectores alineados con valores entre 240-280 m/Km<sup>2</sup> en contacto brusco con sectores con valores entre 20 y 40 m/Km<sup>2</sup>. Dentro de esas alineaciones reportan información de gran utilidad las alineaciones de valores máximos y mínimos de disección vertical asociadas a igual litología.

Los trabajos de fotointerpretación permitieron el cartografiado de los morfoalineamientos expresados en el relieve, algunos de los cuales coinciden con las estructuras de fracturas e incluso muestran las direcciones principales de desplazamiento. Dentro de los trabajos de fotointerpretación se realizó la clasificación supervisada de la imagen y se aplicaron filtros para determinar con mayor precisión los alineamientos.

Sobre la base de valores hipsométricos obtenidos a partir del MDE, los datos aportados por los mapas morfométricos y la fotointerpretación, se construyeron perfiles perpendiculares a la dirección de los alineamientos principales en los lugares de mayor interés. En la figura 8b se muestran los perfiles B-B' y D-D' donde se puede apreciar un cambio brusco del gradiente de todos los parámetros, lo cual coincide con los alineamientos determinados.

Los alineamientos determinados a partir de la superposición gráfica de todos los datos aportados por los métodos morfométricos, procesamiento de imágenes y el MDE se muestran en la figura 9. Estos morfoalineamientos responden a diferentes criterios como: zonas direccionales de pendientes fuertes; zonas de valores pendientes altos que contactan con pendientes suaves; tramos rectos y alineados de la red fluvial; cambios de la dirección de la línea divisoria de las aguas, asociado a formas de relieve; sectores de valores de disección

vertical elevados; sectores de inflexiones negativas de los valores de isobasitas de segundo y tercer orden, así como por diferencias de texturas determinadas por el procesamiento de imágenes.

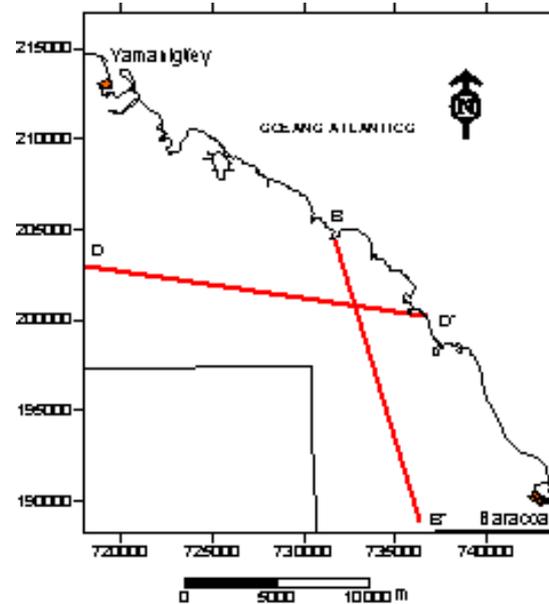


Figura 8a. Mapa de ubicación de perfiles.

