

Estudio del relieve a través del drenaje del área delimitada por la hoja cartográfica los palacios a escala 1:50 000



Study of the relief through the drainage of the area defined by the cartographic leaf Los Palacios to scale 1:50 000

<http://opn.to/a/OGWSE>

Yuliemi de la Caridad Milá Doma ^{1*}, Nadia Garriga Francés ¹,
Robert Ramírez Hernández ², Carlos Díaz Guancho ²

RESUMEN: El trabajo se enfoca en la aplicación ajustada de un conjunto de métodos morfométricos para realizar el análisis geomorfológico en la hoja cartográfica Los Palacios (3583-I), al sureste de la Falla Pinar. Dónde se tiene como objetivo estudiar el relieve a través del drenaje proveniente de esta región. El área de estudio abarca 117 Km² de los cuales el 98,97% pertenecen a llanuras medias que ocupan 115, 8km². Se realizaron los mapas de isobasitas para los ríos de orden 2 y 3. Las que constituyen curvas que unen puntos de igual nivel de base de erosión y la obtención de estas nos permite realizar un análisis de la evolución del relieve y de los diferentes movimientos tectónicos que han influido en el desarrollo del mismo. Otro método utilizado fue el perfil longitudinal e índice de gradiente de corriente, SL, para los dos ríos principales del área de estudio "Santo Domingo" y "Manso". Él que determino las características morfométricas de los cauces fluviales. A través de este es posible establecer las pendientes y sus rupturas, además de las interpretaciones geométricas en base a factores como la litología y la tectónica. Finalmente quedo validada la metodología utilizada para establecer la influencia de la tectónica y la litología en territorios con características semejantes a estas.

Palabras clave: geomorfología, morfometría, neotectónica, análisis estructural.

ABSTRACT: The work focuses on the tight application of a set of morphometric methods to perform the geomorphological analysis on the Los Palacios map sheet (3583-I), southeast of the Pinar Fault. Where it aims to study the relief through drainage from this region. The study area covers 117 km² of which 98.97% belong to medium plains that occupy 115, 8km². Isobasite maps were made for rivers of order 2 and 3. Those that constitute curves that join points of equal level Erosion base and obtaining them allows us to perform an analysis of the evolution of the relief and the different tectonic movements that have influenced its development. Another method used was the longitudinal profile and current gradient index, SL, for the two main rivers of the "Santo Domingo" and "Manso" study area. He who determined the morphometric characteristics of river channels. Through this it is possible to establish the slopes and their ruptures, in addition to geometric interpretations based on factors such as lithology and tectonics. Finally, the methodology used to establish the influence of tectonics and lithology in territories with similar characteristics is validated.

Keywords: geomorphology, morphometry, neotectonics, structural analysis.

Recibido: 15/11/2019

Aprobado en su forma original: 23/04/2020

¹Instituto de Geología y Paleontología, CP 11000, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.

²Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río, Cuba.

*Correo electrónico: yuliemi@igp.minem.cu

INTRODUCCIÓN

La Geomorfología alcanza sus objetivos en el momento de cuantificar los hechos geomorfológicos, mediante la confección de esquemas geólogo-geomorfológico los cuales son un medio fundamental para la cuantificación, descripción precisa y dinámica de aquellos procesos y mecanismos que han modelado y modelan las formas del relieve terrestre.

Los métodos morfométricos, son aquellos utilizados en la obtención de las medidas de las formas de la superficie terrestre. Los cuales son empleados muy frecuentemente durante las investigaciones geomorfológicas y especialmente como métodos más exactos en el análisis estructural-geomorfológico en el estudio de los movimientos novísimos de la corteza terrestre.

La falla Pinar constituye uno de los rasgos morfoestructurales y geodinámicos más relevantes dentro del distrito geográfico pinareño, con una extensión de 160 km, una dirección suroeste-noreste, separando la parte sur de la Cordillera de Guaniguanico de la depresión de Los Palacios, con 3 km aproximadamente de desplazamiento vertical ([Pszczolkowski et al., 1987](#)) y un buzamiento subvertical hacia el S (70° a 80°), llegando a cortar la corteza continental según [Fernández de Lara y Fajardo \(2002\)](#).

En la actualidad, la creación de modelos digitales de elevación (MDE) permite la caracterización cuantitativa del relieve (Burrough y McDonnell, 1998; Wilson y Gallant, 2000) y reconocer el efecto tectónico en su evolución, especialmente en zonas tectónicas muy activas (Delcaillau, 2001; Scott y Pinter, 2003; Molin et al., 2004; Ganas et al., 2005). En las regiones llanas resulta difícil la detección de evidencias de deformaciones neotectónicas en su relieve, por lo que resulta necesario utilizar un enfoque complejo. En este sentido, el análisis morfotectónico permite identificar formas del relieve controladas por los movimientos neotectónicos, cuando las velocidades de deformación son relativamente altas (Ruszkiczay-Rüdiger et al., 2009).

Este trabajo profundiza en el estudio geólogo-geomorfológico, de un sector del municipio Los Palacios, en Pinar del Río con el empleo de técnicas automatizadas. El área de estudio se

encuentra al sureste de la Falla Pinar, por lo que en la misma no existe gran actividad tectónica como ocurre al norte de la Falla Pinar ([Socas, 2002](#)).

El insuficiente conocimiento sobre las características geomorfológicas de la hoja cartográfica Los Palacios, escala 1:50 000, constituye el **problema** de esta investigación. Formulando como **hipótesis** lo siguiente: La aplicación de métodos morfométricos puede determinar la influencia de la litología y la tectónica sobre el área de estudio. Nuestro **objeto de estudio** es: Las características geomorfológicas de la zona correspondiente a la hoja cartográfica Los Palacios, escala 1:50 000. Por consiguiente, el **objetivo general** de la investigación es: Determinar las características geomorfológicas de la hoja cartográfica Los Palacios, escala 1:50 000. Los **objetivos específicos** son:

1. Identificar tipo y variaciones en la red de drenaje.
2. Realizar el análisis estructural del área.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos empleados permiten interpretar la tendencia de la actividad morfotectónica dentro de las cuencas de drenaje y delimitar estructuras deformadas y sujetas a movimientos neotectónicos.

