Infomin, Vol. 12, enero-diciembre 2020, E-ISSN: 1992-4194, http://www.infomin.co.cu

Artículo Original

Análisis morfométrico del relieve en el área delimitada por la hoja cartográfica Los Palacios escala 1:50 000

https://eqrcode.co/a/1hSjb0

Morphometric analysis of the relief in the area delimited by the cartographic sheet Los Palacios, scale 1:50 000

Nadia Garriga Francés[1]*, Yuliemi Milá Doma [1], Robert Ramírez Hernández[2]

RESUMEN: La geomorfología tiene como objetivo el estudio de las formas de la superficie terrestre enfocado en describir y entender su génesis así como su actual comportamiento. Esta investigación está basada en el estudio de las características geomorfológicas del área delimitada por la hoja cartográfica Los Palacios a escala 1:50 000 aplicando métodos morfométricos tales como integral hipsométrica, disección vertical, rugosidad, índice de superficie, anomalía del relieve, además de la correlación de las formas del relieve con la geología en superficie y análisis de los alineamientos morfoestructurales. En el procesamiento de las características geomorfológicas del relieve se utilizó el software libre QGIS y las interpretaciones se desarrollaron a partir de la información obtenida del modelo digital del terreno y el mapa geológico. La correlación entre la geología en superficie y las formas del relieve permitió definir el comportamiento del mismo.Los ejes de dichas formas presentaron principalmente direcciones NW-SE y NE-SW coincidiendo con la dirección preferencial de los cabalgamientos y de la falla Pinar respectivamente. Los estudios morfométricos ofrecieron una valoración de los procesos que están ocurriendo en el área de estudio desde el mismo momento de la conformación del relieve actual. Además, quedó demostrada la aplicabilidad de estos métodos en la detección de cambios en el relieve y la asociación de estos cambios con los factores que los originan.

Palabras claves: geomorfología, métodos morfométricos.

ABSTRACT: Geomorphology aims to study the forms of the earth's surface focused on describing and understanding its genesis as well as its current behavior. This research is based on the study of the geomorphological characteristics of the area delimited by the Los Palacios map sheet at 1:50 000 scale applying morphometric methods such as hypsometric integral, vertical dissection, roughness, surface index, relief anomaly, in addition to the correlation of relief forms with surface geology and analysis of morphostructural alignments. In the processing of the geomorphological features of the relief, the free QGIS software was used and the interpretations were developed from the information obtained from the digital terrain model and the geological map. The correlation between the surface geology and the relief forms allowed to define its behavior.The axes of these forms mainly presented NW-SE and NE-SW directions coinciding with the preferential direction of the riding and the Pinar fault respectively. The morphometric studies offered an assessment of the processes that are occurring in the study area from the moment of the conformation of the current relief. In addition, the applicability of these methods in the detection of changes in the relief and the association of these changes with the factors that originate them was demonstrated.

Key words: geomorphology, morphometric methods.

Recibido: 02/02/2020

Aprobado en su forma original: 05/07/2020

[1]Instituto de Geología y Paleontología, San Miguel del Padrón, La Habana. Cuba.
[2]Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saiz Montes de Oca", Pinar del Río, Cuba.
*Autor para correspondencia: *Nadia Garriga Francés*. E-mail: nadia@igp.minem.cu

INTRODUCCIÓN

Los métodos morfométricos se emplean frecuentemente durante las investigaciones geomorfológicas ya que mediante ellos se pueden obtener una medida de las formas de la superficie terrestre y sirven de apoyo a los análisis de los movimientos geológicos recientes. El insuficiente conocimiento sobre las características geomorfológicas del relieve del área delimitada por la hoja cartográfica Los Palacios, escala 1:50 000 es el problema de nuestra investigación. Por tanto se proponen como objetivos determinar las características morfométricas del relieve de esa área a partir de la influencia de la geología y la tectónica.

Descripción del área de estudio

El área de estudio se ubica en la porción sur-Oriental de la provincia Pinar del Río, abarca 117km^2 de superficie y está comprendida en la hoja cartográfica Los Palacios (3583-I) (figura 1). El relieve que ahí se desarrolla forma parte de la extensa llanura que se extiende a todo lo largo y ancho de la parte sur de la falla Pinar y las elevaciones superiores no exceden los 95m de altura. Está atravesada de Norte a Sur por los ríos Santo Domingo y Manso.

Entre las formaciones geológicas del área se encuentran:

Formación Paso Real (psr) (Oligoceno Superior - Mioceno Superior basal) constituida por un predominio de las alternancias de calizas y margas. Las calizas son arcillosas, biodetríticas arcillosas y más subordinadamente calizas biohérmicas, calizas dolomitizadas, dolomitas y calcarenitas. Aparecen intercalaciones de areniscas y limolitas calcáreas y arcillas. La estratificación está enmarcada por los cambios litológicos y es frecuentemente lenticular.