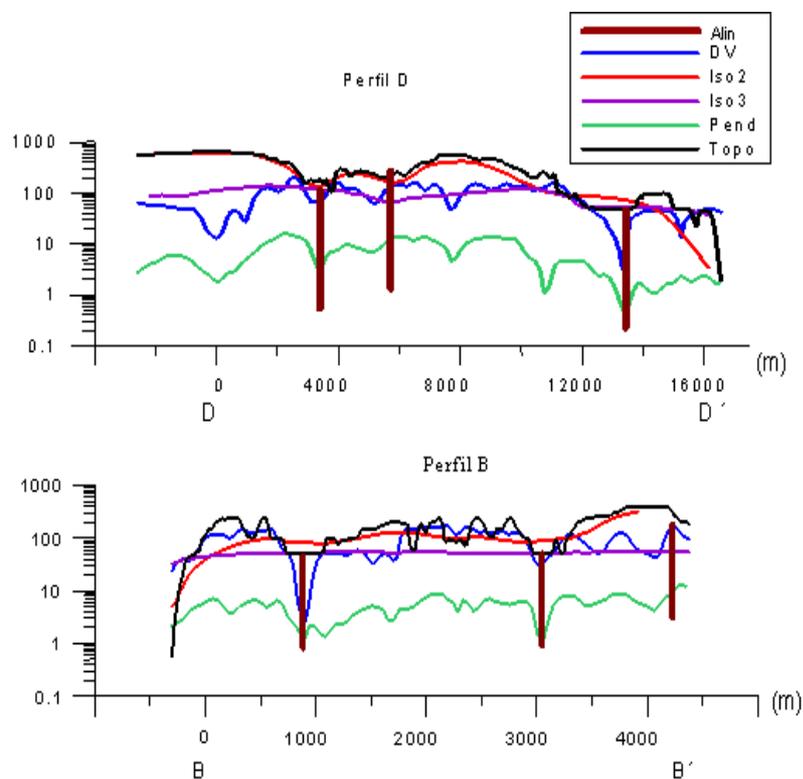


Figura 8b. Perfiles B-B' y D-D'.

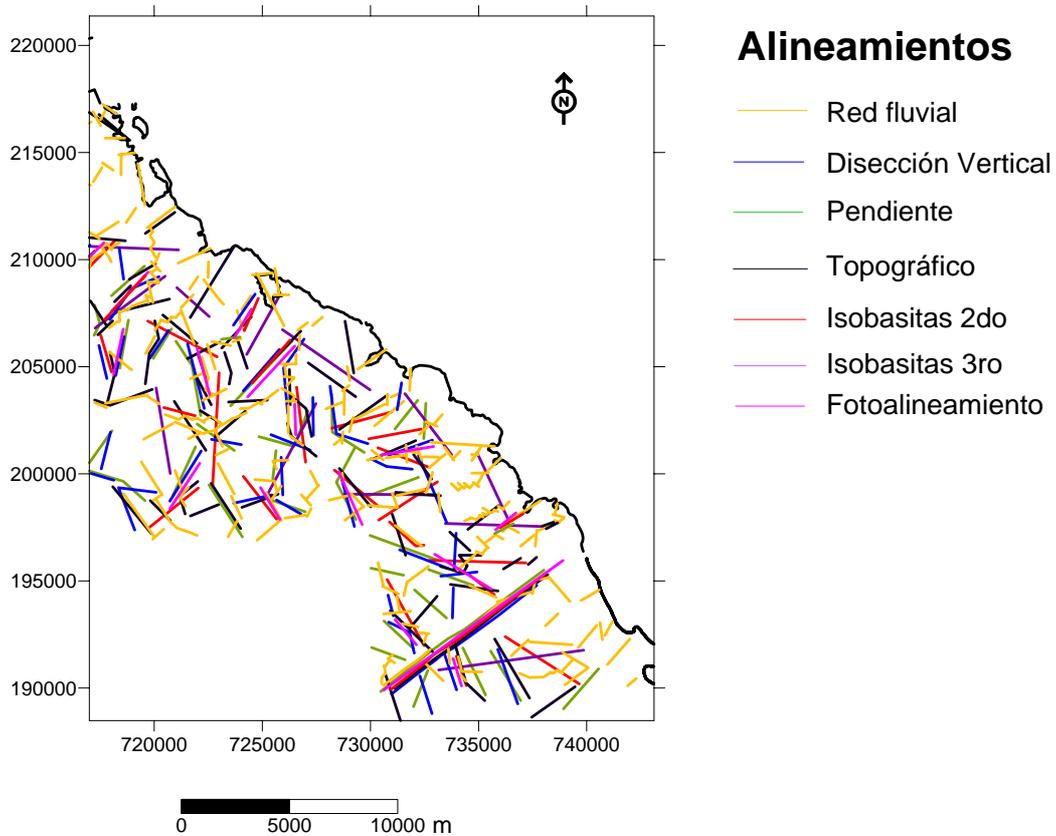


Figura 9. Mapa de superposición gráfica de los alineamientos. Escala original 1: 25 000.

Tomando como base el mapa de superposición gráfica de los alineamientos se procedió a la confección del Mapa de Morfoalineamientos (figura 10), donde quedaron cartografiados aquellos que en base a la suma de criterios resultan de importancia dentro de la tectónica de la región.