Ubicación geográfica

El área de estudio se ubica en la región suroriental del municipio Los Palacios en Pinar del Río ([Figura 1](#)), la cual abarca 117km² de superficie y está comprendida en la hoja cartográfica Los Palacios (3583-I). Las formaciones que la conforman van desde el Oligoceno Superior - Holoceno, representadas por depósitos terrígenos y carbonatados principalmente.

Para el análisis neotectónico y estructuro-geomorfológico se aplicaron los métodos siguientes: a) análisis de las estructuras subyacentes de isobasitas de 2do y 3er orden; b) estudio morfológico del drenaje y c) análisis del perfil longitudinal e índice de gradiente de corriente, SL. En donde la base de datos de partida y nuestros principales materiales está constituida por la siguiente información:

- Modelo Digital del Terreno del área de estudio a escala 1: 25 000.
- Mapa geológico de Los Palacios a escala 1:50000.
- Red de drenaje extraída de forma manual y por métodos automáticos a partir de las hojas topográficas 1: 50 000 y Modelo de Digital del Terreno.

Análisis de las estructuras subyacentes de isobasitas de 2do y 3er orden

Las isobasitas son curvas que unen puntos de igual nivel de base de erosión (an effective lower limit to erosional processes) de los ríos (Jain, V.E., 1973). Mediante esta interpretación se identificaron superficies erosionadas formadas por eventos tectónicos y erosivos recientes (Golts y Rosenthal, 1993; Cox, 1994). Este método es simple pero muy efectivo, pues revela estructuras que no se manifiestan en superficie y no son reveladas por el MDT.

Para la realización de este análisis se extrajeron de la red de drenaje los ríos del orden a analizar y se interceptaron con el mapa de curvas de nivel. “Intercept” fue la herramienta utilizada para extraer los valores de la intercepción y el método de inverso de la distancia (IDW) fue el algoritmo de interpolación empleado para la obtención de estos mapas.

Estudio morfológico del drenaje

La red de drenaje constituye el sistema natural de más rápida respuesta ante los cambios que se producen sobre la superficie. Está es utilizada en el esclarecimiento de las características geológicas de una región y de su análisis podemos determinar litología, estructuras y líneas de debilidad tectónica.

Existen varios métodos de clasificación o categorización del drenaje (Horton,1945; [Strahler, 1957](#); Leopold et al., 1964; Shreve, 1967; Scheidegger, 1970 en: de Pedraza, 1996); en esta investigación las secuencias extraídas se organizaron jerárquicamente utilizando el orden de [Strahler \(1957\)](#), según el cual una corriente de primer orden es aquella que no tiene ningún tributario, la unión de dos corrientes de primer orden forman una corriente de orden dos, la unión de dos corrientes de orden dos forman una corriente de orden tres y así hasta alcanzar *n* orden de la red de drenaje.

Los estudios del drenaje se basaron principalmente en la determinación del patrón de drenaje, teniendo en cuenta la distribución de este en el área de estudio. Se realizó el procesamiento de las principales variaciones en la orientación de los ríos presentes en la zona.

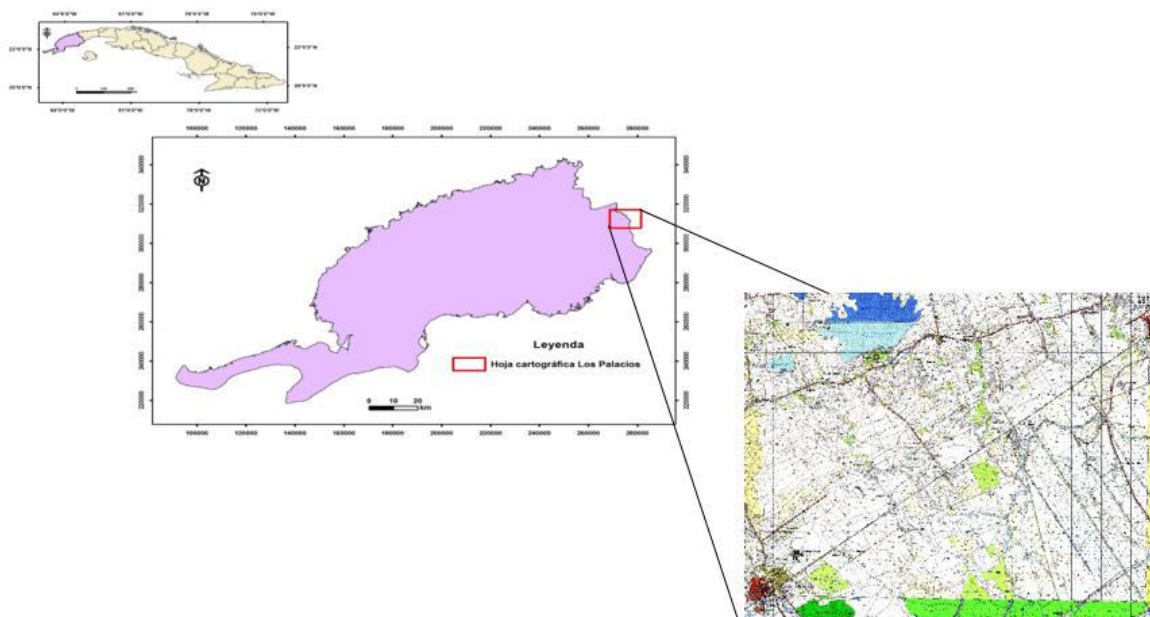


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio

Análisis del perfil longitudinal e índice de gradiente de corriente, SL

El perfil longitudinal, constituye una representación de las características morfológicas de los cauces fluviales. A través de este es posible establecer las pendientes y sus rupturas, además de interpretaciones geométricas en base a factores como la litología y la estructura. Este método se basa en la susceptibilidad de las corrientes superficiales a los cambios o deformaciones que se producen en el relieve.