Formaciones Cuaternarias: Corresponden a depósitos sedimentarios, los que abarcan toda la llanura desde aproximadamente la Carretera Central hasta el mar, donde los de época Holocénicos en el sector de estudio han sido clasificados como de origen continental. Los depósitos aluviales están asociados con los valles y terrazas fluviales de ríos y arroyos, constituidos por arenas cuarcíferas principalmente, la forma tanto de los granos como de las gravas son angular y subangular preferentemente. Estas se dividen en: Depósitos Aluviales (aQ_2) (Holoceno) constituidos por Arenas-arcillosas, arenas, arcillas, limo con gravas cascajos de composición silícea; Depósitos aluviales-marinos (amQ_1^3-Q_2) (Pleistoceno Superior-Holoceno) formados por arcillas arenosas y arenas de color carmelita y grisáceo; Depósitos aluviales-marinos (amN_2-Q_1^2) (Plioceno-Pleistoceno Superior) integrados por conglomerados, gravelitas,

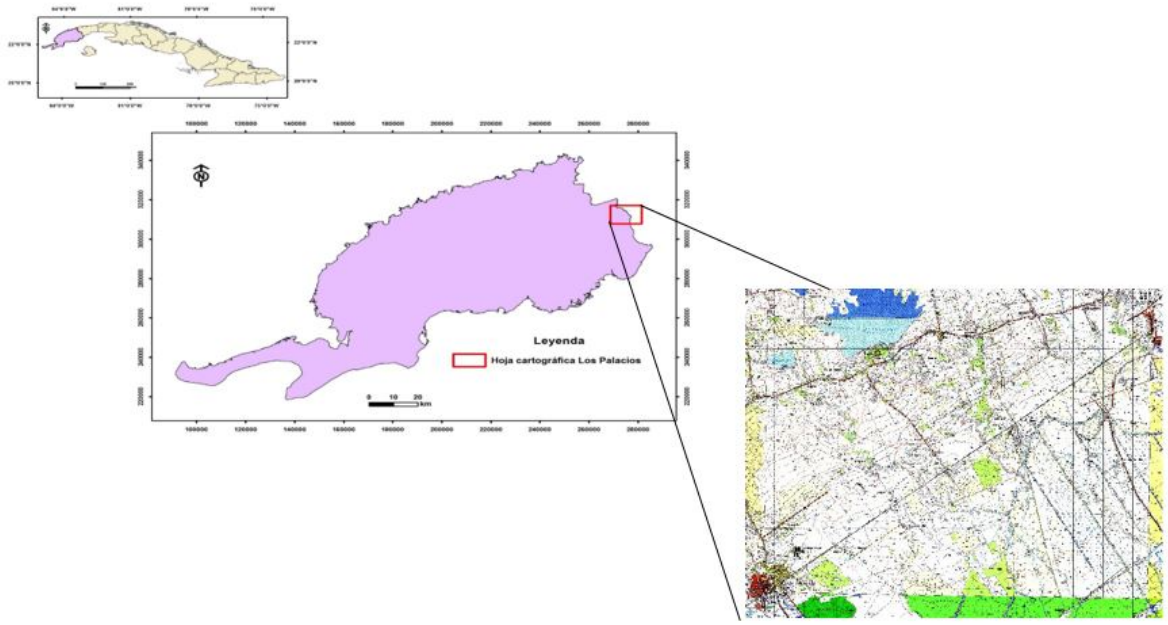


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio

areniscas arcillosas poco consolidadas, arcillas y arenas con gravas y guijarros de rocas silíceas; Depósitos Aluviales-Proluviales (apQ_I^{1-2}) (Pleistoceno Inferior-Medio.) constituidos por arcillas arenosas de color pardo grisáceo.

La tectónica de la región se caracteriza por movimientos verticales en bloques elevados y hundidos a diferentes niveles, cuyos límites en muchos casos pueden ser seguidos interpretando las anomalías gravimétricas de los levantamientos geofísicos realizados en el área según (Soca, 2002)

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis morfométrico se utilizaron los siguientes métodos: a) Integral hipsométrica, b) disección vertical, c) rugosidad, d) índice de superficie, e) anomalía del relieve. Además se correlacionaron las formas del relieve con la geología en superficie y se analizaron los alineamientos morfoestructurales.

Las bases de datos de partida están conformadas por la siguiente información: a) Modelo Digital del Terreno del área de estudio a escala 1: 25 000, b) Mapa geológico de Los Palacios a escala 1:50000.La información fue procesada por el software libre QGis.

Correlación de las formas del relieve y la geología en superficie

La interacción de los procesos exógenos con las rocas mantiene un carácter diferenciado en dependencia de las propiedades de las mismas. Teniendo como base este criterio se clasificaronlas formas del relieve por alturas según (Hernández, Ortiz, Magaz, Díaz, & Zamorano, 1994) (**Tabla 1**).Se realizaron procesamientos a partir del modelo digital del terreno del área en cuestión. Estos datos fueron correlacionados con el mapa geológico para determinar su comportamiento a partir de la geología en superficie.

Análisis de alineamientos

Para la interpretación de alineamientos morfoestructurales se genera el mapa de relieve sombreado a partir del modelo digital del terreno. Este enfoque permite configurar la posición de la iluminación de la escena, enfatizando así las orientaciones de estas estructuras. Esta información se procesa y se analiza con apoyo de el empleo de diagramas de rosa.