En la interpretación del Mapa de Morfoalineamientos se observan cuatro direcciones fundamentales, que se asume agruparlos en tres sistemas. Las direcciones NE-SW y NNW-SSE corresponden al sistema más antiguo, mientras que las direcciones N-S y E-W corresponden a los dos sistemas más jóvenes.

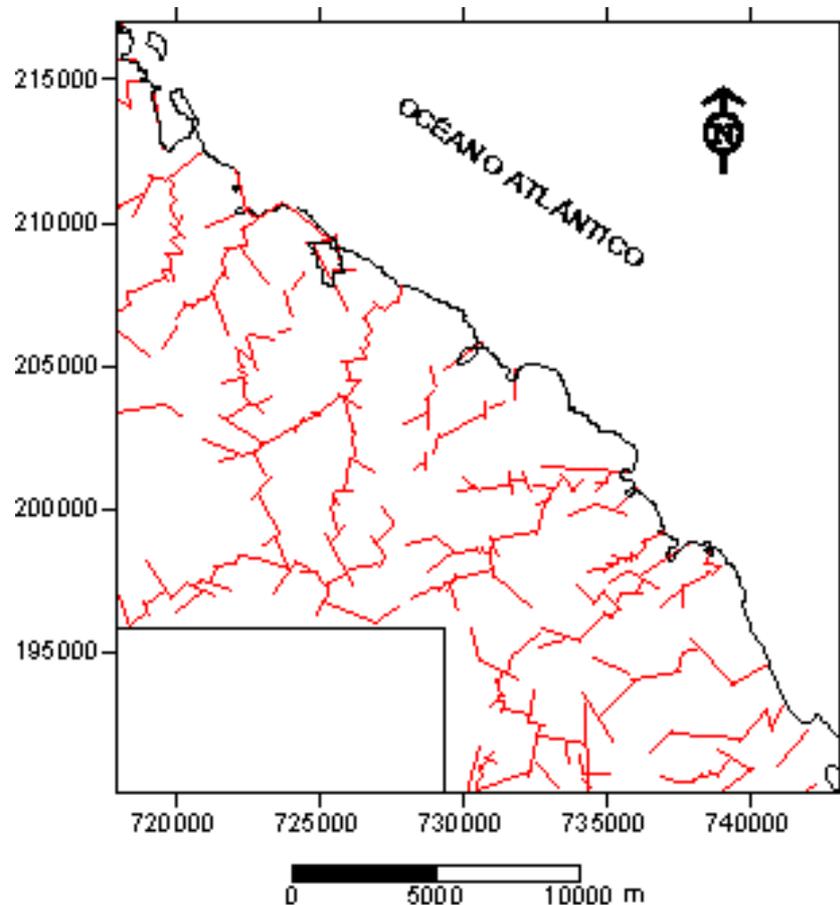


Figura 10. Mapa de Morfoalineamientos. Escala original 1: 25 000.

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Cada uno de los sistemas de morfoalineamientos se asocia a estructuras originadas en diferentes períodos geotectónicos evolutivos del Bloque Oriental cubano. A continuación se describen según un orden cronológico desde el más antiguo, asociado genéticamente al proceso de emplazamiento del complejo ofiolítico hasta el más joven, originado bajo las condiciones geodinámicas contemporáneas.

El primer sistema cronológico, el más antiguo reflejado en el área, está asociado a las dislocaciones más abundantes y de mayor extensión de la región, que indistintamente afectan todas las litologías presentes. Este sistema está constituido por alineamientos de las direcciones noreste y norte-noroeste que se desplazan mutuamente. Las estructuras que reflejan este sistema se considera que han sido originadas como resultado de

los procesos de colisión y obducción del arco volcánico cretácico sobre el margen pasivo de Bahamas, existiendo una transición de las condiciones compresivas iniciales, típicas de la colisión, en expansivas durante el reajuste o relajamiento dinámico de las paleounidades tectónicas que obducen sobre Bahamas. Este sistema está asociado fundamentalmente a los cauces fluviales principales.