La tendencia de toda corriente es alcanzar su perfil de equilibrio en el cual, según ([Leopold & Bull, 1979](#)), las características del cauce se ajustarán de forma tal que la corriente posea la fuerza y la eficiencia necesaria para transportar la carga sedimentaria proveniente de la cuenca de drenaje sin erosión ni acumulación de sedimentos en el cauce. Desviaciones de la forma típica del perfil longitudinal del río, como puntos de inflexión entre otros, indican un estado de desequilibrio resultante ya sea de la litología del área o perturbaciones tectónicas.

Para llevar a cabo el estudio del perfil, fue utilizado el método del índice de gradiente, SL. En donde la evolución del relieve es resultado de la acción combinada de los procesos erosionales y las fuerzas que levantan el terreno; cuando ambos alcanzan una posición de equilibrio dinámico el perfil longitudinal de los ríos muestra forma cóncava ([Schumm S., 1956](#)). Las desviaciones en el perfil, pueden estar provocadas por factores litológicos o tectónicos que causen modificaciones en el estado de equilibrio entre los procesos mencionados anteriormente.

El índice de gradiente de corriente, SL, fue propuesto por ([Hack, 1956](#)), para discutir la influencia de diferentes variables sobre el perfil longitudinal de los ríos y verificar las condiciones de equilibrio de los mismos; matemáticamente se define como :

$$SL = \frac{\Delta H}{\Delta L} * L_c$$

SL - Índice de gradiente de la corriente.

$\frac{\Delta H}{\Delta L}$ - gradiente de la corriente en cada sección del tramo.

L_c - longitud desde la divisoria de las aguas hasta el centro de la sección investigada.

Este índice es sensible a los cambios en la pendiente del terreno, lo que permite evaluar la resistencia de las rocas y la actividad tectónica presente. En áreas de tectónica activa este índice muestra valores anormalmente altos, en especial donde los valores de resistencia de las rocas son similares, debido a que los cauces muestran un tiempo de retraso para ajustarse a los cambios tectónicos.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

El principal resultado obtenido a partir de las técnicas y métodos utilizados, está dado por el papel que juegan la tectónica y la litología en la conformación del relieve actual del territorio, en el cual predomina el papel de la litología sobre la tectónica. Esto demuestra la validez de la aplicación de los mismos en este tipo de estudio y su aplicabilidad en otras áreas del territorio nacional donde se desarrollen ambos procesos.

Resultado del análisis de las Isobasitas de 2do y 3er orden

Las isobasitas marcan la superficie básica de erosión de los ríos de un determinado orden, es decir marcará el plano inclinado que delimita el fondo de los valles de los ríos de dicho orden ([Jain, V.E., 1973](#)).

La confección de estos mapas de isobasitas es de gran utilidad en los estudios tectónicos y neotectónicos, además, sirve para estimar la evaluación de la intensidad de la erosión en el tiempo; con el fin de analizar estos aspectos se obtuvieron los mapas de segundo y tercer orden y para darle el orden correspondiente a cada río se utilizó la clasificación según Strahler (1975). En la [Figura 2](#) y [3](#) los mayores valores de isobasitas de orden 2 y 3 corresponden a la porción NW del mapa, la cual corresponde a las zonas más elevada del relieve, en donde pudiesen estar las principales estructuras geomorfológicas del área, y además es la que presenta mayor resistencia a la erosión provocada por los ríos del orden correspondiente a cada mapa de isobasitas. La zona sur del mapa corresponde a la zona llana del área, la cual posee los valores más bajo del relieve como su coloración indica, en donde se encuentra mucho material joven del relieve.