Integral Hipsométrica

El análisis hipsométrico es el estudio del área de una sección horizontal, distribución areal, de una masa de roca con respecto a la elevación (Strahler, 1952). La integral hipsométrica (Hi), es un parámetro definido a partir de una curva hipsométrica y corresponde al área situada bajo la misma que representa el volumen de roca que permanece sin ser erosionada.

De acuerdo con (Pike & Wilson, 1971), el HI para un área dada se puede aproximar con la ecuación:

$$HI = \frac{Hm - H\min}{H\max - H\min}$$

Donde *Hm* representa la altura media de la cuenca y *Hmin* y *Hmax* la altura mínima y máxima respectivamente.

Tabla 1. Clasificación altimétrica del relieve (Hernández, Ortiz, Magaz, Díaz, & Zamorano, 1994)

Categoría del relieve	Piso altitudinal	
	Rango	Nomenclatura
Montañas	2 000 - 1 500	Montañas medias
	1 500 - 1 000	Montañas bajas
	1 000 - 500	Montañas pequeñas
	500 - 300	Submontañas
Alturas	300 - 200	Alturas grandes
	200 - 120	Alturas medias
	Menores de 120	Alturas pequeñas
Llanuras	120 - 80	Llanuras altas
	80 - 20	Llanuras medias
	Menores de 20	Llanuras bajas

Algunos autores plantean que la variación espacial de la integral hipsométrica es útil para demostrar la propagación de los impulsos tectónicos a través de una región de litología homogénea y según (Cohen, Willgose, & Hancock, 2008) la litología ejerce el control principal sobre la integral hipsométrica, interfiriendo con la respuesta del relieve ante un impulso tectónico.

Disección vertical

La disección vertical también conocida como relieve interno; corresponde a la máxima diferencia de cota por unidad de área. Resulta de la diferencia entre el nivel del río y el de los interfluvios que lo rodean (oscilación del relieve). A partir del MDT se genera un modelo por diferencia entre la cota máxima y la cota mínima existente en la cuadrícula elegida (25 x 25 m). Es de gran utilidad para el estudio de las características morfológicas de una región, ya que es un indicador de heterogeneidad topográfica. Se cuantifica por las variaciones verticales de una superficie real a partir de su forma ideal. La existencia de valores altos de este parámetro señala eventos tectónicos de mayor o menor envergadura, incluso de neotectónica (encajonamiento de la red fluvial y formación de cañones); generalmente su tendencia coincide con la tendencia general del relieve; el significado tectónico de su interpretación hace evidentes zonas de interés.

Rugosidad

La rugosidad de la superficie puede describirse por varios parámetros; en este trabajo enfocamos la descripción en comparar la similitud entre una superficie topográfica de un área determinada con una superficie plana de la misma extensión geográfica (Grohmann & Smith , 2009). La relación para áreas planas será cercana a 1, presentando baja disección vertical y aumenta rápidamente a medida que la superficie real se hace más irregular o accidentada, estas se encontrarán más expuestas a la erosión y tendrán altos valores de disección vertical. Esta se calculará usando la fórmula:

$$A_R = res \cdot \sqrt{res^2 + (\tan\alpha \cdot res)^2}$$

Donde:

A_R: Área de la superficie rugosa
res: resolución del modelo digital del terreno
α: pendiente del terreno en radianes

El área superficial plana, A_P, se calcula:

$$A_p = res^2$$

La rugosidad se calcula sumando para una ventana móvil el área real y el área plana y dividiendo la suma de A_R entre el A_P.

$$R = {}^{A_R}/_{A_p}$$

Normalmente existen valores extremadamente altos de rugosidad en superficie en regiones altamente deformadas. Se pudiera decir que la rugosidad de un paisaje describe cuan profundamente se encuentra afectada por la erosión.

Índice de superficie

Este índice combina la elevación del MDT con los mapas de integral hipsométrica y rugosidad. Permite discriminar entre áreas con bajo relieve local de áreas con una superficie más variable. Todos los mapas involucrados en los cálculos deben estar normalizados. Se calcula por la expresión:

$$SI = (N_{DTM} \cdot N_{HI}) - N_R$$

Siendo *SI,* índice de superficie, NDTM, N_{HI} y N_R los valores de altura, integral hipsométrica y rugosidad normalizados. Valores positivos corresponden a superficies elevadas con bajo relieve local mientras que valores negativos corresponden a relieves variables (rugged).

Los valores positivos corresponden a superficies con bajos valores de rugosidad y de disección vertical; los valores negativos se asocian a relieves muy rugosos con valores elevados de disección vertical.

Anomalías del relieve

Las anomalías del relieve (RA) (Scotti, Molin, Faccema, Soligo, & Casas-Sainz, 2014) y el índice de superficie (SI) se emplean para destacar relieves elevados y de bajo relieve local (Disección vertical). Este representa la elevación normalizada por el relieve local (relieve interno, disección vertical). El índice se calcula como:

$$R_A = \frac{h_{media}}{h_{\max} - h_{\min}}$$

Con h_{media}, h_{max} y h_{min} definidas anteriormente

Los valores más altos se obtienen en áreas elevadas planas

Normalmente los valores altos de anomalía del relieve corresponden a superficies planas y elevadas y los valores medios y bajos se relacionan con superficies de elevada rugosidad y disección vertical.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Correlación de las formas del relieve y la geología en superficie

Se obtuvo la clasificación de las formas del relieve por alturas para el área (figura 2) y se determinó que las más representativas eran las llanuras medias. Estas abarcan el 98,97% del área, que representan 115,8km^2; las llanuras altas y bajas representan 0,60% y 0,43% respectivamente (figura 3).

