

Caracterización morfoestructural del sector Mucaral, sureste de Mayarí*

Adrian Urrutia Meriño

Especialidad: Ingeniería geológica.

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

Resumen: Se caracterizó el relieve del sector Mucaral y las estructuras que lo condicionan, a partir de las mediciones de campo y análisis morfométrico de las formaciones. Se utilizaron los métodos morfométricos para determinar los rasgos distintivos del relieve y las principales características morfoestructurales y morfotectónicas presentes en la región, así como para analizar minuciosamente la red de drenaje. Cada índice morfométrico fue representado gráficamente en un mapa, permitiendo el análisis cualitativo y cuantitativo de las irregularidades del terreno. Se establece que el relieve del área de estudio se encuentra determinado por las categorías morfoestructurales montañas pequeñas y premontañas; las cuales están muy diseccionadas y conforman una estructura de bloque monoclinial, con buzamiento suroeste y génesis tectónico-litológica.

Palabras clave: índice morfométrico; mapa geomorfológico; relieve; morfoestructura; modelo digital de terreno.

* Trabajo tutorado por el Ing. Sergio Greenidge Moro y la Dra. Alina Rodríguez Infante.
Recibido: 29 diciembre 2016 / Aceptado: 30 noviembre 2017.

Morphostructural characterization of the sector Mucaral, southeast of Mayarí

Abstract: The relief of the Mucaral sector and the structures that condition it were characterized, from the field measurements and morphometric analysis of the formations. The morphometric methods were used to determine the distinctive features of the relief, and the main morpho-structural and morphotectonic characteristics present in the region, as well as the meticulous analysis of the drainage network. Each morphometric index was graphically represented on a map, allowing the qualitative and quantitative analysis of the terrain irregularities. It is determined that the relief of the study area is determined by the morpho-structural categories of small and premontane mountains; which are very dissected and make up a monoclinical block structure, with southwestern dip and tectonic-lithological genesis.

Key words: morphometric index; geomorphological map; relief; morpho-structure; digital terrain model.

Introducción

En las últimas décadas el territorio cubano ha experimentado diversos cambios en su topografía, como consecuencia principalmente del desarrollo socioeconómico y demográfico. Al ser transformada la dinámica del relieve los procesos geológicos que tienen lugar en el mismo varían en intensidad, sentido, dirección y distribución, por lo que necesita una evaluación exhaustiva para un correcto aprovechamiento de las potencialidades topográficas, así como la identificación de escenarios de riesgos geológicos. A partir de esa problemática, se hace necesaria la profundización del conocimiento geomorfológico del territorio cubano.

El sector Mucaral, al sureste del municipio de Mayarí, posee importantes yacimientos de lateritas ferroniquelíferas, formados a partir de la meteorización química de rocas ultrabásicas, principalmente en la meseta de Pinares de Mayarí. El beneficio de estos yacimientos ha generado toda una infraestructura minero-metalúrgica y un crecimiento urbano en toda su geografía. Este sector posee una gran complejidad geológica, debido a las estructuras tectónicas que se encuentran en dicho territorio.

Estudios anteriores (Campos, 1983; Hernández, Magaz & Díaz, 2001; Díaz & Proenza, 2005; Barea, Barrera & Rodríguez, 2010) han examinado la geomorfología de la región para establecer las características del relieve del nordeste cubano. Greenidge (2016) determinó los tipos de relieve que conforman el municipio de Mayarí y realizó la digitalización de las hojas topográficas que conforman el área, obteniendo el modelo digital de la misma.

Este trabajo se propone caracterizar el relieve del sector Mucaral y las estructuras que lo condicionan, a partir de las mediciones de campo y análisis morfométrico de las formaciones.

La región en la que se enmarca el área de estudio se caracteriza por presentar una gran complejidad geológico estructural, en la cual se manifiestan los dos niveles estructurales en los que se divide la geología cubana.

Materiales y métodos

Se empleó el método morfométrico. Los índices morfométricos se obtuvieron a partir del procesamiento digital del modelo digital de terreno (MDT), representados de forma

gráfica a través de sus correspondientes mapas, los cuales permitieron una mejor visualización de las características del relieve, indicadoras de la actividad dinámica de los procesos endo y exogenéticos. Los métodos de representación cartográfica empleados fueron el cartograma y las isolíneas.

Parámetros morfométricos utilizados:

1. Hipsometría
2. Pendiente
3. Disección vertical
4. Sombreado (acimut 1350 y 450)
5. Isobasitas de II, III y IV orden
6. Red de drenaje superficial.

El mapeo se realizó siguiendo los afloramientos hallados. En total se registraron 20 puntos con coordenadas y se describió un total de 21 afloramientos.

Para la confección del MDT se empleó la digitalización directa de tipo vectorial manual, de las cartas topográficas de escala 1: 25 000, utilizando el sistema de coordenadas planas Cuba Sur. Los errores de digitalización fueron corregidos en los programas PSF, pertenecientes al Taller IRSE. Se utilizó el software AutoCad Map® 2004 de Autodesk, Inc. para digitalizar las isolíneas vectorizadas. Los vectores obtenidos fueron exportados a formato *dxf* (drawing interchange format). Para la obtención del GRID se transformaron las polilíneas de los DXF en puntos formados por los nodos de estas, dichos puntos contienen información de sus coordenadas y la hipsometría. Con el software Surfer® 8.0 de la Golden Software se generó el GRID correspondiente al MDT. El método de modelación que se utilizó fue el krigging, el cual es un método geostatístico que logra un correcto ajuste del modelo matemático a partir de los variogramas del sector estudiado.