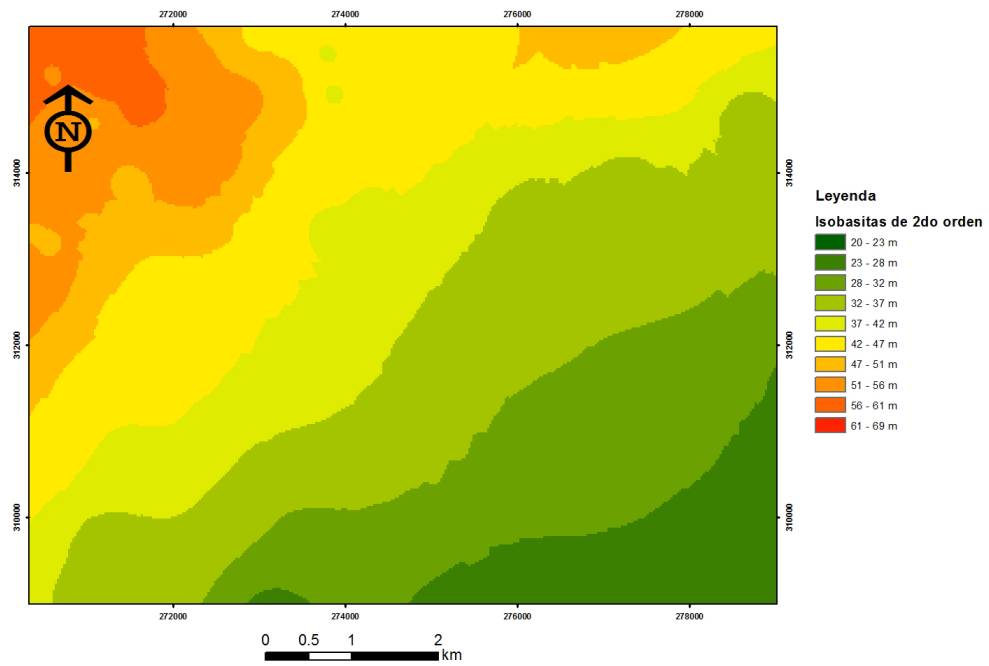


Figura 2. Mapa de isobasitas de 2do orden

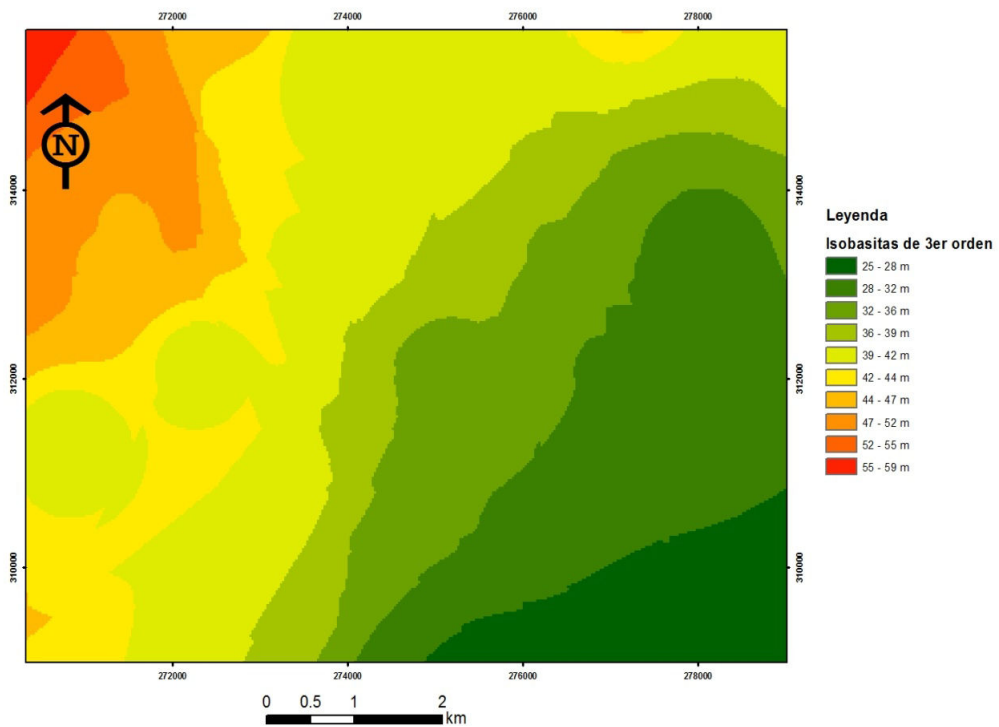


Figura 3. Mapa de isobasitas de 3er orden

Resultado del Análisis Morfológico del drenaje

Por tanto, analizando la red de drenaje de la zona de estudio podemos observar que mayoritariamente se encuentra formada por varias corrientes principales con sus afluentes primarios y secundarios que se unen en todas direcciones. Sus cursos mayoritariamente son pequeños, cortos e irregulares y cubren áreas amplias, por tanto, pudiéramos clasificar la red de drenaje del área de estudio como dendrítica.

Variaciones en el drenaje

Para la realización del análisis de las variaciones del drenaje se clasificaron las corrientes de los ríos por sus órdenes según la clasificación de Strahler (1975) (Figura 4).

El estudio de orientación de las corrientes de orden 1 arrojó como resultado que todas ellas se orientan en una dirección preferencial NE 0°-10° SW (Figura 6) probablemente siguiendo el rumbo de las fallas originadas durante los cabalgamientos. En la (Figura 6) se muestra la dirección preferencial de las corrientes de orden 1 con la superposición del modelo de Riedel para demostrar su relación con la dirección preferencial de la falla Pinar. Los juegos anti-Riedel R_2 muestran la dirección preferencial de

los esfuerzos y se encuentran con dirección NE 0°-10°SW. Las fracturas tipo P que forman un ángulo de 40°-50° con la zona principal de desplazamiento deben corresponderse con fracturas de cizallamiento sintéticas.

El estudio de orientación de las corrientes de orden 2 arrojó como resultado que todas ellas se orientan en una dirección preferencial NE 90°-100° SW (Figura 7), probablemente siguiendo el rumbo de las fallas originadas durante los cabalgamientos

Las direcciones preferenciales de los esfuerzos están asociados a las fracturas tipo P que forman un ángulo de NE 40°-50°SW con la zona principal de desplazamiento deben corresponderse con fracturas de cizallamiento sintéticas.

Las fracturas R_2 se disponen con ángulos siempre mayores de 45° con respecto a la zona de cizallamiento principal que los genera y las asociadas a $O1$ que define la dirección del esfuerzo principal asociada a la falla Pinar.

El estudio de orientación de las corrientes de orden 3 arrojó como resultado que la dirección preferencial se orienta NE 0°-10° SW y se realiza además la superposición del modelo de Riedel (Figura 8) para demostrar su relación con la