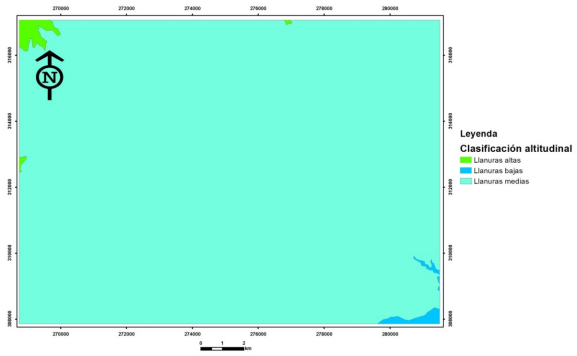


Figura 2. Mapa altitudinal

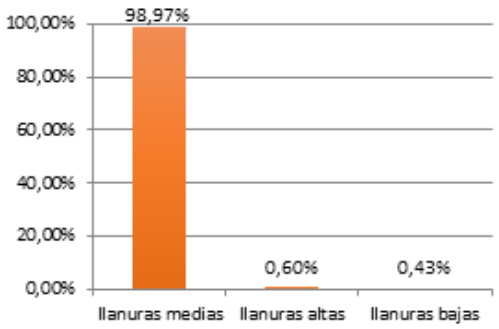


Figura 3. Gráfico de barra explicativo de la distribución de las elevaciones del área de estudio a partir de la reclasificación del mapa de alturas.

Según la geología del área observada en el mapa geológico (Figura 4) se realizaron análisis que permitieron determinar que predominan los depósitos aluviales marinos. Estos ocupan 71,45 km^{2}que representan el 61,7% del área total; el área restante se divide en la Formación Paso Real, Depósitos Aluviales y Aluviales-Proluviales que ocupan un total de 45,55km^2 de extensión que constituye un 38,94% (Figura 5).

Al referirnos a la relación entre la geología presente y las formas del relieve reflejado en el mapa de unión geología-altitud (Figura 6), y analizado por el gráfico de barra (Figura 7) podemos decir que la mayor parte de las formas existentes en el área de estudio se encuentran compuestas por llanuras medias en los depósitos aluviales marino representando el 60,62% que ocupa un área de 70,92 km^2.

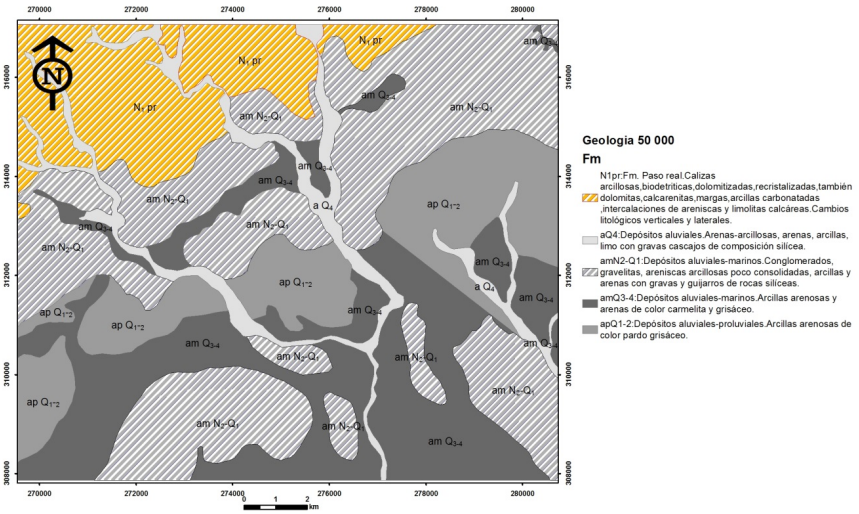


Figura 4. Mapa geológico del área de estudio

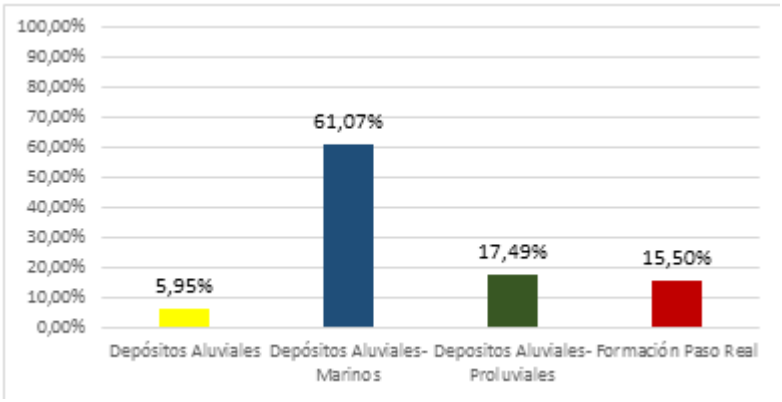


Figura 5. Gráfico de barra donde se muestra los valores que representan la reclasificación del mapa geológico a partir de la litología presente en el área