El segundo sistema corresponde a las estructuras sublongitudinales que tienen su máxima expresión en las zonas periféricas de los sectores de máximo levantamiento. En este sistema no siempre se encuentran desplazamientos geológicos y geomorfológicos apreciables y su expresión está dada fundamentalmente por la formación de barrancos, alineaciones fluviales, líneas rectas y netas de tonalidades más oscuras. Las características descritas anteriormente permiten suponer una génesis asociada a procesos de descompresión o expansión de bloques. La edad de las estructuras a las que se asocia este sistema es considerada en su límite inferior posterior al Mioceno Medio, momento en que se inicia el proceso de ascenso definitivo del territorio actual de Cuba oriental como tendencia general y se extiende hasta el presente por prevalecer las condiciones geodinámicas que le dan origen.

El tercer sistema, al cual pertenece la dirección este-oeste, es el de menor representatividad en el área y a la vez, de menor reflejo en el relieve. Este sistema no deja de tener importancia puesto que desplazan los sistemas de alineamientos antes descritos y su origen se considera está asociado a los empujes que originan los movimientos transformantes que ocurren en la falla Oriente (Bartlett-Caimán) entre la placa Caribe y la placa Norteamericana.

En la caracterización de los alineamientos a través de los principales criterios que permitieron su clasificación, se hizo referencia a un conjunto de parámetros que a su vez son

criterios para caracterizar la tectónica reciente. Dentro de esos criterios los más importantes son:

- Alineación y desplazamiento de la línea de costa actual, así como el desplazamiento y límites rectilíneos de zonas parálicas cuaternarias del litoral.
- Formación de escarpes rectilíneos con pendientes mayores a 30° en contacto con zonas de pendiente suaves.
- Encajamiento de valles fluviales, por ejemplo los ríos Jiguaní, Macaguanigua, Nibujón, Naranjo y Báez.
- Acodamientos sucesivos de cursos fluviales con trazos rectilíneos, lo que ocurre en todos los ríos del territorio y con carácter marcado en los cauces de los ríos Jiguaní, Macaguanigua, Naranjo y Toa
- Valores hipsométricos y morfométricos marcadamente diferentes sobre igual litología.
- Desplazamiento de formas de relieve. Este es uno de los criterios de mayor frecuencia de presentación en esta zona y se observa asociado a casi todos los alineamientos descritos, en particular los desplazamientos horizontales que ponen en contacto brusco zonas geomorfológicas diferentes.
- Ocurrencia de actividad sísmica, la cual se ha manifestado a través eventos de magnitudes moderadas.

Aunque en la zona quedó establecida la existencia de procesos geodinámicos que se caracterizan por la tendencia general al levantamiento con movimientos diferenciados, es necesario realizar un análisis estructural del agrietamiento con el objetivo de profundizar en el comportamiento de las estructuras tectónicas a los cuales se asocian estos alineamientos. Debido a la importancia que tiene esta zona para el desarrollo regional sería conveniente establecer un sistema de control geodésico cíclico para determinar la dinámica costera actual y con ello evitar los riesgos asociados a la actividad tectónica.

## CONCLUSIONES

A través del empleo conjunto de los métodos morfométricos, procesamiento de imágenes y generación del MDE se identificaron y cartografiaron los principales morfoalineamientos, los que presentan las direcciones NE-SW, NNW - SSE, N-S y E-W, asociados fundamentalmente a elementos del relieve y cauces fluviales.

A partir de los datos de la geología y tectónica regional pudo establecerse la pertenencia de esos alineamientos a los tres sistemas de estructuras tectónicas principales para la región, correspondientes a diferentes etapas de la evolución geotectónica regional.

Para muchos de los morfoalineamientos cartografiados fue posible la determinación de las direcciones principales de desplazamientos y en particular los criterios de actividad neotectónica en la zona.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ITURRALDE-VINENT, M. 1998. Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. *Acta Geológica Hispana*, (España), Español, 33 (1-4): 9-56.
- PROENZA, J. 1997. Mineralización de cromita en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba): Ejemplo del yacimiento Mercedita. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa (Tesis doctoral) 227p.
- RODRÍGUEZ, A. 1998. Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa (Tesis doctoral) 124p,
- VALLEJO, O., MARTÍNEZ, A. 2000. Metodología para la cartografía digital de la erosión hídrica del suelo en un sector del municipio de Moa. *Minería y Geología* 17 (3-4): 11-17.