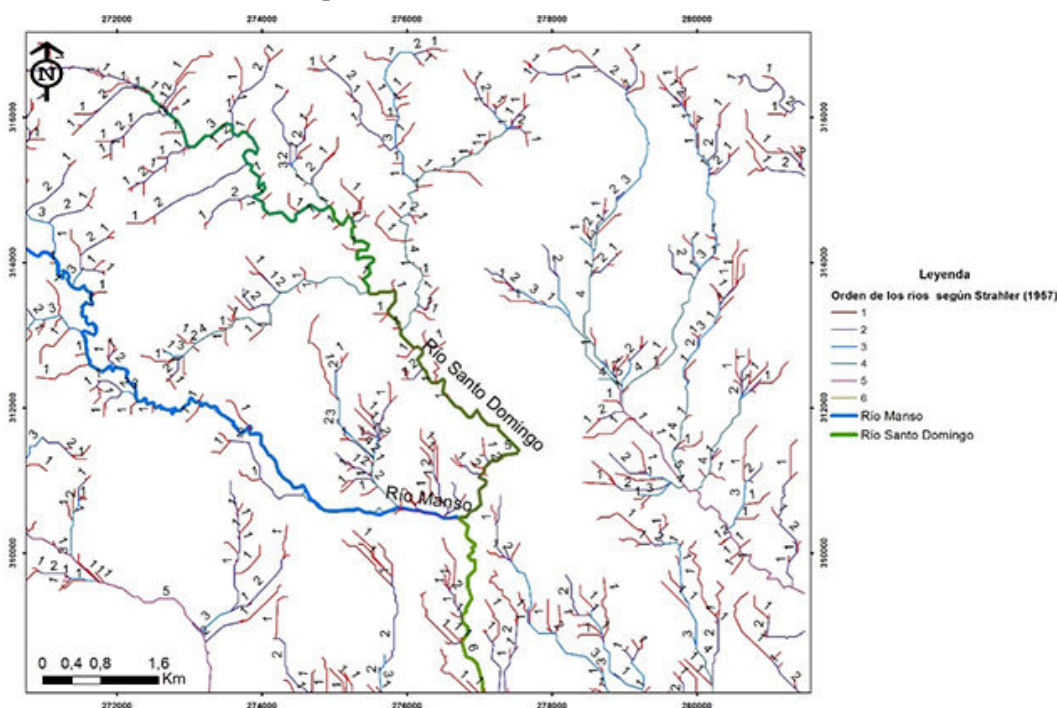


Figura 4. Mapa de la red de drenaje con la clasificación del orden de los ríos según Strahler (1975)

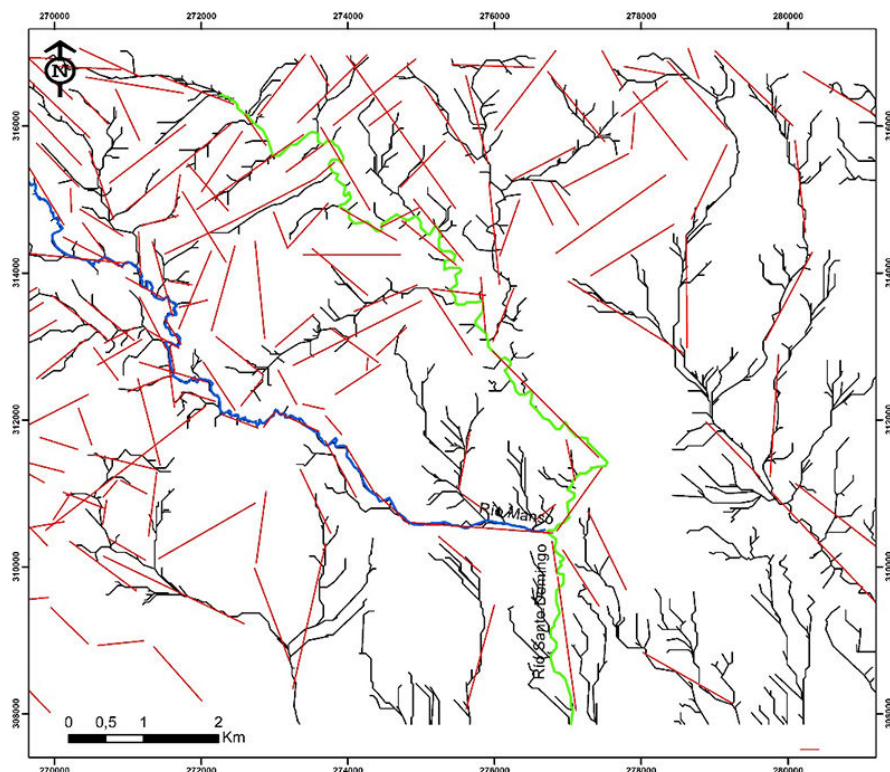


Figura 5. Mapa de la red de drenaje con alineamientos

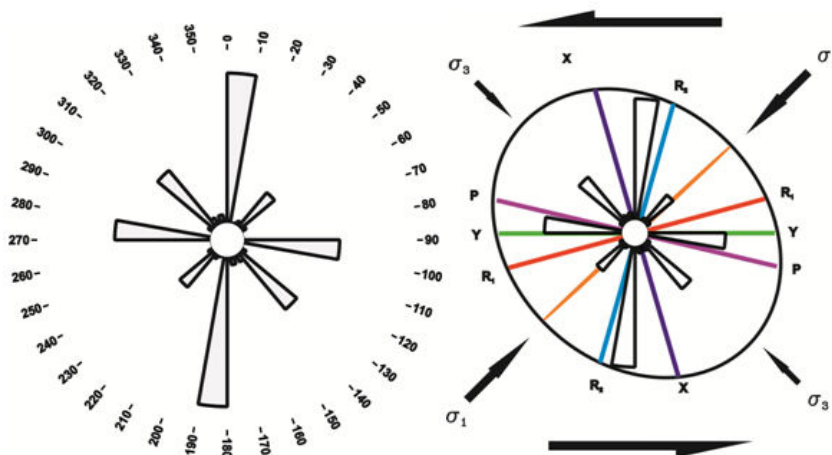


Figura 6. Diagrama de rosa de los ríos de orden 1 y la superposición del modelo de Riedel dirección preferencial de la falla Pinar. Los juegos anti-Riedel R_2 muestran la dirección preferencial de los esfuerzos y se encuentran con dirección NE 0° - 10° SW. Las fracturas tipo P que forman un ángulo de NE 40° - 50° SW con la zona principal de desplazamiento deben corresponderse con fracturas de cizallamiento sintéticas.

Las fracturas Y expresan a escala subordinada y cinemática de la faja mayor que contiene y genera las estructuras continuas de segundo orden. Las fracturas asociadas a σ_1 define la dirección del esfuerzo principal asociada a la

falla Pinar y las asociadas a σ_3 a movimientos distensivos.