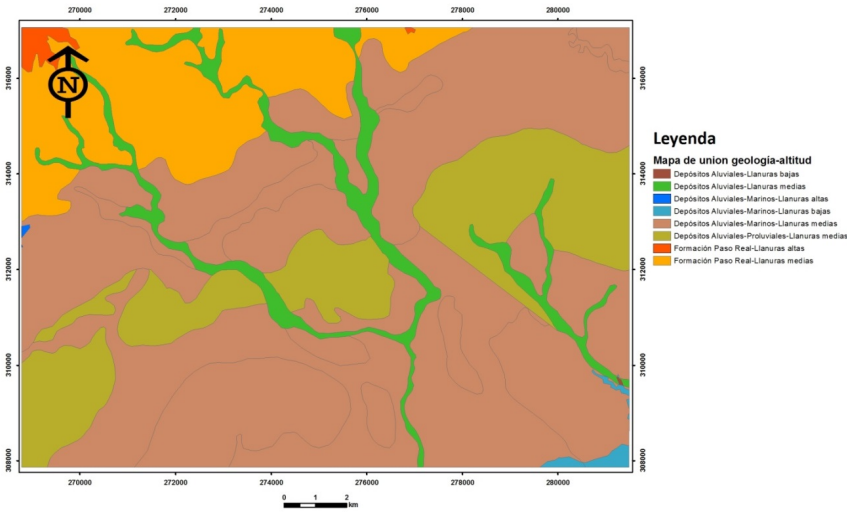


Figura 6. Mapa de unión resultante de la reclasificación del mapa geológico y del altitudinal del área de estudio

Análisis de alineamientos

La extracción de los alineamientos mediante el modelo de sombra (Figura 8) y el diagrama de rosa (Figura 9), utilizado para indicar las direcciones principales de los alineamientos en el área de estudio, demostró que estas poseen orientaciones predominantes NW 310°-320° SE y NE 50°- 60°SW.

El segundo análisis consistió en superponer el modelo Riedel al diagrama de rosa del área de estudio asociando la dirección predominante de los alineamientos a los esfuerzos que originaron la falla Pinar. Según (Cofiño, 2002) se puede determinar su funcionamiento en el tiempo, como una falla de strike slip sinestral (al inicio de su desarrollo) y como una falla normal en su etapa final.

La superposición del modelo de Riedel al diagrama de rosa de los alineamientos (Figura 10) permitió determinar que la dirección predominante de los esfuerzos del área de estudio está asociada a Ơ3 que son representativos de los cabalgamientos. Los alineamientos con dirección de Ơ1 están asociados a la dirección de la falla Pinar. Las fracturas Y expresan a escala subordinada la posición de la faja mayor que genera estructuras discontinuas y las fracturas antitéticas X tienen una dirección NW 330°-340° SE.

Mapa de integral hipsométrica

Los valores de la integral hipsométrica parecen ser esencialmente controlado por características tectónicas. Los valores más altos se encuentran