Para el procesamiento de la información se utilizaron softwares y programas como: Surfer v12 (Surface Mapping System, Copyright 1993-2002, Golden Software, Inc); Surfer v12.0.626 (Surface Mapping System, Copyright 1993-2014, Golden Software, Inc); Dips v5.1, Global Mapper v12.01; AutoCAD Map 2004 de Autodesk y PSF pertenecientes al Taller IRSE de la empresa GEOCUBA Oriente Norte.

Interpretación de los mapas morfoestructurales

Mapa Hipsométrico

De las tres categorías geomorfológicas principales solo se encuentran las montañas, resultado de ascensos neotectónicos moderados e intensos con amplitudes de 300 m a 2 000 m. Las montañas se subdividen en: montañas pequeñas y premontañas. El sector, por su configuración morfoestructural, constituye un sistema de horst y bloques, con litologías asociadas a las formaciones Miranda, La Picota y Puerto Boniato. Las montañas son una morfoestructura con dirección NE-SW, que posee cimas que superan los 500 m.s.n.m. y constituyen su parteaguas principal. En el mapa hipsométrico (Figura 1) se observan superficies al este del río Mayarí, cuyas divisorias están orientadas perpendicularmente a este.

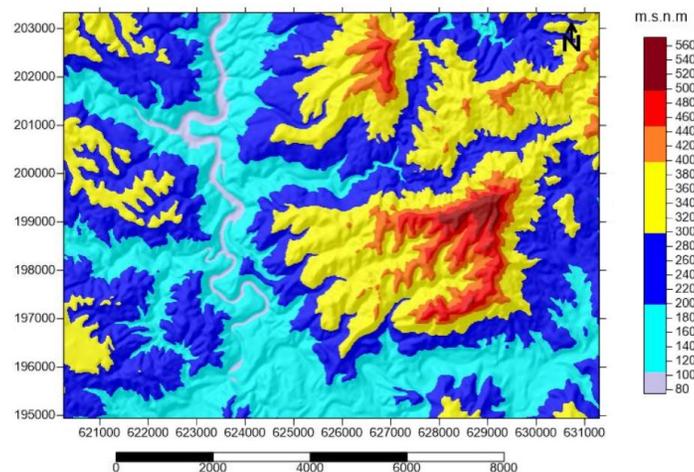


Figura 1. Mapa hipsométrico.

Mapa de pendientes

En la zona de montañas pequeñas y premontañas predominan las pendientes fuertemente inclinadas; esto se debe a la tectónica presente en el área, la cual ha provocado que los bloques se hayan levantado. El grado de inclinación del territorio, debido a sus características morfoestructurales y genéticas, es muy variable (Figura 2), reflejando laderas por encima de los 200, llegando a alcanzar de forma puntual inclinaciones superiores a los 550.

En el área de investigación, en la estructura principal, se puede observar que, sin llegar a ser una meseta, el grado de inclinación de la zona forma una especie de

meseta, aunque la parte superior del área posee pendientes superiores a los 100, la cual está delimitada por las pendientes que sobrepasan los 200. Esta estructura presenta pendientes fuertemente inclinadas, que son las que cobran mayor distribución. Las superficies con pendientes abruptas y verticales reflejan, por el alto grado de inclinación, un control tectónico de sus estructuras.

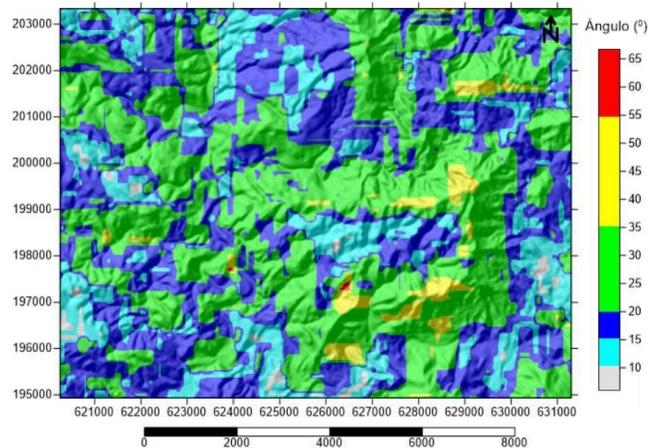


Figura 2. Mapa de pendiente.

Mapa de disección vertical

El mapa de disección vertical refleja el grado de la erosión de fondo del terreno y guarda una amplia relación con el mapa de pendiente, por lo que, en algunas zonas, muestra resultados similares en cuanto al control tectónico de las morfoestructuras. Predominan las montañas ligeramente diseccionadas y sus límites periféricos y flancos están dados por montañas medianamente diseccionadas. Su centro lo conforman rocas de las formaciones Miranda (Sabaneta), Puerto Boniato y La Picota.

La formación Puerto Boniato yace discordantemente sobre la formación La Picota y concordantemente sobre la formación Sabaneta. Ambas están aflorando en una zona donde existe una disección vertical por encima de 160 m/Km^2 ; lo cual refleja un alto grado de erosión de fondo. En el territorio un papel muy activo en el modelado actual del relieve lo ejerce la erosión fluvial y, principalmente, la erosión de fondo; condicionada por los levantamientos tectónicos de la región (Figura 3).