El estudio de orientación de las corrientes de orden 4-6 arrojó como resultado que todas ellas se orientan en una dirección preferencial NW 0° - 10° SE (Figura 9) y la superposición del modelo de Riedel para demostrar su relación con la dirección preferencial de la falla Pinar. Los juegos anti-Riedel R_2 muestran la dirección preferencial de los esfuerzos y se encuentran con dirección NE 0° - 10° SW. Las fracturas tipo P que forman un ángulo de NE 40° - 50° SW con la zona principal de desplazamiento deben

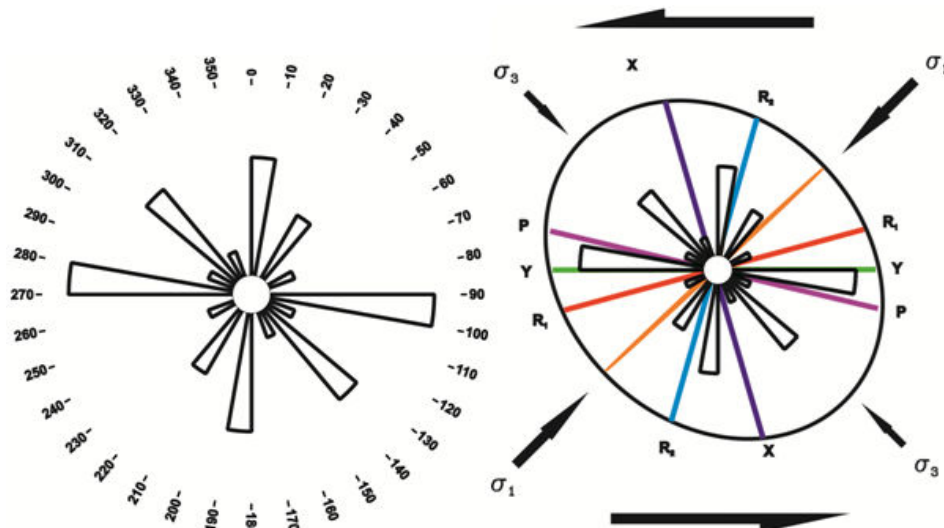


Figura 7. Diagrama de rosa de los ríos de orden 2 y la superposición del modelo de Riedel

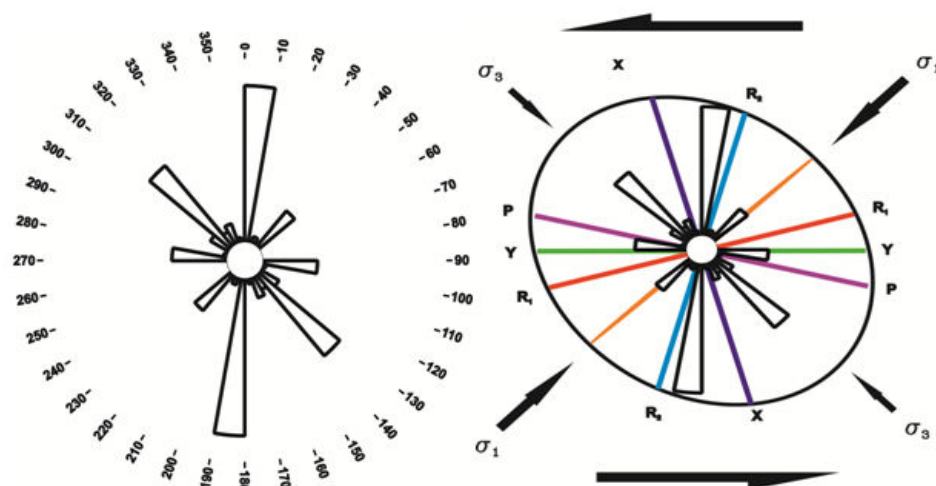


Figura 8. Diagrama de rosa de los ríos de orden 3 y la superposición del modelo de Riedel corresponden a fracturas de cizallamiento sintéticas. **contactos tectónicos y contactos estratigráficos.**

Las fracturas Y expresan a escala subordinada y cinemática de la faja mayor que contiene y genera las estructuras continuas de segundo orden.

Resultado del Perfil Longitudinal. Índice de gradiente de corriente, SL

El índice de gradiente SL se calculó para los dos ríos principales del área de estudio “Santo Domingo” y “Manso”.

Con el fin de establecer el factor determinante en los cambios de pendiente presentes en el perfil longitudinal de los ríos, se realizó un estudio de la zona donde se rompe el equilibrio del perfil longitudinal, clasificando las posibles causas geológicas de las rupturas en dos clases:

Si observamos el perfil longitudinal del río “Santo Domingo” (Figura 10) podremos apreciar que existen variaciones bruscas en algunas secciones; valores anormalmente altos visibles en el perfil de SL; marcan las zonas y los puntos donde existen altos gradientes; lo cual demuestra la existencia de discontinuidades en la pendiente del perfil longitudinal; pudiendo decir entonces que este se encuentra en un estado de desequilibrio dinámico. Este tipo de perfil es característico de áreas donde la actividad tectónica local tiene carácter reciente, generando nuevo relieve. Al analizar el mapa geológico de la zona es posible asociar estos saltos con la tectónica en la zona donde se encuentra el río,