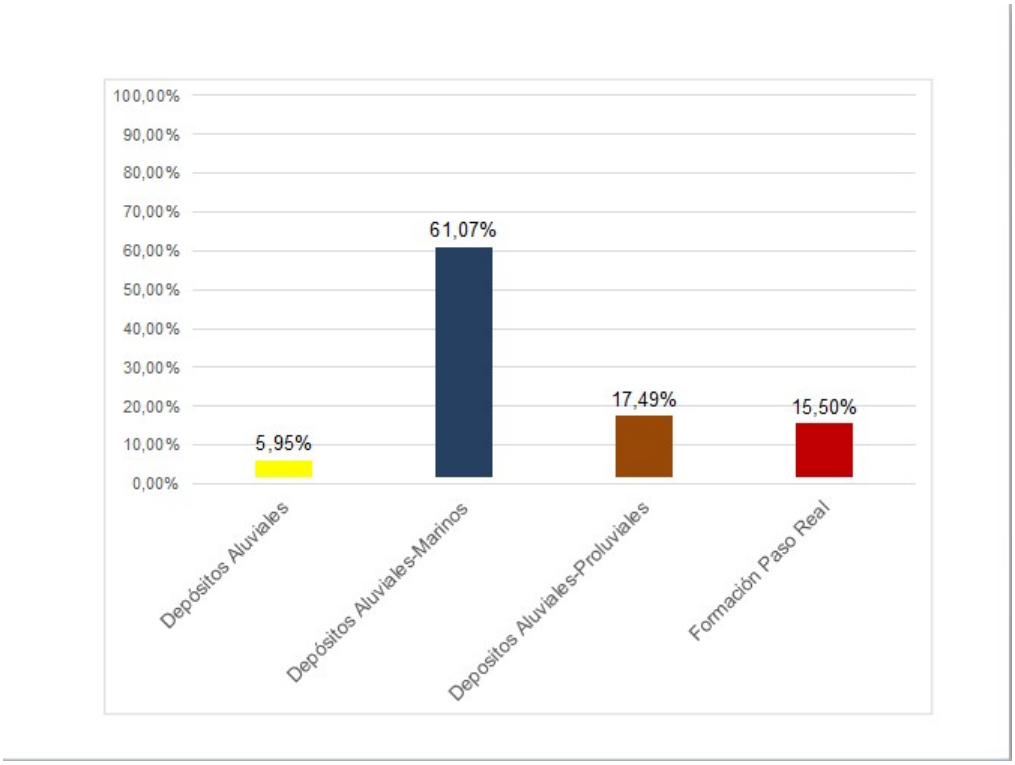


Figura 7. Gráfico de barra donde se muestran los valores que representan la relación existente entre la reclasificación del mapa geológico y el altitudinal

principalmente a lo largo de escarpes topográficos relacionados con fallas, mientras los valores más bajos se encuentran dentro de depresiones y áreas planas. El área analizada por el mapa de integral hipsométrica(Hi) (Figura11) presenta una alternancia de dichos valores en toda su extensión indicando un terreno heterogéneo, donde los valores mayores de 0,5 representan el volumen de roca que ha sido removida por procesos erosivos y los menores que 0,5 zonas sin ser erosionados.

Mapa de disección vertical

El mapa de disección vertical (Figura 12) demuestra que los valores más altos se van encontrar en las zonas elevadas del relieve. Este

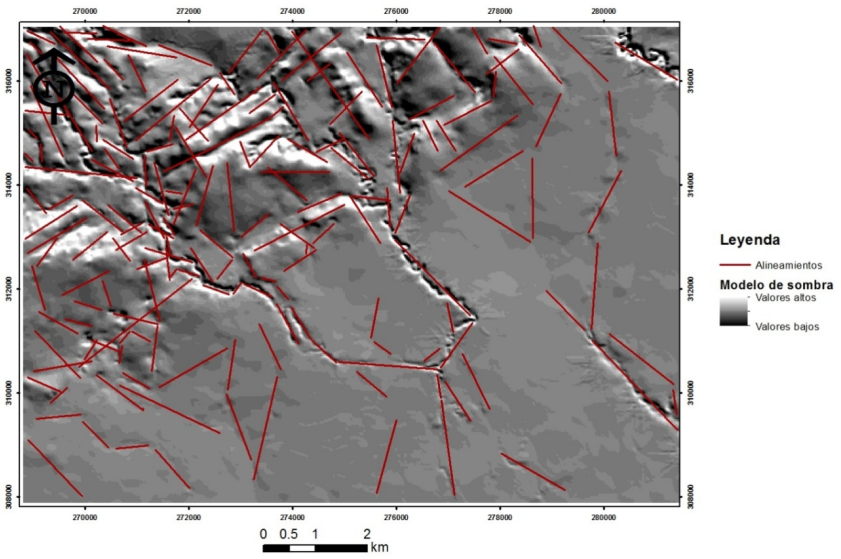


Figura 8. Modelo de sombra del área de estudio con los alineamientos

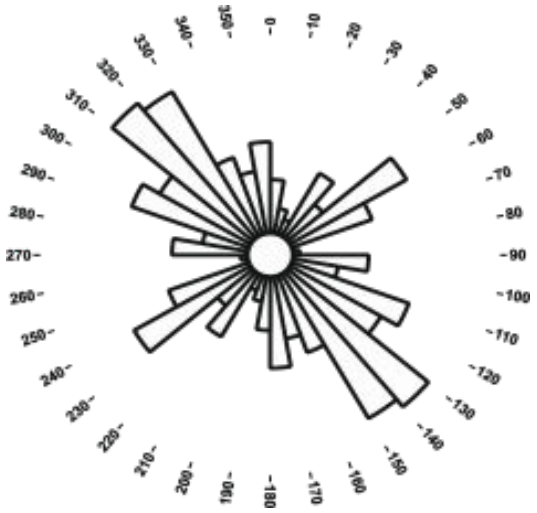


Figura 9. Diagrama de rosa de los lineamientos

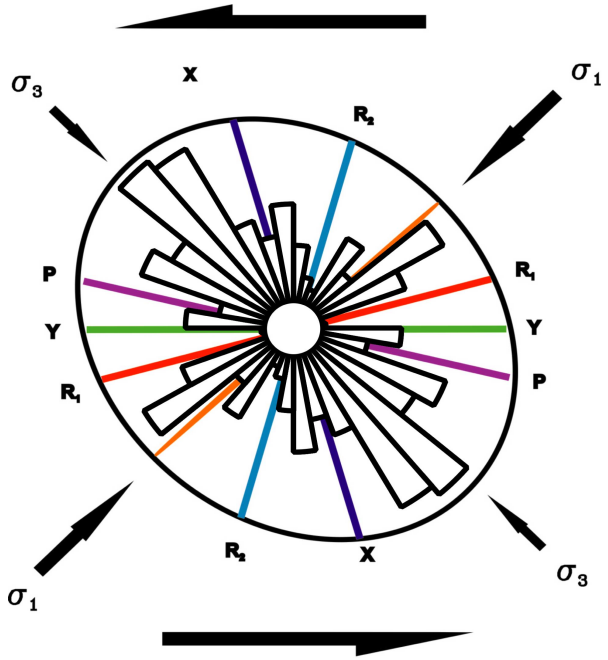


Figura 10. Superposición del modelo de Riedel al diagrama de rosa de los alineamientos

