

Geomorfología tectónica del sureste del municipio de Mayarí, provincia de Holguín

Tectonic geomorphology in southeast from Mayarí municipality, Holguín province

Sergio Greenidge-Moro^{1*}, Alina Rodríguez-Infante², Idelfonso Díaz-Barrios³

¹Empresa GEOCUBA Oriente Norte, Holguín, Cuba

²Universidad de Moa, Holguín, Cuba.

³GEOCUBA I. C., La Habana, Cuba

*Autor para la correspondencia: sgmoro.13@gmail.com

Resumen

Se determinó el comportamiento de la actividad tectónica reciente en el sureste del municipio de Mayarí, provincia de Holguín. A partir de la información topográfica del modelo digital de elevación del territorio, a 25x25 m de resolución, se generaron 17 cuencas fluviales a las cuales se aplicaron cuatro índices morfométricos: curva hipsométrica, integral hipsométrica, factor de asimetría y radio de elongación. El análisis cuantitativo de las características superficiales de estas cuencas permitió definir sus dimensiones, forma, estadio geomorfológico, intensidad de la actividad tectónica y dirección de los movimientos basculantes. La interpretación de los resultados mostró que el carácter de la actividad tectónica reciente en el área de estudio va de moderado a alto y es uno de los principales factores que condicionan el paisaje en el territorio. El relieve actual se halla en un estadio de madurez geomorfológica y las zonas con mayor intensidad en la tectónica reciente, según los índices geomorfológicos aplicados, se ubican al noroeste y suroeste de la región.

Palabras clave: actividad tectónica reciente; índices morfométricos; cuencas fluviales; geomorfología; municipio de Mayarí.

Abstract

The performance of recent tectonic activity in southeast of Mayarí municipality, Holguín province was determined. Seventeen (17) river basins were generated based on topographic information from the Digital Elevation Model of the territory at 25x25 m resolution, to which four morphometric indices were applied: hypsometric integral, hypsometric curve, and asymmetry factor and elongation radius. Quantitative analysis of the surface characteristics of these basins allowed defining their dimensions, shape, and geomorphological stage, intensity of tectonic activity and direction of tilting motion. Interpreting the results showed that character of recent tectonic activity in the study area ranges from moderate to high and it is one of the main factors conditioning the landscape of the territory. The current relief is in a geomorphological maturity stage and the areas with the greatest intensity in recent tectonics are located in the northwest and southwest of the region, according to the geomorphological indices applied.

Keywords: recent tectonic activity; morphometric indices; river basins; geomorphology; Mayarí municipality.

1. INTRODUCCIÓN

La interacción dinámica de los procesos geomorfológicos endógenos y exógenos expone en la superficie terrestre un complejo mosaico de morfoestructuras distinguidas por su amplia variedad de estilos, génesis y tipologías. La morfología superficial, como expresión de las deformaciones que catalizan los procesos formadores de relieve, constituye el reflejo directo de un contexto tectónico, activo o inactivo. Actualmente la geomorfología tectónica, como rama de la geodinámica, se orienta al estudio y análisis de este contexto tectónico (Barea-Pérez, Barrera-Veitía y Rodríguez-Infante 2010; Babu *et al.* 2014; Cuéllar-Cárdenas *et al.* 2014; Faghih, Nezamzadeh y Kusky 2015).

La geomorfología tectónica es una disciplina relativamente nueva dentro de la tectónica activa y constituye una valiosa herramienta para evaluar la actividad tectónica de estructuras con tasas de deformación de bajas a medias (Azañón *et al.* 2012), a partir de la topografía, el patrón de drenaje y las características geomorfológicas (Pérez-Peña *et al.* 2009; Cuéllar-Cárdenas *et al.* 2014). Se basa principalmente en los análisis geomórficos cualitativos y cuantitativos; los primeros generalmente estudian los perfiles topográficos y longitudinales de los ríos, las redes de drenaje, la distribución espacial de las cuencas de drenaje y sus relaciones geométricas, tienen como objetivo definir los factores de control y reconstruir la evolución de los paisajes. Los

segundos se realizan utilizando índices geomórficos (morfométricos) que ayudan a evaluar el nivel relativo de actividad tectónica en un área y a caracterizar cuantitativamente las particularidades geomórficas de un paisaje (Giaconia *et al.* 2012).

A nivel mundial existen varios índices morfométricos que se emplean en las mediciones cuantitativas de las geoformas para determinar la acción de la actividad tectónica de un área. En disímiles investigaciones (Viramontes-Olivas *et al.* 2007; Pérez-Peña *et al.* 2009; Sarp *et al.* 2011; Paškauskas y Vekeriotienė 2013; Dhanya 2014) es común el empleo de los siguientes: curva e integral hipsométricas, asimetría de la cuenca y radio de elongación/forma de la cuenca; no obstante, otros autores (Shahzad, Mahmood y Gloaguen 2009; Fernández, Álvarez y Menéndez 2012; Farhan *et al.* 2016) han utilizado solo uno o algunos de estos.

En Cuba, según Ramírez-Hernández (2018), los trabajos con estos métodos, en los que se favorece el esclarecimiento de las características geomorfológicas y tectónicas a nivel de cuencas de drenaje, no son numerosos (Cotilla-Rodríguez *et al.* 2003; Triana-Rodríguez 2015; Estévez-Cruz, Ordaz-Hernández y Hernández-Santana 2017; Ramírez-Hernández 2018). En el contexto nacional la pendiente, disección vertical y horizontal, isobasitas, polibasitas, diferencia de isobasitas, morfoisohipsas y el análisis y lineamientos de la red de drenaje representan los índices morfométricos de mayor aplicación en estudios geológicos-geomorfológicos (Barea y Rodríguez 1985; Hernández-Santana 1989; González-Clemente, Cañete-Pérez y Díaz-Comesañas 1992; Hernández-Santana, Magaz-García y Díaz-Díaz 2001; Cruz-Orosa y Blanco-Moreno 2007; Barea-Pérez, Barrera-Veitía y Rodríguez-Infante 2010; Carralero-Castro y Conde-Rodríguez 2015; Rosabal-Domínguez, Rodríguez-Infante y Zapata-Balanqué 2016).