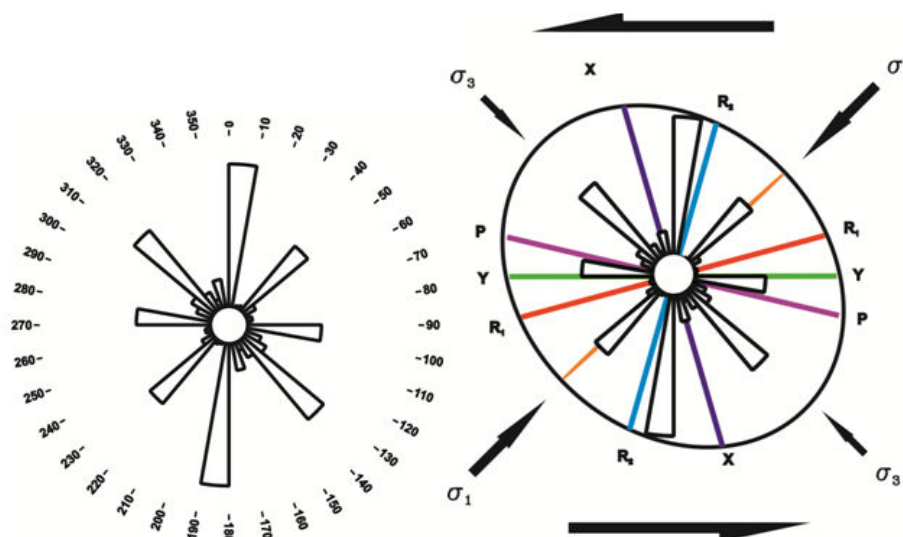


Figura 9. Diagrama de rosa de los ríos de orden 4-6 y la superposición del modelo de Riedel pues se encuentran registradas fallas en ese lugar; por lo tanto, se puede concluir que las variaciones en el SL de este río tienen carácter tectónico y no estratigráfico ya que no se aprecian variaciones litológicas considerables como para provocar estas. Esto se corrobora además al analizar que estas corrientes se encuentran cerca de la falla Pinar.

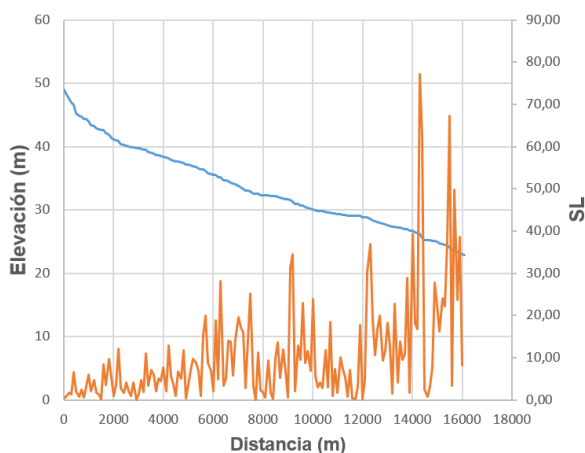


Figura 10. Perfil longitudinal y SL, río Santo Domingo

Analizando el perfil longitudinal de “Manso” (Figura 11) y comparándolo con el del río “Santo Domingo” pudiéramos decir que este presenta menos variaciones, la mayor parte de estas se encuentran concentradas en solo una sección; presentando este carácter tectónico, ya que se encuentran asociadas a la presencia de fallas en ese sector. Luego es importante mencionar que existen algunas variaciones en el perfil de este río que se encuentran relacionadas además de la

tectónica con un contacto estratigráfico entre las formaciones geológicas, específicamente los Depósitos Cuaternarios aluviales-marinos y la Formación Paso Real.

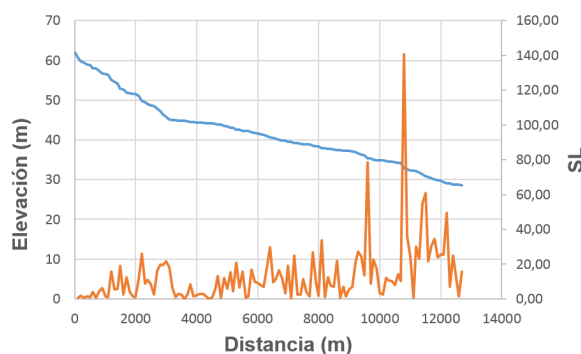


Figura 11. Perfil longitudinal y SL, río Manso.

A modo de resumen se pudiera decir que en el caso de los contactos tectónicos se clasificaron todas las rupturas asociadas a fallas comprobadas, supuestas y frentes de cabalgamiento que aparecen en el mapa geológico a escala 1:50 000. La clase de los contactos estratigráficos recoge las posibles variaciones litológicas entre formaciones terrígenas y carbonatadas o en una misma formación en especial los Depósitos Cuaternarios aluviales-marinos.

Se observa en el gráfico correspondiente a la Figura 12 que el 60 % de las discontinuidades tienen un origen relacionado con la litología y solo el 40% con la tectónica; lo cual demuestra el carácter activo de la litología en el desarrollo del relieve en el área de estudio.

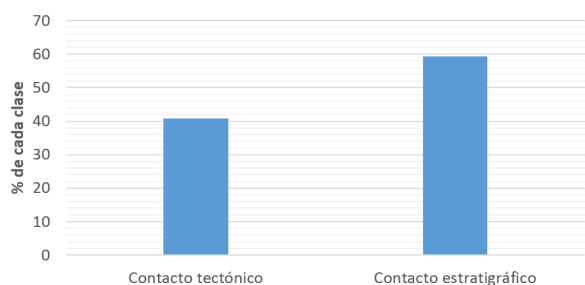


Figura 12. Asociación de las discontinuidades en los perfiles longitudinales de los ríos estudiados y el factor geológico que las provoca.

CONCLUSIONES

Se demuestra la importancia que posee el empleo de un conjunto de métodos geológicos-geomorfológicos en los estudios neotectónicos de zonas relativamente llanas, tales como la evaluación morfométrica del relieve, el desciframiento de las estructuras subyacentes de Isobasitas de 2do y 3er orden y el análisis morfológico del drenaje.