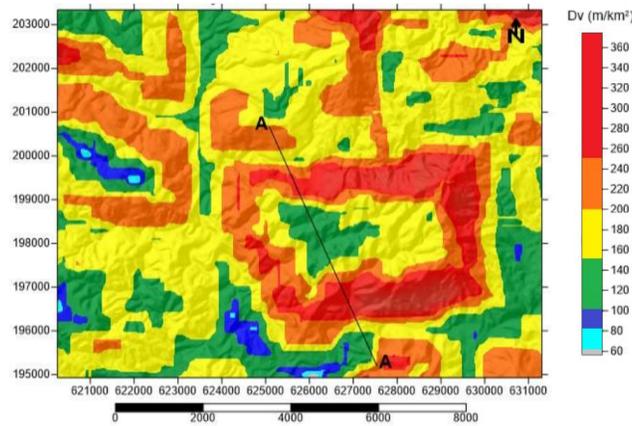


Figura 3. Mapa de disección vertical.

En la zona de montaña se trazó un perfil en los bloques principales ubicados al este del río Mayarí, en la zona que comprende el área de investigación. Se evidencia que la disección vertical en estas montañas es elevada y guarda una gran relación con la pendiente, lo que indica que mientras mayor sea la pendiente, mayor será la disección vertical, como se muestra en la gráfica de la Figura 4.

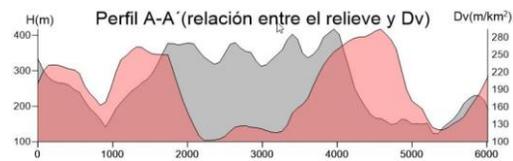


Figura 4. Perfil NW-SE del área de estudio.

Mapas de isobasitas

Los mapas de isobasitas ofrecen, entre otras características, la evolución tectónica del relieve. El mapa de cuarto orden representa las irregularidades superficiales más antiguas. Las isobasitas de cuarto orden (Figura 5) reflejan un relieve tranquilo al SW del territorio, mientras que la zona más elevada presenta estructura de cierre alrededor de los 320 m.s.n.m. Hacia el norte de la estructura principal se observa otra estructura de cierre entre los 250 m.s.n.m y 260 m.s.n.m, lo que nos puede indicar que esta estructura de cierre se puede separar de la estructura principal producto de los movimientos tectónicos presentes.

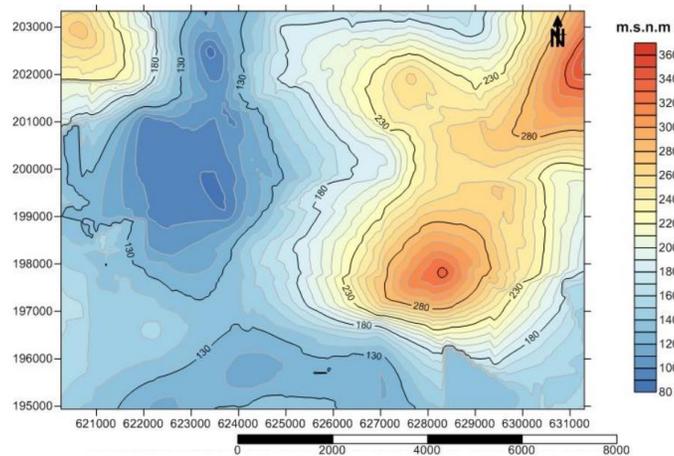


Figura 5. Mapa de isobasitas de cuarto orden.

En el mapa de isobasitas de tercer orden se distingue cómo la estructura de cierre continúa con su movimiento de ascenso, donde el bloque principal ubicado al este del río Mayarí se ha desplazado al norte, presentando estructuras de cierre del orden de 400 m.s.n.m. a 480 m.s.n.m. (Figura 6). Esta zona se muestra como una especie de subbloque, donde continúan los levantamientos neotectónicos. Al norte del territorio se observa una pequeña estructura, que ha comenzado a separarse de la estructura principal y posee un cierre de 280 m.s.n.m.

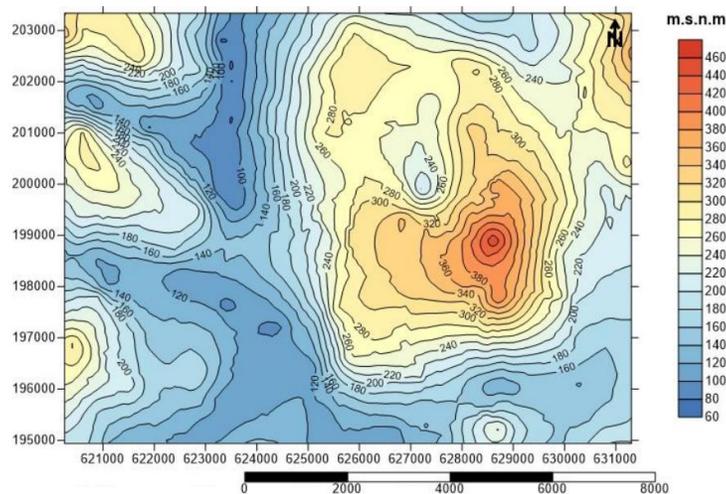


Figura 6. Mapa de isobasitas de tercer orden.