Por ello la presente investigación tuvo el propósito de ofrecer una visión morfodinámica del sureste del municipio de Mayarí, a través de métodos morfométricos de poco desarrollo en el país, a partir del análisis de las cuencas hidrográficas como unidad geomorfológica elemental.

1.1. Características del área de estudio

El área de estudio comprende el sureste del municipio de Mayarí de la provincia de Holguín, así como una pequeña porción del noreste y noroeste de los municipios santiagueros San Luis y Segundo Frente, respectivamente (Figura 1). Limita al norte con la meseta Pinares de Mayarí y la Sierra Cristal, al este con la Sierra Cristal y el poblado de Boca de Mícará, al sur con los poblados Chamarreta, Corinto y San Benito de Mayarí y al oeste con la meseta Pinares de Mayarí; la extensión del área es de aproximadamente 361,53 km².

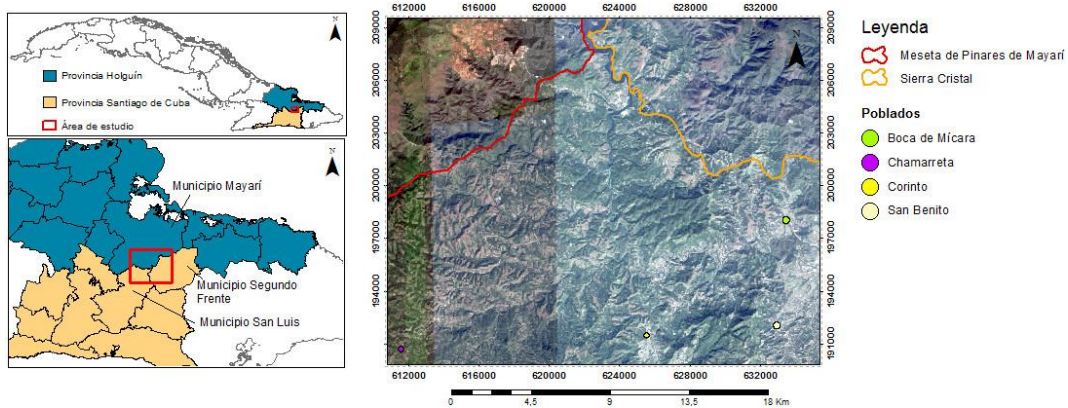


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio. Imagen tomada de SAS.Planet.

Geológicamente el área está compuesta por estructuras complejas de bloques en plegamiento con direcciones NW–SE y NE–SW, en donde se integran los dos niveles estructurales en los que se divide la geología de Cuba: el substrato plegado y el neoautóctono (Iturralde-Vinent 1998).

La Figura 2 muestra la configuración geológica del territorio, donde se identifican unidades de las cuencas de piggy-back primer (formaciones Mícará y La Picota) y segundo ciclos (formaciones Puerto Boniato y Charco Redondo), serie vulcanógeno–sedimentaria del arco volcánico paleogénico (formaciones Sabaneta y Gran Tierra), ofiolitas de la meseta de Pinares de Mayarí al noroeste y de la Sierra Cristal al noreste, unidades de la neoplatформа (formaciones Mucaral y Yateras) y cuerpos de andesitas y basaltos.

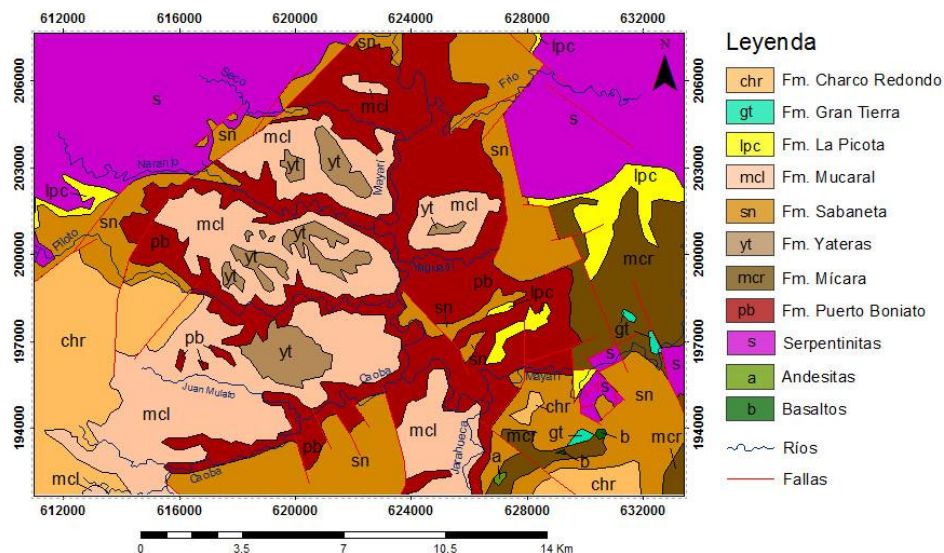


Figura 2. Esquema geológico del área de estudio. Fuente: IGP (2003).

El sureste del municipio de Mayarí pertenece al macrobloque montañoso nororiental, en la zona de articulación de las mesounidades Sierras de Nipe y

Cristal; su estilo geotectónico es de premontañas de bloques en plegamientos y monoclinales (Hernández-Santana *et al.* 1994).

La red de drenaje superficial es densa y compleja, organizada en varios tipos de drenaje que revelan el control tectónico estructural a que está sometido el territorio. Dentro de los tipos de drenaje destacan el rectangular, enrejado, radial, subparalelo y dendrítico. Las aguas corren preferentemente en dos direcciones: W-E y E-W, tributando al río Mayarí que se orienta de sur a norte y es el de mayor orden en el territorio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis cuantitativo o morfométrico del paisaje, apoyado en el modelo digital de elevación (MDE) representa un campo activo de investigación (Burbank y Anderson 2001). El MDE ha reemplazado a los antiguos mapas topográficos al permitir más rápidos y mejores análisis de parámetros topográficos (Azañón *et al.* 2012).