1. A partir de los mapas de isobasitas de 2do y 3er orden se identificaron en nuestra área de estudio dos zonas, una más levantada al NW del mapa, la cual presenta mayor resistencia a la erosión y un área más llana en la porción sur que posee mucho material joven del relieve.
2. Se determinó que el patrón que presenta el drenaje del área de estudio es del tipo dendrítico, en el que la orientación de las corrientes fluviales y de orden superior poseen dirección E-W y N-S, y los cambios principales con respecto a estas son de NW-SE debido a los cambios litológicos.
3. El estudio de los perfiles longitudinales de los dos ríos principales arrojó que sus principales variaciones tienen un carácter activo de la litología en el desarrollo del relieve.

Finalmente quedo validada la metodología utilizada para establecer la influencia de la tectónica y la litología en territorios con características semejantes a estas.

BIBLIOGRAFÍA

Acevedo-Gonzalez, M. (1970). Contribution to the study of the geomorphological evolution of the -Sierra de los Organos, Pinar del Rio, Cuba. *Revista Tecnológica*, 16-34.

Acevedo-Gonzalez, M. (1971). Geomorphology of Sumidero región and its environs, Sierra de los Organos, Pinar del Río, Cuba. *Revista Tecnológica*, 33-54.

Acevedo-Gonzalez, M., & Ramos, V. J. (1974). Introducción de métodos geomorfológicos e hidrogeológicos cuantitativos en la evaluación de sistemas cavernarios: aplicación al sistema Majaguas-Cantera, Pinar del Rio, Cuba. *Revista Tecnológica*, 29-39.

Adreani, L., Stanek, K. P., Gloaguen, R., Krentz, O., & Domínguez-González, L. (2014). DEM-based analysis of interactions between tectonics and landscapes in the Ore Mountains and Eger Rift (East Germany and NW Czech Republic). *Remote Sensing*, 6, 7971-8001.

Astajov et al. (1982). *Trabajos de los Levantamiento Geologicos a escala 1:50 000 en la parte NO de la provincia Pinar del Río*. Pinar del Río.

Bishop, M. P., Shroder, J. F., Bonk, R., & Olsenholler, J. A. (2002). Geomorphic change in high mountains: a western Himalayan perspective. En *Global and Planetary Change* (Vol. 32, págs. 311-329).

Cáceres et al, (2005) "Argumentos sobre la existencia de una cuenca de pull apart relacionada con la zona de curvatura de la falla Pinar". En memorias de la I Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. La Habana, 1-10.

Cofiño. (2002). "Características microestructurales de las secuencias del Jurásico Superior - Cretácico y su relación con la potencialidad de hidrocarburos en la parte oriental de Sierra del Rosario ". Tesis de Doctorado, Universidad de Pinar del Río, Departamento de Geología.

Cofiño, C.E. y Cáceres D., (2003). "Efectividad de la utilización de métodos microtectónicos en el desciframiento de la evolución de estructuras tectónicas (Falla Pinar)". *Revista Minería y Geología*. 19(3-4) 29-34.

Domínguez-González, L., Adreani, L., Stanek, K. P., & Gloaguen, R. (2015). Geomorpho-tectonic evolution of the Jamaican restraining bend. *Geomorphology*, 228, 320-334.

- Grohmann, C. H., & Smith, M. J. (2009). Surface roughness of topography: multiscale analysis of landform elements in Midland Valley, Scotland. En *Proceedings of geomorphometry* (págs. 140-148). Zurich, Switzerland.
- Fernández de Lara, R. y Fajardo, S., (2002). “Contribución de la información geofísica a la constitución geológica de la provincia de Pinar del Río en apoyo a modelos regionales de prospección”. En memorias del II Congreso Cubano de Geofísica. Ciudad de La Habana, 1-15.
- Hack, J. T. (1956). Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland. *U.S. Geological Survey, Professional Paper* ., 294, págs. 45-97.
- Hernández et al, (2007) “Cartografía de la falla Pinar utilizando métodos geológicos, geomorfológicos, sísmicos y de los campos potenciales”. Memorias de la II Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, La Habana, 1-5.
- Leopold, L. B., & Bull, W. B. (1979). Base level, aggradation and grade. *Proceedings of the American Philosophical Society* ., 123, 168-202.
- Mahmood, S. A., & Gloaguen, R. (2012). Appraisal of active tectonics in Hindu Kush: Insights from DEM derived geomorphic indices and drainage analysis. *Geosci. Front*, 3, 407-428.
- Millán, G. (2003), “Algunas consideraciones sobre la tectónica de Cuba occidental (Provincia pinar del Río)”. En memorias del V Congreso de Geología y Minería. La Habana, 1-10.
- Pérez-Peña, J. V., Azañón, J. M., Both-Rea, G., Azor, A., & Delgado, J. (2009). Differentiating geology and tectonics using a spatial autocorrelation technique for the hypsometric integral. *J. Geophys. Res. -Earth*, 114.
- Pike, R. J., & Wilson, S. E. (1971). Elevation relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 82, 1079-1084.
- Pszczolkowski et al., Contribución a la Geología de la Provincia de Pinar del Río. Edición Científico Técnica, La Habana, 1-260, 1987.
- Sánchez, R. y Móndeño, F., (2013). “Características geofísicas de la falla Pinar, Cuba”. Memorias de la V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, La Habana, 1-37.
- Schumm, S. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy. *Geol. Soc. Am. Bull*, 67, 597-646.
- Scotti, V., Molin, P., Faccema, C., Soligo, M., & Casas-Sainz, A. (2014). The influence of surface and tectonic process on landscapes evolution of the Iberian Chain (Spain): quantitative geomorphical analysis and geochronology. *Geomorphology* , 37-57.
- Soca, Y. (2002). *Regionalización Hidrogeológica de la Provincia Pinar del Río. Escala 1:250000:Un Nuevo enfoque*. Trabajo de Diploma para Ingeniero Geólogo, Dpto. Geología, Universidad de Pinar del Río Hnos. Saiz.
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric area-altitude analysis of erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America*, 63, 1117-1142.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union*, 8, 913-925.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)