En el mapa de isobasitas de segundo orden (Figura 7), que refleja las influencias tectónicas en el relieve más actual, el bloque central mantiene sus movimientos de ascenso con un ligero desplazamiento hacia el noreste. En esta estructura se encuentra el punto de máximo levantamiento con un cierre de 480 m.s.n.m, reflejando un buzamiento prácticamente monoclinial hacia el suroeste. Al norte del territorio se

evidencia la formación de un pequeño bloque independiente, que se ha separado de la estructura principal y se ha mantenido en constante levantamiento, con estructuras de cierres que superan los 380 m.s.n.m.

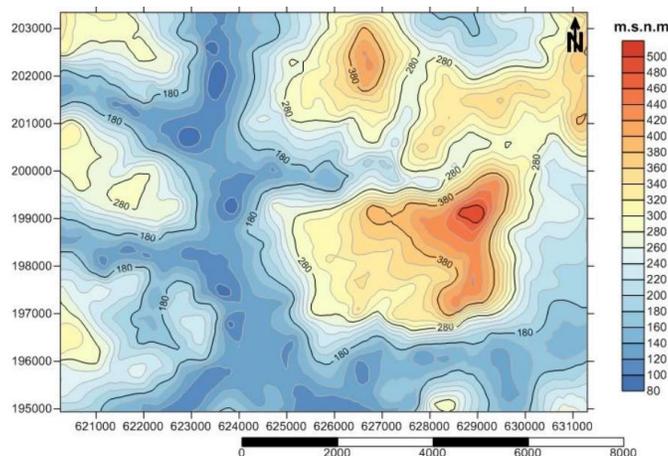


Figura 7. Mapa de isobasitas de segundo orden.

Mapa de la red de drenaje superficial

La red de drenaje se encuentra bien desarrollada (Figura 8), representadas por ríos que llegan hasta el orden 7; es variada, reflejada por cuatro tipos de drenaje: rectangular, dendrítico, radial y con menor distribución, paralelo. En la región predominan las redes de configuración dendrítica, radial y las variantes de la red rectangular, evidenciando un fuerte control litoestructural.

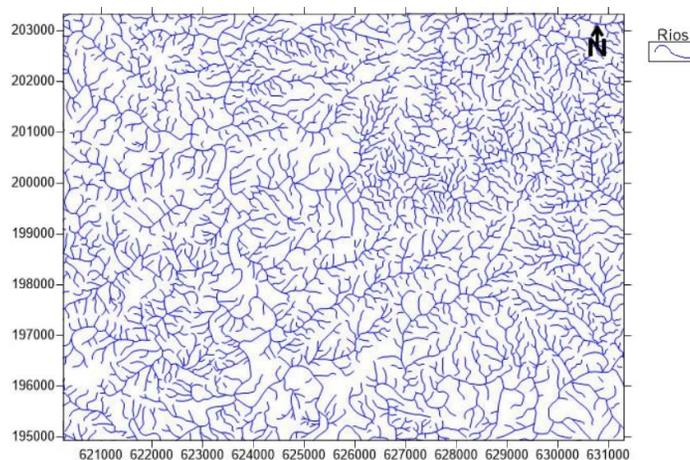


Figura 8. Mapa de la red de drenaje superficial.

Mapas sombreados

En la Figura 9 se presentan los mapas sombreados con 1 350 y 450 de acimut, respectivamente, con posición vertical de 450. Estos mapas fueron confeccionados para trazar, según la información del terreno que brindan, morfoalineamientos que permitieran establecer o asociar estructuras disyuntivas con desplazamientos. Estas alineaciones fueron correspondientemente delineadas.

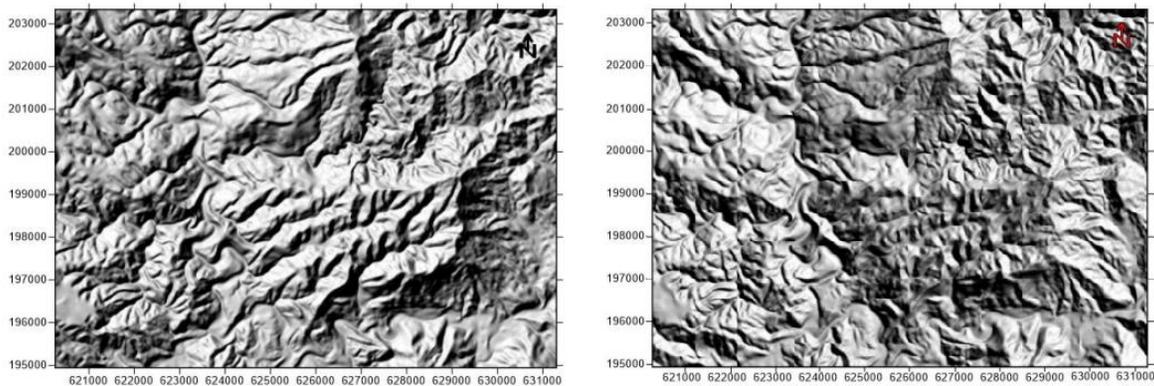


Figura 9. Mapas sombreados con α 135 y 450.