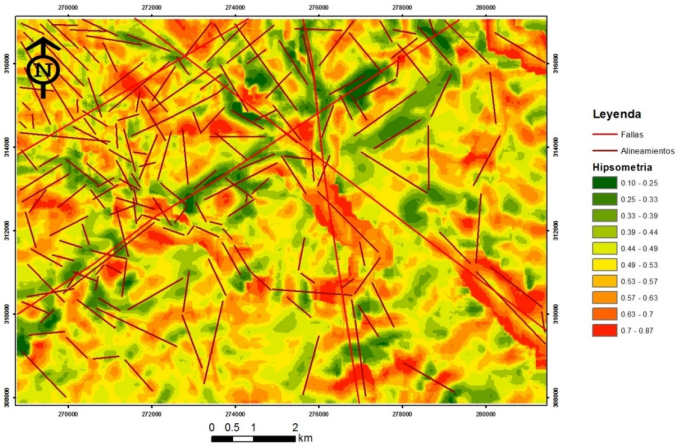


Figura 11. Mapa de hipsometría con fallas y alineamientos

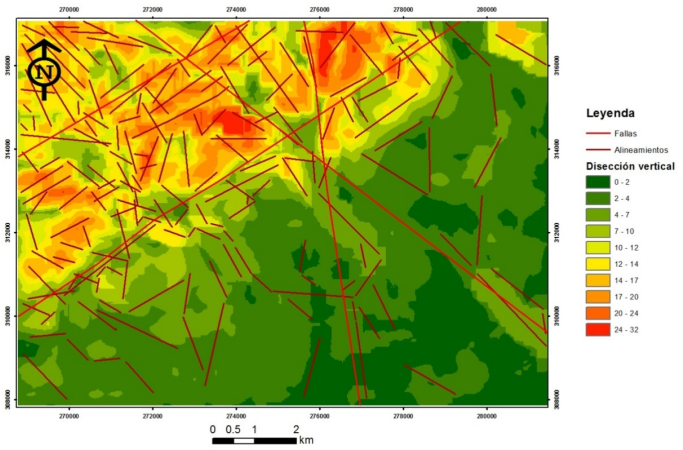


Figura 12. Mapa de disección vertical con fallas y alineamientos

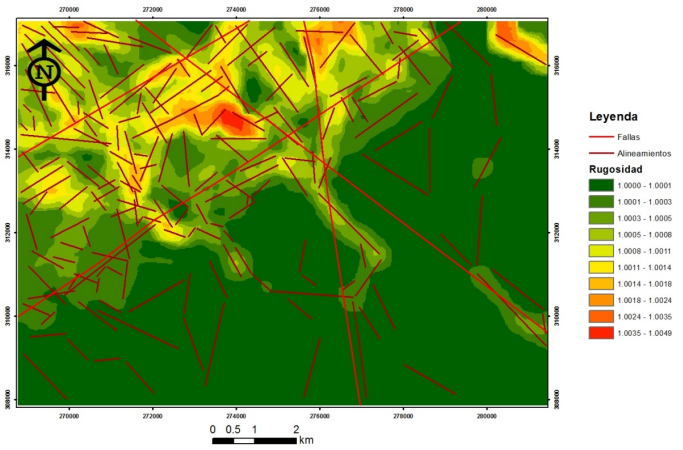


Figura 13. Mapa de rugosidad con fallas y alineamientos

se caracteriza por ser un indicador de heterogeneidad. El área de estudio muestra la presencia de zonas elevadas de alto índice de disección vertical ubicadas al NW del área de estudio representando las áreas de mayor deformación.

Mapa de rugosidad

El mapa de rugosidad (Figura 13) indica que el área de estudio está compuesta por dos zonas divididas por una falla con dirección NE-SW. La primera de ellas muestra valores altos de rugosidad que indican erosión e incisión, la segunda en casi toda su extensión muestra indicio de ser una región mayoritariamente plana con poca variación en su superficie topográfica.

Mapa de índice de superficie

El mapa de índice de superficie (Figura 14) permite diferenciar dos zonas: una donde predominan una alternancia de valores positivos y negativos, y otra donde posee valores intermedios.La primera de estas se encuentra al NW de la región y posee los máximos y los mínimos valores de rugosidad indicando que es una zona propicia a cambios en el relieve, no siendo así en el caso de la segunda que posee poca variación.

Mapa de anomalía del relieve

El mapa de anomalías del relieve (Figura 15) es empleado para destacar relieves elevados. En este caso los valores altos corresponden a zonas elevadas planas ubicadas en la porción SE del área de estudio y los valores medios y bajos indican las zonas irregulares concentradas casi en toda su mayoría al NW de la región.