Se trabajó con un MDE de resolución 25x25 m, creado por el Taller de Geología de la empresa GEOCUBA Oriente Norte, a partir de la digitalización directa, de tipo vectorial manual. Las cartas topográficas digitalizadas a escala 1: 25 000 fueron: Guamutas 5077 IV-d, La Mina 5077 I-c, Camarones 5077 I-d, Loma de la Mensura 5077 III-b, Arroyo Seco 5077 II-a, Boca de Mícará 5077 II-b, Chamarreta 5077 III-d, Platanal 5077 II-c y Mayarí Arriba 5077 II-d. El MDE fue generado siguiendo el procedimiento propuesto por Moreno-Cruz y otros (2017).

El MDE obtenido se procesó con el software Surfer v.14 Global Mapper V.18 y Sistemas de Información Geográfica libres (QGIS y SAGA) para generar los índices morfométricos que permiten determinar el comportamiento de la actividad tectónica en el área de estudio.

Los índices geomorfológicos: curva e integral hipsométricas, factor de asimetría y radio de elongación se aplican en cuencas fluviales, definiéndolas como la unidad geomorfológica elemental. El análisis morfométrico de una cuenca de drenaje es de importancia para comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico e hidrológico, así como para inferir indirecta y cualitativamente la estructura (Cuéllar-Cárdenas *et al.* 2014). Los índices geomorfológicos basados en los parámetros de los ríos y en las propiedades de las cuencas proveen una relevante información de la actividad cuaternaria de estructuras tectónicas (Azañón *et al.* 2012).

2.1. Índices morfométricos

2.1.1. Curva hipsométrica

El análisis hipsométrico es el estudio de la distribución del área de una superficie en un terreno, con respecto a la elevación. Este es un índice independiente del área de la cuenca, por lo tanto, cuencas de diferentes dimensiones pueden ser estudiadas y comparadas mediante este parámetro (Strahler 1952).

La curva se obtiene representando la proporción de la altura total de la cuenca (altura relativa) frente a la proporción del área total de la cuenca (área relativa) (Strahler 1952). La forma de la curva indica el estado geomorfológico del relieve: joven, maduro o viejo. El estado juvenil aparece representado por una curva cóncava con la mayor área bajo la curva respecto a las otras. Si el estado de la cuenca es viejo la concavidad será hacia arriba y tendrá una menor área bajo la curva. El estado maduro se representa por una curva intermedia entre las dos anteriores, en forma de S.

2.2.2. Integral hipsométrica (IH)

La integral hipsométrica (IH) es definida como el área debajo de la curva hipsométrica y varía de 0 a 1. Cuencas altamente erosionadas muestran valores IH cercanos a 0 mientras las débilmente erosionadas se acercan al valor 1 (Giaconia *et al.* 2012). Cuéllar-Cárdenas y otros (2014) plantean que este es un índice que puede ser determinado por la ecuación 1:

$$IH = \frac{\text{elevación media} - \text{elevación mínima}}{\text{elevación máxima} - \text{elevación mínima}} \quad (1)$$

Los valores de la IH oscilan entre 0,15 y 0,85 y tienden a estar entre 0,4 y 0,6 (Pike y Wilson 1971); cuando son inferiores a 0,3 se considera que el relieve es viejo; entre 0,3–0,6 maduro y superiores a 0,6 joven.

2.2.3. Factor de asimetría (AF)/asimetría de la cuenca

Las cuencas hidrográficas son sensibles a la deformación tectónica y el patrón de drenajes se ve afectado en mayor o menor medida según la intensidad de la deformación (Keller y Pinter 1996). El valor de AF depende de la inclinación de las superficies, perpendicular a la dirección de la corriente principal.

Esta variable morfométrica es usada para detectar la presencia o ausencia de basculamiento regional en cuencas o en áreas extensas (Keller y Pinter 2002) y se define por la ecuación 2:

$$AF = 100(A_r/A_t) \quad (2)$$

Donde A_r es el área de la cuenca hacia la derecha del río aguas abajo y A_t es el área total de la cuenca. Si el valor de AF es menor o mayor que 50 indica que la cuenca es asimétrica (Keller y Pinter 2002). Pérez-Peña y otros (2010) sugieren expresar este factor como un valor absoluto menos 50, de esta forma se pueden definir cuatro clases de asimetría:

$AF > 15$ fuertemente asimétrica,

$AF = 10 - 15$ moderadamente asimétrica,

$AF = 5 - 10$ suavemente asimétrica y

$AF < 5$ cuenca simétrica.

2.2.4. Radio de elongación (Re)/forma de la cuenca

Las formas planimétricas de las cuencas de drenaje son descritas por el radio de elongación (Re) o índice adimensional de circularidad; R_c es el diámetro de un círculo con la misma área de la cuenca y L es el largo en el mapa entre dos puntos distantes en la cuenca. Una cuenca alargada tiene valores Re alrededor de 0,5; por el contrario, cuencas más circulares tienen valores Re próximos a uno (Bull 2009). El Re puede ser calculado por la ecuación 3:

$$Re = \frac{R_c}{L} \quad (3)$$

Cuencas altamente elongadas caracterizan escarpes activos (Shelton 1966), pero llegan a ser más circulares a través de procesos de migración de la divisoria de aguas y captura de drenajes (Horton 1932, 1945).

El análisis cuantitativo de las particularidades de las 17 cuencas fluviales ubicadas en el territorio permitió la caracterización de la tectónica reciente del sureste del municipio de Mayarí las cuales fueron evaluadas según sus dimensiones, forma, potencial erosivo, hipsometría y movimientos basculantes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 recoge los valores de los índices morfométricos obtenidos para las 17 cuencas estudiadas.