Morfoalineamientos

El análisis de las características, configuración, rangos y valores de las variables morfométricas permitió el trazado de las alineaciones que estas indicaban. A las alineaciones de cada parámetro se le otorgó un color distintivo (Figura 10).

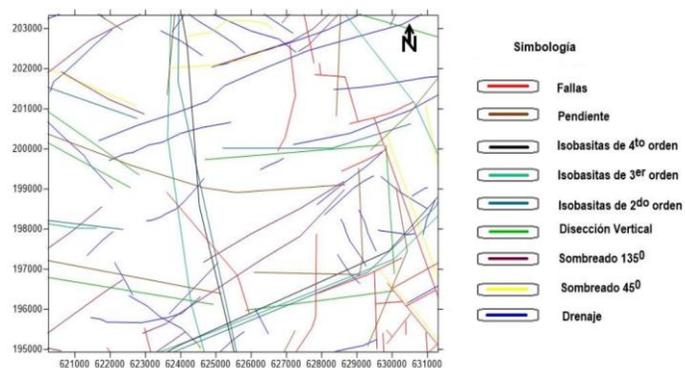


Figura 10. Mapa de alineaciones.

Los patrones de alineaciones superpuestos en una misma dirección son representados como posibles estructuras disyuntivas (Figura 11) con desplazamientos, que deben ser corroboradas o descartadas por otros métodos de investigación geológica. Aquellos

morfoalineamientos que coinciden con fallas comprobadas no son plasmados en el mapa de morfoalineamientos.

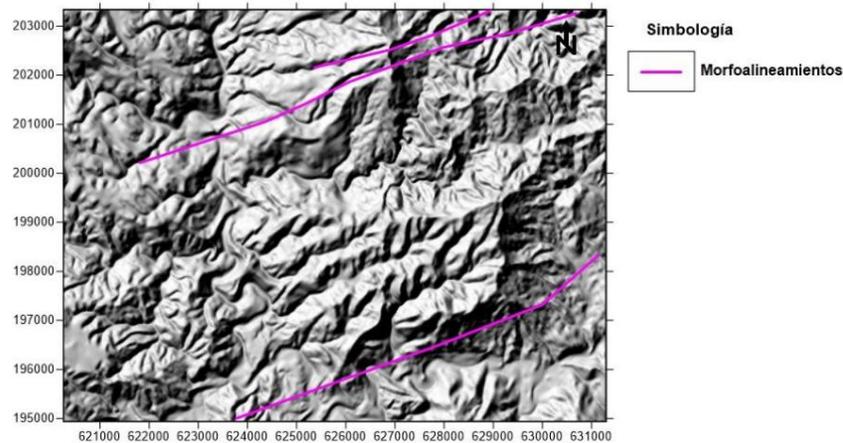


Figura 11. Mapa de los morfoalineamientos.

Determinación y caracterización de los tipos de relieve

La determinación de los tipos de relieve se basó en tres niveles jerárquicos. El primero, enmarcado en las categorías morfoestructurales principales: montañas, alturas y llanuras; según su nivel hipsométrico o relaciones espaciales con las estructuras circundantes. El segundo se estableció por la génesis del relieve, según las clasificaciones empleadas por Díaz (1989). Las montañas y alturas se subdividen en tectónica-erosivas, cuando el papel genético fundamental es de carácter endógeno, pero han sido considerablemente transformadas por los procesos morfogenéticos; se originan principalmente sobre roca cristalina y masiva.

Tectónico-litológicas cuando presentan las mismas características que las primeras, diferenciándose en que los tipos de rocas son más fáciles de erosionar, formando en las superficies varios surcos, cañadas y cárcavas; y, por último, en tectónico-estructurales cuando deben su origen a ascensos de poca amplitud y la expresión morfológica de su estructura interna pasiva o activa. En el tercer nivel de jerarquización se distinguieron los tipos de relieve, según sus rasgos distintivos, como morfología e intensidad de procesos geológicos.

Atendiendo a estos niveles se clasifica el relieve del área de estudio en montañas, montañas pequeñas y premontañas de génesis tectónico-litológicas (Díaz, 1989), en horst y monoclinas muy disecionadas, compuestas por rocas de los complejos

carbonatado, turbidítico-carbonatado-detrítico, piroclástico terrígeno y formaciones carbonatadas detríticas. En esta morfoestructura han primado los movimientos de ascenso vertical condicionados por la tectónica regional post-eocénica.

Procesamiento e interpretación de los datos de campo

Interpretación de las descripciones de los afloramientos

En los trabajos de campo se describieron 21 afloramientos, representados por las formaciones La Picota, Sabaneta y Puerto Boniato, la de mayor distribución en el área. Solo en tres afloramientos la formación que debe aflorar, según el mapa Geológico del IGP (2001) que comprende la región de investigación, a escala 1:100 000, no coincide con las formaciones aflorantes.

La descripción del Punto 2 (Figura 12) corresponde con el corte estratigráfico perteneciente a la formación Puerto Boniato con yacencia horizontal, potentes estratos de coloración blanca-crema predominantemente y composición calcárea intercalada con capas de arcilla y sílice. Esta descripción muestra una diferencia con el mapa geológico de referencia, el cual indica que en este punto aflora la formación La Picota. En los puntos 4 y 5 afloran estructuras de conglomerados y brechas, de forma caótica, con clastos de variables dimensiones, mal seleccionados. Los clastos son de composición carbonatada, al igual que el material cementante que los engloba. Las características litológicas y geométricas antes descritas coinciden con la formación La Picota y Puerto Boniato, como muestra el mapa geológico de referencia.