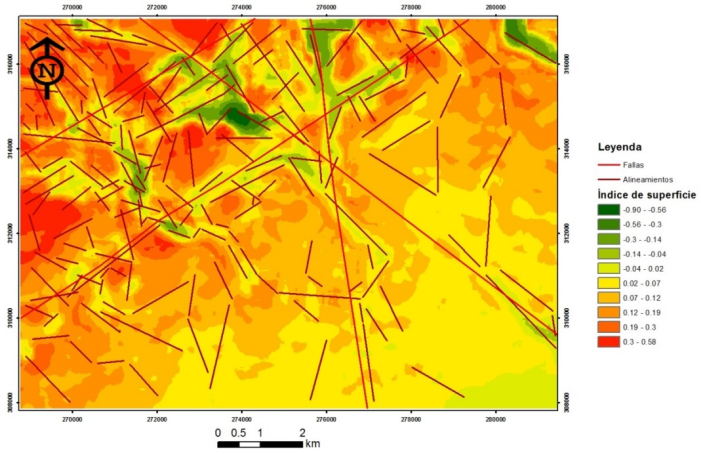


Figura 14. Mapa de índice de superficie con fallas y alineamientos

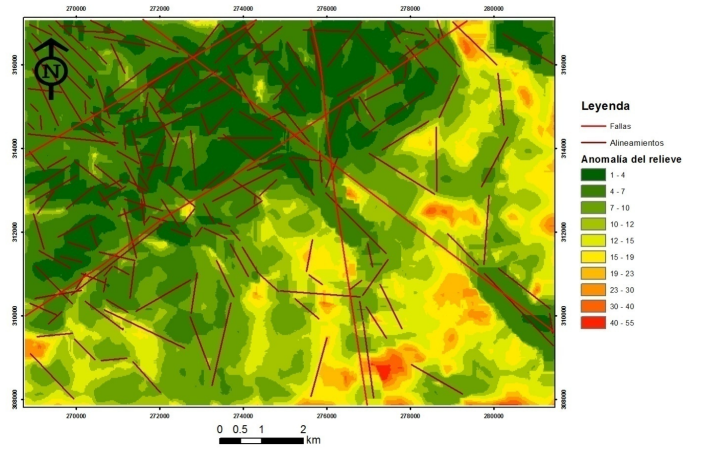


Figura 15. Mapa de anomalía del relieve con fallas y alineamientos

CONCLUSIONES

1. La eficiencia del empleo de métodos tales como la integral hipsométrica, disección vertical, rugosidad, índice de superficie, anomalía del relieve, análisis de alineamientos, correlación de las formas del relieve con la geología en superficie y análisis de alineamientos permitieron la identificación de estructuras menores indicadoras de actividad tectónica.
2. La correlación entre la geología en superficie y las formas del relieve pudo definir a partir de su distribución espacial el comportamiento del mismo; el área en casi toda su extensión está compuesta por depósitos aluviales-marinos que se encuentran en llanuras medias.
3. Los ejes de las formas presentaron principalmente direcciones NW-SE y NE-SW coincidiendo con la dirección preferencial de los cabalgamientos y de la falla Pinar respectivamente.
4. Los estudios morfométricos ofrecieron una valoración de los procesos que están ocurriendo en el área de estudio desde el mismo momento de conformación del relieve actual.
5. Desde el punto de vista metodológico quedó demostrada la eficiencia del empleo de métodos morfométricos a escala detallada para obtener nuevos conocimientos de las características geomorfológicas de la hoja cartográfica los Palacios a escala 1:50000.

BIBLIOGRAFÍA

Grohmann, C. H., & Smith , M. J. 2009. Surface roughness of topography: multiscale analysis of landfrom elements in Midland Valley, Scotland. En *Procedings of geomorphometry* (págs. 140-148). Zurich, Switzerland.

Cofiño,A 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, Pinar del Río: Universidad Hermanos Saiz, Departamento de Geología.

Cohen, S., Willgose, G., & Hancock, G. 2008. A Methodology for calculating the spacial distribution of the area slope equation and the hipsometric integral within a catchment. *Journal of Geophysical a Research*.

Hernández, O. M., Díaz, Zamorano. 1994. *Estilos Geotectónicos Bidimensionales y Tridimensionales Interbloques: Una Nueva Categoría Neotectónica para la Determinación de Morfoestructuras Montañosas.*

Pike, R. J., & Wilson, S. E. 1971. "Elevation relief ratio,hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis". *Geol. Soc. Am. Bull.*, *82*: 1079-1084.

Scotti, V., Molin, P., Faccema, C., Soligo, M., & Casas-Sainz, A. 2014. The influence of surface and tectonic process on lanscapes evolution of the Iberian Chain (Spain): quantitative geomorphical analysis and geochronology . *Geomorphology*: 37-57.

Strahler, A. N. 1952. "Hypsometric area-altitude analysis of erosional topography". *Bulletin of the Geological Society of America*, *63*: 1117-1142.

Soca, Y. 2002. Regionalización Hidrogeológica de la Provincia Pinar del Río. Escala 1:250000:Un Nuevo enfoque. Trabajo de Diploma para Ingeniero Geólogo, Pinar del Río: Universidad Hermanos Saiz, Departamento de Geología.

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)