Tabla 1. Valores de los índices morfométricos

Nº de cuenca	A (km ²)	P (km)	IH	AF	Re
1	10,16	18,77	0,56	14,10	0,42
2	32,76	46,13	0,52	16,98	0,27
3	43,96	45,48	0,47	6,87	0,40
4	10,23	21,72	0,47	7,26	0,33
5	45,80	59,92	0,48	12,58	0,32
6	6,34	20,27	0,43	31,14	0,30
7	5,75	19,42	0,43	20,40	0,28
8	17,69	32,86	0,53	1,28	0,31
9	25,06	35,03	0,58	9,43	0,38
10	20,63	30,01	0,56	4,26	0,47
11	1,10	6,69	0,44	29,39	0,35
12	14,45	24,57	0,42	16,14	0,53
13	5,02	13,23	0,51	13,64	0,49
14	9,77	20,57	0,52	23,84	0,44
15	10,46	23,53	0,54	19,70	0,28
16	20,69	44,31	0,51	13,19	0,27
17	14,19	29,38	0,46	13,13	0,34

*A(km²): área de la cuenca en kilómetros cuadrados; P (km): perímetro de la cuenca en kilómetros; IH: integral hipsométrica; AF: factor de asimetría; Re: radio de elongación.

3.1. Curva hipsométrica

La curva hipsométrica es una poderosa herramienta para diferenciar áreas tectónicamente activas de áreas inactivas (Keller y Pinter 1996). El análisis de los gráficos de las curvas hipsométricas revela que la región se encuentra según su desarrollo geomorfológico en un estado de madurez; los procesos de ladera e incisión fluvial presentes están en equilibrio.

Aunque todas las curvas muestran preferentemente forma de S, se distinguen entre ellas diferencias que permiten dividir las en tres grupos. El primer grupo integrado por las cuencas 3, 5, 12, 13 y 17 se caracteriza por presentar en la parte superior y media de la curva una ligera concavidad, que evidencia un estado de madurez avanzada o tardía con respecto a las demás cuencas del territorio (Figura 3).

El segundo grupo, conformado por las cuencas 1, 2, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 14 y 16, es el que posee mayor correlación con la forma de S ideal de las curvas hipsométricas; las cuencas que determinan se caracterizan por un control balanceado de la actividad tectónica reciente y los procesos de modelación superficial. Independientemente de la relativa homogeneidad en la forma de las curvas de este grupo existe un aspecto significativo para dos de ellas. Las curvas 1 y 10 exhiben en su parte baja una tendencia convexa, que según Giaconia y otros (2012), indica procesos de rejuvenecimiento en la base del drenaje, lo cual influye directamente en un aumento del potencial erosivo en esta región.

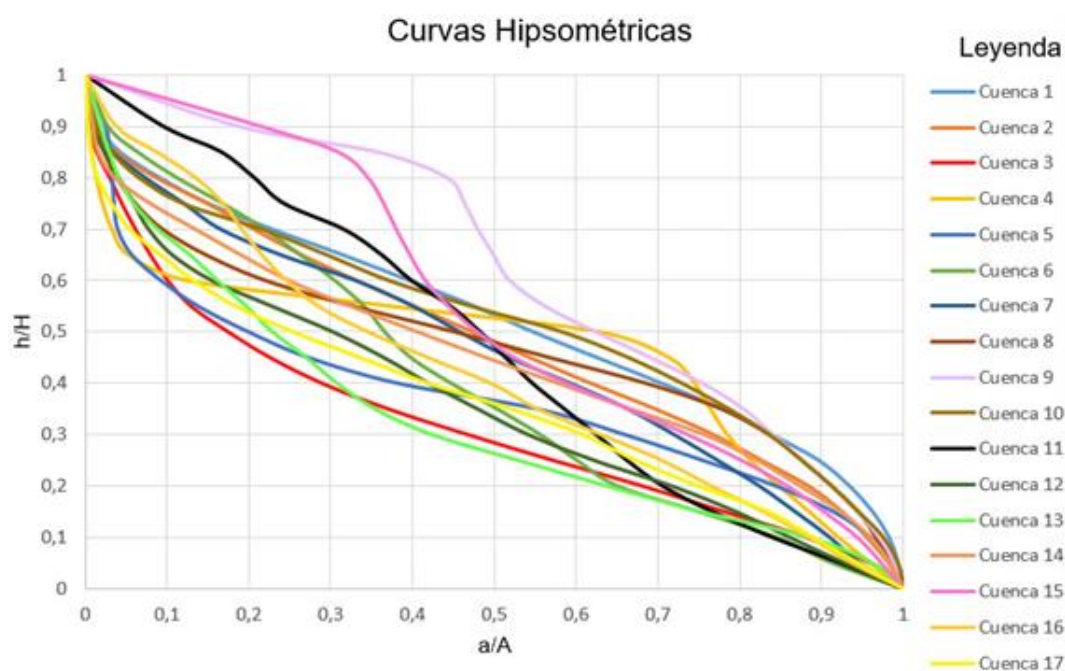


Figura 3. Curvas hipsométricas de las 17 cuencas analizadas. H: diferencia entre la cota máxima y mínima de la cuenca; h: cota escogida; A: área total de la cuenca; a: área por encima de la curva de nivel escogida.

El tercer grupo está formado por las curvas de las cuencas 9 y 15, que tienen una tendencia a la convexidad, principalmente en su parte superior. Las cuencas que estas curvas definen se hallan en un estado de madurez temprana, por lo que existe un predominio de la actividad tectónica en el control geodinámico. Estas cuencas se ubican en el noroeste del territorio (Figura 4), la convexidad de su curva probablemente se deba a que más del 40 % de su área está sobre los flancos de la meseta Pinares de Mayarí, zona de mayor intensidad en los movimientos verticales de ascenso y con un elevado potencial erosivo.