Durante los trabajos de campo no se identificaron los puntos de contacto de las unidades litoestratigráficas presentes en el territorio, pero una vez analizadas las descripciones realizadas, fundamentalmente en los puntos 2, 4 y 5, se infiere que los contactos entre estas unidades deben corregirse para lograr una mayor precisión en la información brindada en el mapa geológico.

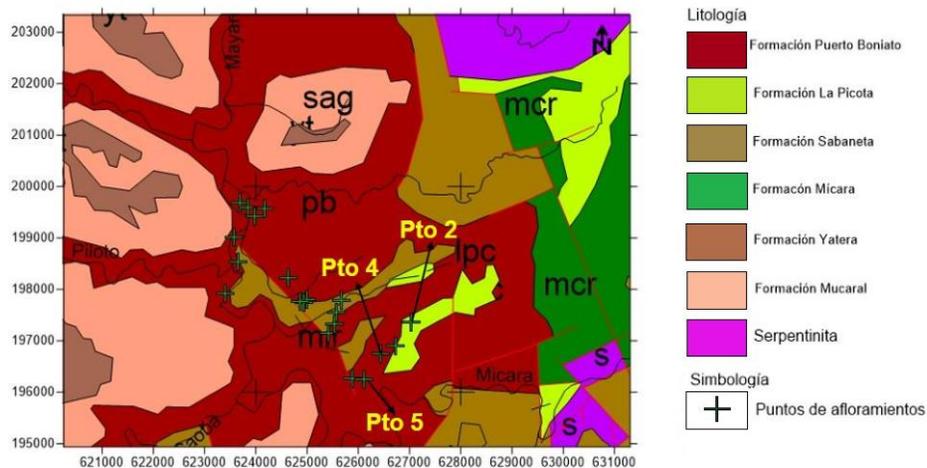


Figura 12. Mapa geológico con los puntos de afloramientos.

Interpretación de los diagramas resultantes del procesamiento de la información obtenida en los trabajos de campo

La proyección estereográfica proporciona una herramienta fundamental en el campo de la geología estructural. Su principal interés estriba en el hecho de que con ella podemos representar orientaciones (dirección) e inclinación (buzamiento o inmersión) preferentes de elementos que en la naturaleza no se manifiestan con desarrollos geométricos perfectos; como es el caso de un estrato, donde el plano de techo y de muro muestran irregularidades puntuales, aunque con una tendencia general. Además, este tipo de representación permite medir los ángulos de forma directa. Entre sus aplicaciones más importantes se encuentra el reconocimiento de juegos de diaclasas en un afloramiento rocoso, la determinación de la dirección y el buzamiento de un estrato, la determinación del tipo de rotura en un movimiento de ladera (Tomás *et al.*, 2002) y la identificación de los principales esfuerzos que causan las deformaciones en las rocas.

Se utilizaron dos formas de representación estereográfica: la falsilla de Wulff y Schmidt) (McClay, 2013). De los 21 afloramientos descritos se hicieron mediciones de los elementos de yacencia en seis de ellos. Estos puntos son el 2; 6; 7; 11; 13; 14.1.

Punto No. 2

En el punto 2 se identificaron estructuras disyuntivas, las cuales, según su diagrama de rosa, muestra una dirección preferencial NW-SE 400-500 (Figura 13). Estas grietas se encuentran cerradas y afectan secuencias de material piroclástico.

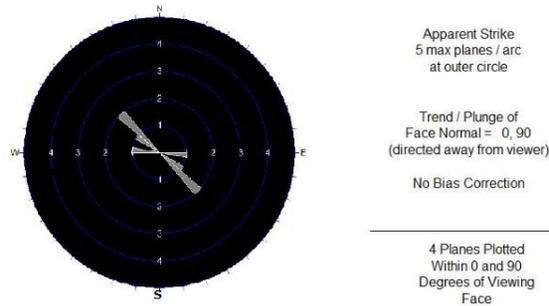


Figura 13. Diagrama de rosa.

Puntos No. 6 y 7

Por la relación espacial que tienen en el campo, las mediciones de los planos de estratificación y las direcciones de roseta de los puntos 6 y 7 fueron representadas en la proyección estereográfica de Wulff. Estos planos de estratificación poseen una orientación principal NWSE 00-100 y una de NE-SW 500-600, y como orientación secundaria principal NW-SE 200-400. El buzamiento de estas capas está dirigido en las direcciones NW y SW, fundamentalmente (Figura 14).

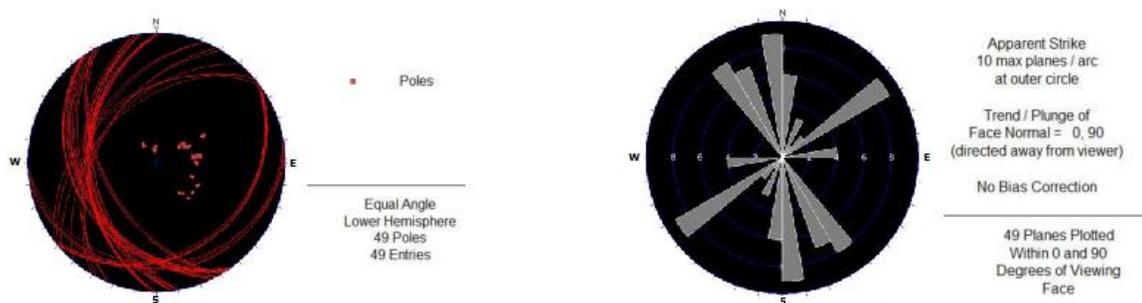


Figura 14. Diagrama de planos y diagrama de rosa.