El análisis de la curva hipsométrica evidencia que los sectores que se ubican al noroeste (cuencas 9 y 15), centro norte (cuenca 10) y suroeste (cuenca 1)

presentan una actividad tectónica de moderada a alta, mientras que las cuencas al norte, centro este, sur y oeste del territorio muestran un equilibrio en la acción de sus controladores geodinámicos, hallándose en un estado de madurez *sensu stricto*. Las cuencas localizadas al norte, centro y sureste del área de estudio son el resultado de un ligero predominio de la incisión fluvial (cuencas 3, 5, 12, 13 y 17).

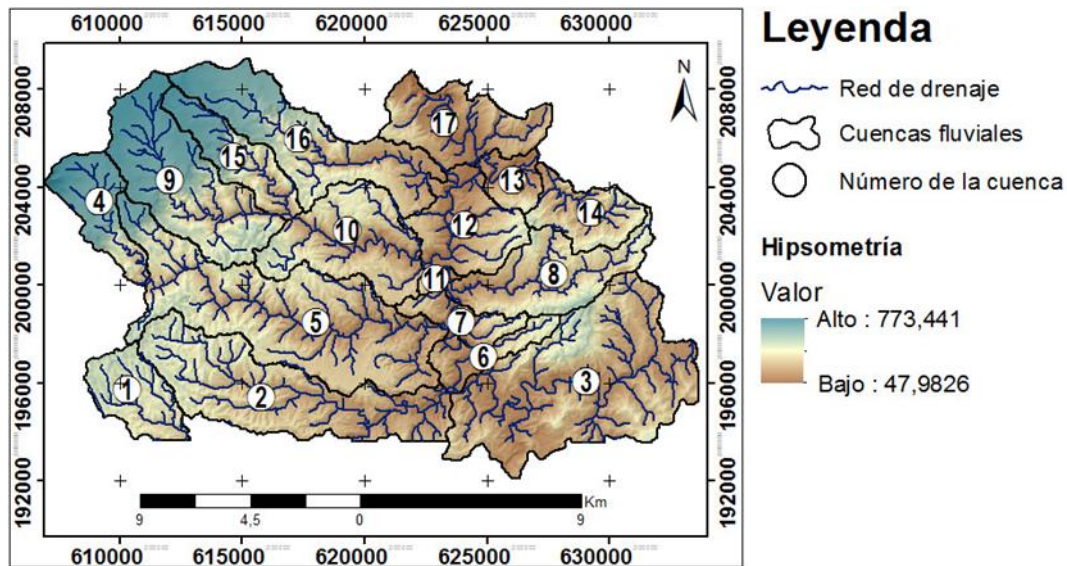


Figura 4. Mapa de ubicación de las cuencas fluviales.

3.2. Integral hipsométrica

Los valores de IH en la región oscilan entre 0,42–0,58 (Tabla 1) y evidencian un relieve maduro. A partir de los valores obtenidos de IH se establecen tres categorías para diferenciar el grado de madurez de la superficie estudiada:

- 1) $0,42 \leq IH \leq 0,45$ madurez tardía;
- 2) $0,45 < IH \leq 0,5$ madurez (*sensu stricto*);
- 3) $IH > 0,5$ madurez temprana.

Las cuencas en el estadio geomorfológico de madurez tardía se encuentran en el centro del área (Figura 5) y se caracterizan por una tectónica activa de moderada a baja.

La segunda categoría comprende las cuencas que se distribuyen al norte, sureste y centro oeste del territorio (Figura 5), sus valores de IH son muy cercanos a 0,45. La tercera categoría es la que cubre mayor área y está dada por valores que evidencian una ligera preponderancia de la actividad tectónica, marcada por procesos de rejuvenecimiento en la superficie de la cuenca o en el nivel base del drenaje. Dentro de esta categoría existen tres

cuencas (1, 9 y 10) que revelan una mayor intensidad en el desarrollo de los procesos de laderas, sus valores de IH son superiores a 0,55 y se localizan en el centro, oeste y suroeste del territorio (Figura 5).

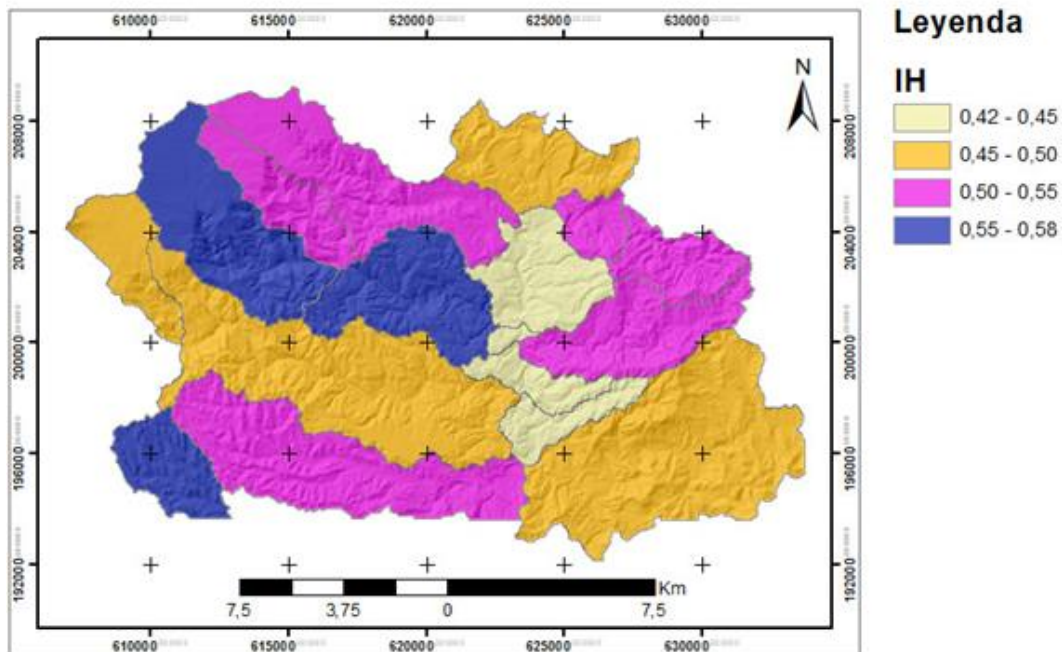


Figura 5. Mapa de distribución espacial de los valores de integral hipsométrica.

3.3. Factor de asimetría (AF)/asimetría de la cuenca

En la región existen, según los valores de AF (Tabla 1), dos cuencas simétricas (la 8 y la 10) y se distinguen cinco zonas con una tendencia de basculamiento sistemática (Figura 6). Al norte, dos cuencas moderadamente asimétricas muestran un patrón de basculamiento en dirección NE. En el noroeste y oeste, con un patrón similar pero con orientación ENE, aparecen cuencas suave y fuertemente asimétricas. La franja central este, que se caracteriza por ser fuertemente asimétrica, revela un basculamiento preferencial hacia el NW (Figura 6).

En el noreste dos cuencas, de moderada a fuertemente asimétricas, evidencian un movimiento basculante hacia el NNW. La quinta zona se enmarca en la porción sur y centro-oeste, con cuencas que van desde moderadamente hasta fuertemente asimétricas con una tendencia de basculamiento en dirección NE, y siguen el estilo general de la inclinación de las superficies al oeste del río Mayarí. En el sureste y suroeste, sin una relación espacial aparente, se muestran dos cuencas con basculamiento SW.

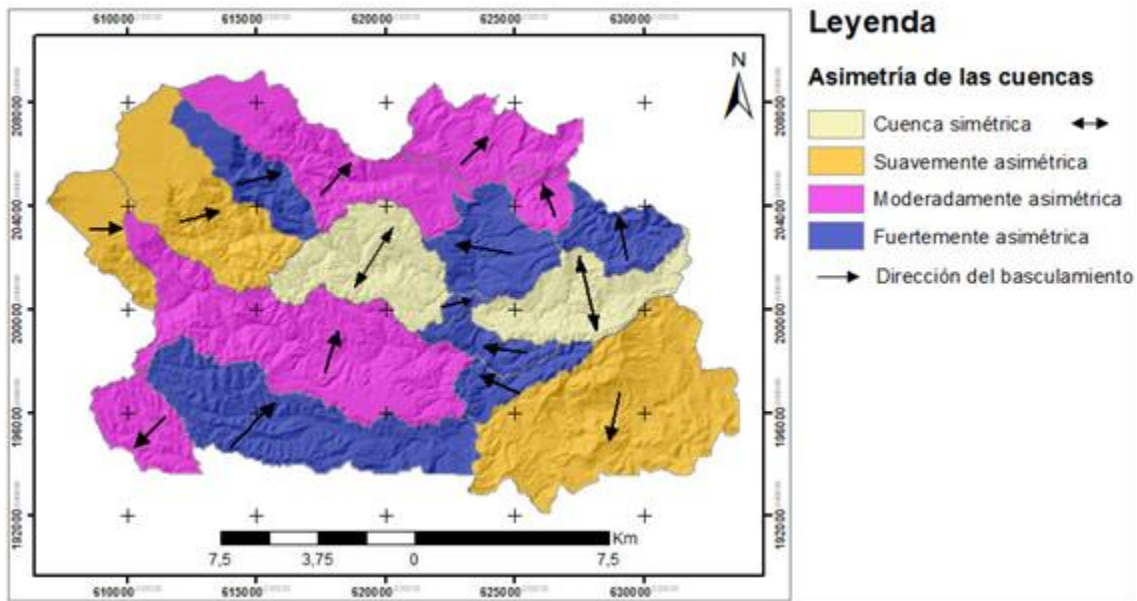


Figura 6. Mapa de la dirección del basculamiento de las cuencas y su asimetría.

3.4. Radio de elongación (Re)/forma de la cuenca

En el territorio los valores del radio o razón de elongación (Re) determinan cuencas de elongadas a fuertemente elongadas (Tabla 2) y revelan una tectónica activa diferenciada en toda la región. En el este y centro del área de estudio se distribuye una franja cubierta por las cuencas 10, 12, 13 y 14 con los valores más altos de Re (Figura 7), las cuales llegan a ser más circulares por los procesos de migración de sus divisorias y de captura.

Las cuencas con mayor grado de elongación se ubican al norte, centro este y sur del territorio e indican zonas de actividad tectónica más intensas (Figura 7). Las localizadas al norte cubren parte de los flancos de la meseta Pinares de Mayarí y probablemente su forma fuertemente elongada esté relacionada con los movimientos de ascenso asociados a estos flancos. El resto del área de estudio la conforman superficies muy elongadas.

Tabla 2. Categorías del radio de elongación

Nº de cuenca	Re	Categoría
1	0,42	Muy elongada
2	0,27	Fuertemente elongada
3	0,40	Muy elongada
4	0,33	Muy elongada
5	0,32	Muy elongada

6	0,30	Muy elongada
7	0,28	Fuertemente elongada
8	0,31	Muy elongada
9	0,38	Muy elongada
10	0,47	Elongada
11	0,35	Muy elongada
12	0,53	Elongada
13	0,49	Elongada
14	0,44	Elongada
15	0,28	Fuertemente elongada
16	0,27	Fuertemente elongada
17	0,34	Muy elongada