Punto No. 11

En este punto se midieron varias familias de estructuras disyuntivas, rellenas la mayoría con calcita. Estas grietas tienen un carácter sistemático y una relación geométrica y angular de tipo ortogonal. Los diagramas de rosetas creados muestran

que las mismas tienen una dirección principal al NW-SE 400-500, y otra al NW-SE 800-900, manteniendo al NE-SW 300-400 la principal orientación secundaria (Figura 15).

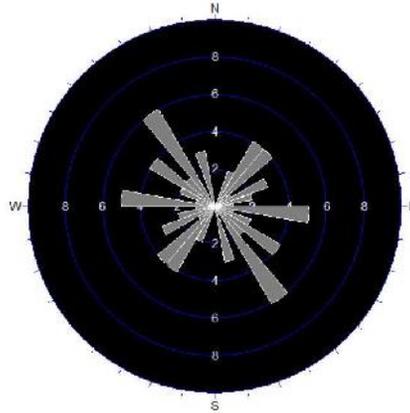


Figura 15. Diagrama de rosa.

Punto No. 13

El agrietamiento en este punto está definido por dos familias de grietas: una al NW-SE 00-100, la cual constituye la dirección principal, y otra al NW-SE 800-900 (Figura 16). Algunas de las grietas presentes en afloramiento se encuentran rellenas con mineralización de calcita, las cuales representan pequeñas vetas de mineralización.

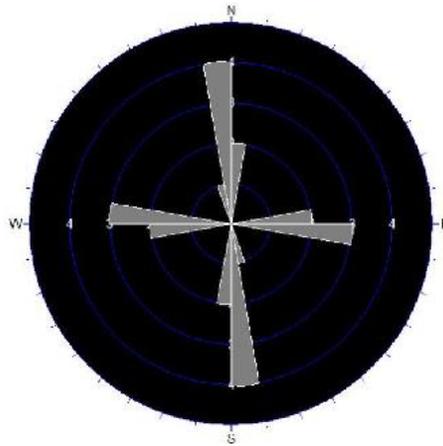


Figura 16. Diagrama de rosa.

Punto No. 14.1

En el punto se realizaron mediciones de planos de estratificación. El diagrama de arco muestra que las capas tienen un buzamiento predominantemente NNW, con una

dirección principal NE-SW 800-900 (Figura 17). Estas rocas deformadas pertenecen a la formación Puerto Boniato.

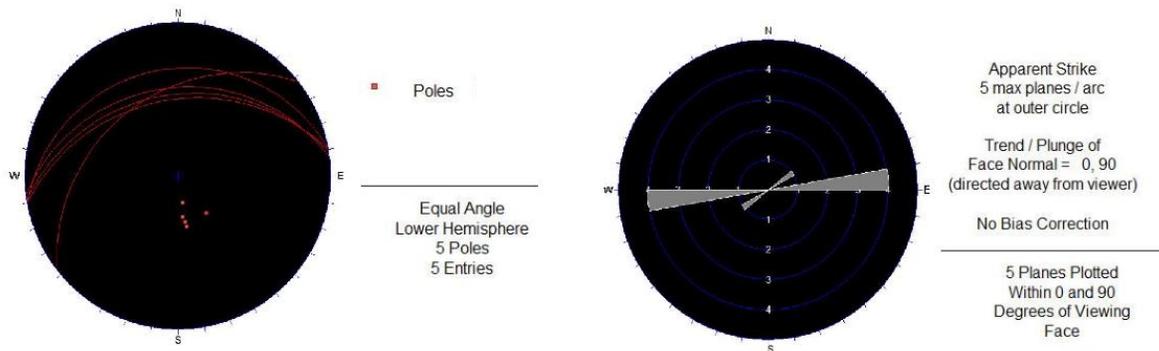


Figura 17. Diagrama de planos y polos y diagrama de rosa.

Análisis de las orientaciones de las estructuras

Las principales direcciones de agrietamiento están dirigidas al NW-SE 400-500 y al NW-SE 800-900. Estas orientaciones de las estructuras disyuntivas corresponden a grietas que presentan, de forma general, un carácter ortogonal, afectando principalmente a secuencias de material piroclástico. El punto 11 constituye el más relevante para la interpretación de estas orientaciones, pues es el de mayor densidad de agrietamiento; y se encuentra cercano a la zona de contacto, entre la formación Sabaneta y la formación Puerto Boniato, la cual yace concordantemente sobre la primera.

En los puntos 2 y 13, que pertenecen a la formación Puerto Boniato, aunque el grado de agrietamiento es menor se mantienen las direcciones principales del mismo. El diagrama de arco de los puntos 6 y 7 muestra la presencia de una estructura plegada, principalmente por las mediciones realizadas en el punto 6. Los polos de estratificación del punto 6 se alinean en un arco mayor, lo cual muestra la identificación de una estructura plegada, que no fue caracterizada como tal durante los trabajos de campo. El eje de dicha estructura está determinado por la intersección de todos los planos de estratificación del pliegue (Figura 18). Se representa en la proyección estereográfica como una línea y yace con 2740-2760/310-330.