*Re: radio de elongación

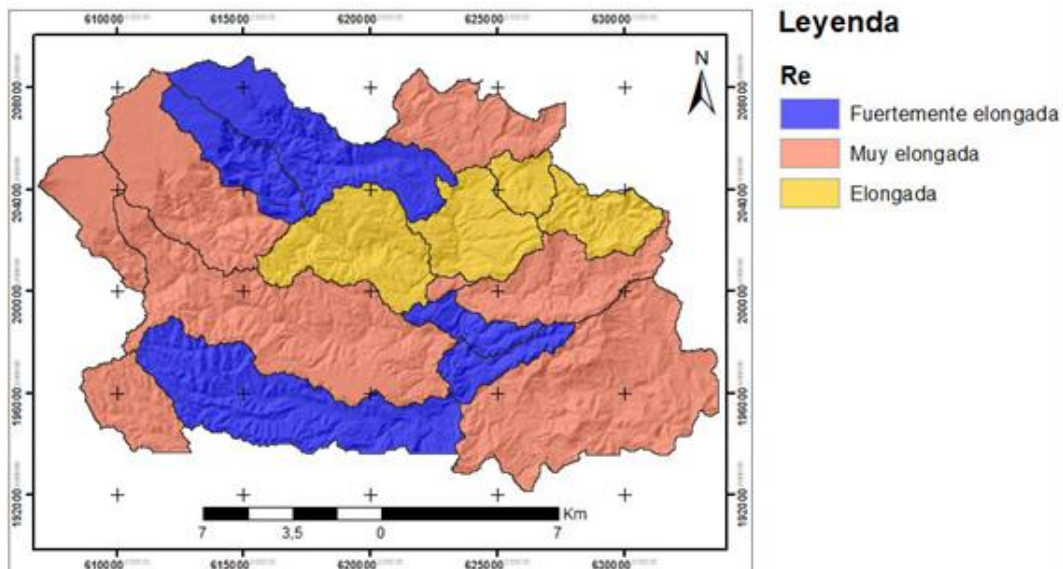


Figura 7. Mapa de distribución del radio de elongación.

4. CONCLUSIONES

- La actividad tectónica reciente, de carácter moderado a alto, ha condicionado el paisaje del territorio a partir de los movimientos verticales de ascenso, lo que ocasiona cambios en los niveles base de erosión.
- En la geodinámica actual del área de estudio predomina el equilibrio entre los procesos erosivos y los procesos de formación de ladera.

- Las zonas con tectónica más activa se ubican en el noroeste y suroeste del territorio, mientras que en el noreste se localizan predominantemente las de actividad tectónica menos intensa

5. REFERENCIAS

- Azañón, J. M.; Pérez-Peña, J. V.; Giaconia, F.; Booth-Rea, G.; Martínez-Martínez, J. M. y Rodríguez-Peces, M. J. 2012: Active tectonics in the central and eastern Betic Cordillera through morphotectonic analysis: the case of Sierra Nevada and Sierra Alhamilla. *Journal of Iberian Geology*, 38(1): 225-238.
- Babu, K. J.; Sreekumar, S.; Arish, A. and Midhun, K. P. 2014: Hypsometry and Geomorphic Development of a Watershed: A Case Study from South India. *International Journal of Science and Research*, 3(10). Consultado: 11/06/2017. Disponible en: <http://www.ijsr.net>.
- Barea, M. y Rodríguez, M. 1985: Análisis estructuro-geomorfológico en el parte norte de la provincia Holguín. *Boletín Sociedad Cubana de Geología*, 2(1): 53-73.
- Barea-Pérez, I.; Barrera-Veitía; M. y Rodríguez-Infante, A. 2010: Estudio morfotectónico del área enmarcada por las concesiones mineras La Delta, Cantarrana y Santa Teresita. *Minería y Geología*, 26(1): 112. Consultado: 08/06/2017. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223514966001>.
- Bull, W. B. 2009: *Tectonically active landscapes*. John Wiley & Sons. Consultado: 20/04/2017. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=o3vymD4IUuYC&oi=fnd&pg=PT7&dq=Tectonically+Active+Landscapes&ots=g8s1EO8mgP&sig=LxrSKotafu5LJWjn5IrzWbNan0#v=onepage&q=Tectonically%20Active%20Landscapes&f=false>.
- Burbank, D. W. y Anderson, R. S. 2001: *Tectonic geomorphology*. John Wiley & Sons.
- Carralero-Castro, N. y Conde-Rodríguez, M. 2015: Características geomorfológicas y morfoestructurales de la provincia de Holguín. En: XI Congreso Cubano de Geología. Geomorfología. La Habana, p. 10.
- Cotilla-Rodríguez, M. O.; González-Clemente, E. C.; Cañete-Pérez, C. C.; Díaz-Comesañas, J. L. y Carral-Chao, R. 2003: La red fluvial de Cuba y su interpretación morfoestructural. *Revista Geográfica*, (134): 23-50. Consultado: 19/09/19. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/40992852?seq=1>.
- Cruz-Orosa, I. y Blanco-Moreno, J. A. 2007: Análisis estructural a escala regional de la zona de fallas La Trocha. *Minería y Geología*, 23(2): 24.
- Cuéllar-Cárdenas, M. A.; López-Isaza, J. A.; Carrillo-Lombana, E. J.; Ibáñez-Almeida, D. G.; Sandoval-Ramírez, J. H. y Osorio-Naranjo, J. A. 2014:

- Control de la actividad tectónica sobre los procesos de erosión remontante: el caso de la cuenca del río Combeima, Cordillera Central, Colombia. En: *Boletín de Geología*, 36(1): 37-56. Colombia.
- Dhanya, V. 2014: Basin asymmetry and associated tectonics: A case study of Achankovil river basin, Kerala. *Transactions*, 36(2).
- Estévez-Cruz, E.; Ordaz-Hernández, A. y Hernández-Santana, J. R. 2017: Deformaciones neotectónicas en el relieve fluvial de la Llanura Sur de Pinar del Río, Cuba. En: *Investigaciones Geográficas*, (94). Boletín del Instituto de Geografía. UNAM, México.
- Faghih, A.; Nezamzadeh, I. y Kusky, T. 2015: Geomorphometric evidence of an active pop-up structure along the Sabzpushan Fault Zone, Zagros Mountains, SW Iran. Consultado: 05/11/2017. Disponible en: <http://en.earth-science.net/PDF/20160906040914.pdf>.
- Farhan, Y.; Elgaziri, A.; Elmaji, I. and Ali, I. 2016: Hypsometric Analysis of Wadi Mujib-Wala Watershed (Southern Jordan) Using Remote Sensing and GIS Techniques. *International Journal of Geosciences*, 7: 158-176.
- Fernández, S.; Álvarez, J. y Menéndez, R. 2012: Tasas medias de denudación, morfometría e hipsometría en cuencas costeras del Norte de España. Resúmenes extendidos del VIII Congreso Geológico de España. p. 711-713. Consultado: 23/11/2017. Disponible en: http://digital.csic.es/bitstream/10261/87636/1/Alvarez_Marron_2012_g_eotemas_13_235.pdf.
- Giaconia, F.; Booth-Rea, G.; Martínez-Martínez, J. M; Azañón, J. M; Pérez-Peña, J. V.; Pérez-Romero, J. and Villegas, I. 2012: Geomorphic evidence of active tectonics in the Sierra Alhamilla (eastern Betics, SE Spain). En: *Geomorphology*. España.
- González-Clemente, E. C.; Cañete-Pérez, C. C. y Díaz-Comesañas, J. L. 1992: Análisis geomorfológico estructural de áreas cromíticas en Moa-Baracoa. *Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 20: 37-48.
- Hernández-Santana, J. R. 1989: *Geomorfología estructural del sistema montañoso de la Sierra Maestra y de las depresiones Graben adyacentes*. La Habana.
- Hernández-Santana, J. R.; Ortiz-Pérez, M. A.; Magaz-García, A. R.; Díaz-Díaz, J. L. y Zamorano-Orozco, J. J. 1994: Estilos geotectónicos bidimensionales y tridimensionales interbloques: una nueva categoría neotectónica para la determinación morfoestructuras montañosas. En: *Investigaciones Geográficas*, (28). Boletín del Instituto de Geografía. UNAM, México.
- Hernández-Santana, J. R.; Magaz-García, A. R. y Díaz-Díaz, J. L. 2001: Evolución morfoestructural del relieve de Cuba nororiental. En: IV Congreso de Geología y Minería. Geología del Cuaternario, geomorfología y carso. La Habana, p. 23-39.

- Horton, R. E. 1932: Drainage-basin characteristics. En: *Eos, transactions american geophysical union*, 13(1): 350-361.
- Horton, R. E. 1945: Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56(3): 275-370.
- IGP. 2003: Mapa Geológico Digital de la República de Cuba a escala 1:100 000. Instituto de Geología y Paleontología.
- Iturralde-Vinent, M. A. 1998: Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. *Acta Geológica Hispánica*, 33(14): 9-56.
- Keller, E. A. and Pinter, N. 1996: *Active tectonics*. NJ, USA: Prentice Hall.
- Keller, E. A and Pinter, N. 2002: *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape*. NJ, USA: Prentice Hall.
- Moreno-Cruz, Y.; Ricardo-Labrada, A.; Rodríguez-Infante, A. y Figueroa-Guerrero, Y. 2017: Metodología para la confección del Mapa Geomorfológico de la República de Cuba a escala 1:100 000. Guía para su elaboración.
- Paškauskas, S. and Vekeriotienė, I. 2013: Hypsometric assessment of the pre-last Glaciation (Late Saalian) topography, the south-east Lithuania. *Baltica*, 26(1): 105-114.
- Pérez-Peña, J. V.; Booth-Rea, G.; Martínez-Martínez, J. M.; Azañón, J. M.; Pérez-Romero, J. and Villegas, I. 2009: Differentiating geology and tectonics using a spatial autocorrelation technique for the hypsometric integral. *Journal of Geophysical Research*, 114.
- Pérez-Peña, J. V.; Antonio-Azor, J. V.; Azañón, J. M. and Keller, E. A. 2010: Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): Insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis. *Geomorphology*, 119: 74-87. España.
- Pike, R. J. and Wilson, S. E. 1971: Elevation-relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis. *Geological Society of America Bulletin*, 82(4): 1079-1084.
- Ramírez-Hernández, R. 2018: *Análisis morfotectónico del sector sur de la Cordillera de Guaniguanico, entre las cuencas de los ríos El Cangre y San Cristobal, Pinar del Río-Artemisa*. Tesis doctoral. Universidad de Pinar del Río.
- Rosabal-Domínguez, S.; Rodríguez-Infante, A. y Zapata-Balanqué, J. A. 2016: Esquemización morfotectónica del sector Guamá, Santiago de Cuba. *Minería y Geología*, 32(3): 32-46.
- Sarp, G.; Gecen, R.; Toprak, V. and Duzgun, S. 2011: Morphotectonic properties of Yenicaga basin area in Turkey. En: 34th International symposium on remote sensing of environment (ISRSE34). p. 10-15.

- Shahzad, F.; Mahmood, S. A. and Gloaguen, R. 2009: Drainage Network and Lineament Analysis: An Approach for Potwar Plateau (Northern Pakistan). *Journal of Mountain Science*, 6: 14–24. Alemania.
- Shelton, J. S. 1966: *Geology illustrated*. WH Freeman San Francisco.
- Strahler, A. N. 1952: Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(23): 1117-1142.
- Triana-Rodríguez, D. 2015: *Obtención de parámetros hidrológicos y morfométricos empleando herramientas informáticas modernas. Caso de estudio: Cuenca del río Sagua La Grande*. Alberto Díaz Barata (Tutor). Tesis de diploma. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. 52 p.
- Viramontes-Olivas, O. A.; Escoboza-García, L. F.; Pinedo-Álvarez, C.; Pinedo-Álvarez, A.; Reyes-Gómez, V. M.; Román-Calleros, J. A. y Pérez-Márquez, A. 2007: Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua. *Tecnociencia*, 1(3).

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores no tienen conflictos de intereses que declarar.

Contribución de los autores

Todos los autores contribuyeron por igual

ORCID

ARI, <https://orcid.org/0000-0001-7997-7145>

Recibido: 09/05/2019

Aceptado: 04/03/2020