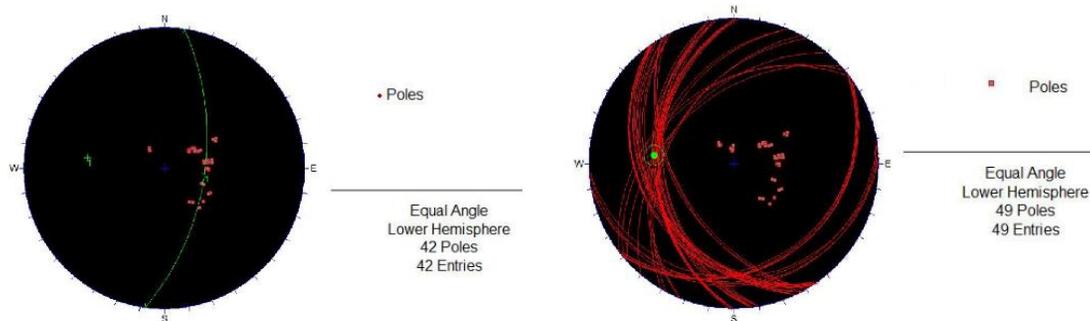


Figura 18. Diagrama de arco y diagrama de planos.

Caracterización morfoestructural del sector Mucaral

El sector Mucaral se encuentra determinado por una categoría morfoestructural: las montañas. Estas son el resultado de ascensos neotectónicos moderados e intensos, con amplitudes de 300 m a 2 000 m de estilo diferente, que han involucrado a las estructuras antiguas.

Las montañas se caracterizan en montañas pequeñas y premontañas y predominan las pendientes fuertemente inclinadas; lo cual se debe a la tectónica presente en el área, que ha provocado que los bloques se hayan levantado. El sector, por su configuración morfoestructural, constituye un sistema de horst y bloques, con litologías asociadas a las formaciones Miranda, La Picota y Puerto Boniato.

El grado de inclinación del territorio, debido a sus características morfoestructurales y genéticas, es muy variable, reflejando laderas por encima de los 200 y, en algunos sectores, sobrepasan los 350, llegando a alcanzar de forma puntual inclinaciones superiores a los 550.

Conclusiones

El relieve del área de estudio se encuentra determinado por las categorías morfoestructurales montañas pequeñas y premontañas, las cuales están muy diseccionadas y conforman una estructura de bloque monoclin, con buzamiento suroeste y génesis tectónico-litológica.

El relieve actual del territorio está condicionado fundamentalmente por movimientos tectónicos verticales y, en menor proporción, por los horizontales, que han ocasionado un leve desplazamiento de la morfoestructura principal hacia el norte.

Las estructuras disyuntivas y plicativas identificadas en el área de investigación presentan un carácter local, definidas por la presencia de fallas locales que afectan las unidades litoestratigráficas del territorio.

El sistema de agrietamiento muestra una relación ortogonal entre las familias de grietas, con dos direcciones principales, una al NW-SE 400500 y otra al NW-SE 800-900, afectando a las formaciones Puerto Boniato y Sabaneta.

Se identifica una estructura plegada muy local, con un eje inclinado entre los 310-330 y una dirección entre los 2 740-2 760. La orientación principal de los planos de estratificación se encuentra al NW-SE 00-100.

Referencias bibliográficas

- BAREA, I.; BARRERA, M. & RODRÍGUEZ, A. 2010. Estudio morfotectónico del área enmarcada por las concesiones mineras La Delta, Cantarrana y Santa Teresita. *Minería & Geología* 26(1): 1-12.
- CAMPOS, M. 1983. Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de Holguín y Guantánamo. *Minería & Geología* 1(2): 51-75.
- DÍAZ, J. 1989. Relieve. IV.1.1. En: *Nuevo Atlas Nacional de Cuba*.
- DÍAZ, R. & PROENZA, J. 2005. Metalogenia asociada a las ofiolitas y al arco de islas del Cretácico del nordeste de Cuba. *Minería & Geología* 21(1).
- GREENIDGE, S. 2016. Mapa geomorfológico preliminar del municipio de Mayarí a escala 1: 100 000. *Ciencia & Futuro* 6(4): 17-35.
- HERNÁNDEZ, J.; MAGAZ, A. & DÍAZ, J. 2001. Evolución morfoestructural del relieve de Cuba nororiental. En: IV Congreso de Geología y Minería. Memorias GEOMIN. La Habana, Cuba, 19-23 marzo.
- I.G.P. 2001. Mapa Geológico de las Provincias Orientales, a escala 1:100 000. Edición digital por el grupo CASIG-IGP. Cuba.
- McCLAY, K. R. 2013. *The mapping of geological structures*. John Wiley & Sons, 161 p.

TOMÁS, R.; FERREIRO-PRieto, J. I.; SENTANA-GADEA, I. & DÍAZ-IVORRA, M. D. C. 2002. *Aplicaciones de la proyección estereográfica en ingeniería geológica*. Universidad de Cantabria. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10045/21681>