

Análisis morfotectónico de la red de drenaje superficial y su implicación en la explotación petrolera. Caso de estudio en el municipio Martí, provincia Matanzas, Cuba

Ailadi García García¹, Ramón Cruz Toledo², Miguel Ángel Porres García³.

¹ *Maestrante de la 8va Edición de la Maestría en Geología (mención: Geología del Petróleo) de la Universidad de Pinar del Río «Hnos Saíz Montes de Oca». Licenciada en Geografía. Centro de Investigación del Petróleo, Cuba. Churrucá No.481, Cerro, La Habana, Cuba, CP. 12000. ORCID ID 0009-0005-3100-9133. Correo E: ailadi.garcia@ceinpet.cupet.cu.*

² *Master en Ciencias Geológicas. Investigador Agregado. Centro de Investigación del Petróleo, Cuba. Churrucá No.481, Cerro, La Habana, Cuba, CP. 12000. ORCID ID 0009-0007-8575-1856. Correo E: cruzt@ceinpet.cupet.cu*

³ *Licenciado en Geografía. Contaminación Atmosférica. Centro Meteorológico de Cienfuegos, Cuba. Calle 51ª S/N, Cienfuegos, Cuba, CP. 55100. ORCID ID 0000-0001-6159-2132. Correo E: miguelangelporresgarcia@gmail .com*

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en el municipio Martí, ubicado al noreste de la provincia de Matanzas y relacionado con la Franja Norte de Crudos Pesados (FNCP). El problema de investigación se centró en el insuficiente grado de conocimiento para elaborar el esquema morfotectónico a partir del análisis cualitativo de la red de drenaje superficial con objetivos petroleros. Se aplicó el método cualitativo del drenaje como herramienta geomorfológica para la prospección de depósitos de petróleo y gas, con la finalidad de crear un esquema morfotectónico que oriente a la búsqueda de petróleo y gas en el territorio. Los materiales utilizados incluyeron mapas topográficos digitales a escala 1:25000, modelos digitales de elevación y mapas geológicos. Los resultados mostraron la presencia de diferentes alineamientos con direcciones fundamentales NW (rumbo cubano) y NE (dirección de las fallas opuestas). A partir de la interpretación de la red de drenaje superficial se logró dividir el municipio Martí en

dos sectores fundamentales y se elaboró un esquema morfotectónico que mostró las principales fallas des- tra- les, siniestrales, las posibles fallas inversas producto del esfuerzo principal y se determinaron estructuras favorables para cada sector con prioridad en las exis- tentes en el sector occidental. El área de estudio se va- lora como perspectiva con objetivos petroleros.

Palabras Clave: Petróleo, Hidrogeología, Tectónica, Geomorfología.

ABSTRACT

This research was conducted in the Martí municipa- lity, located northeast of Matanzas province and rela- ted to the Northern Heavy Crude Oil Belt (FNCP). The research problem focused on the insufficient level of knowledge to develop a morphotectonic scheme based on a qualitative analysis of the surface drainage net- work for oil purposes. The qualitative drainage met- hod was applied as a geomorphological tool for

García-García, A., Cruz-Toledo, R., Porres-García, M. A., 2025, Análisis morfotectónico de la red de drenaje superfi- cial y su implicación en la explotación petrolera. Caso de estudio en el municipio Martí, provincia Matanzas, Cuba: Ge- ociencias UO. v. 16, núm. 2, julio 2025. pp. 136-149.

prospecting for oil and gas deposits, with the goal of creating a morphotectonic scheme to guide the search for oil and gas in the territory. The materials used included digital topographic maps at a scale of 1:25,000, digital elevation models, and geological maps. The results showed the presence of different alignments with fundamental directions: NW (Cuban strike) and NE (opposing fault directions). Based on the interpretation of the surface drainage network, the Martí municipality was divided into two main sectors. A morphotectonic diagram was developed, showing the main dextral and sinistral faults, as well as possible reverse faults resulting from the main stress. Favorable structures were identified for each sector, with priority given to those in the western sector. The study area is considered a potential oil prospect.

Keywords: Petroleum, Hydrogeology, Tectonics, Geomorphology

RESUMO

Esta pesquisa foi realizada no município de Martí, localizado a nordeste da província de Matanzas e relacionado ao Cinturão Norte de Petróleo Pesado (FNCP). O problema de pesquisa centrou-se no nível insuficiente de conhecimento para desenvolver um esquema morfotectônico baseado em uma análise qualitativa da rede de drenagem superficial para fins petrolíferos. O método de drenagem qualitativa foi aplicado como ferramenta geomorfológica para prospecção de depósitos de petróleo e gás, com o objetivo de criar um esquema morfotectônico para orientar a busca de petróleo e gás no território. Os materiais utilizados incluíram mapas topográficos digitais na escala 1:25.000, modelos digitais de elevação e mapas geológicos. Os resultados mostraram a presença de diferentes alinhamentos com direções fundamentais: NW (direção cubana) e NE (direções de falhas opostas). Com base na interpretação da rede de drenagem superficial, o município de Martí foi dividido em dois setores principais. Um diagrama morfotectônico foi desenvolvido, mostrando as principais falhas dextral e sinistral, bem como possíveis falhas reversas resultan-

tes do estresse principal. Estruturas favoráveis foram identificadas para cada setor, com prioridade para aquelas no setor oeste. A área de estudo é considerada uma potencial prospecção de petróleo.

Palavras-chave: Petróleo, Hidrogeologia, Tectônica, Geomorfologia

INTRODUCCIÓN

El petróleo se destaca como uno de los puntos estratégicos más importantes para el desarrollo de la economía de un país y Cuba no es ajena a esto. La exploración petrolera es uno de los sectores priorizados para la inversión extranjera en Cuba, así como la base imprescindible para la generación eléctrica del país. Por esta razón se hacen necesarios nuevos estudios en empresas y centros de investigaciones que potencien el descubrimiento de yacimientos que logren estabilizar e incrementar la extracción de petróleo en Cuba y sus disímiles usos para el beneficio nacional.

El área donde se desarrolla la presente investigación es el municipio Martí, el cual forma parte del Bloque 9. El municipio está ubicado al noreste de la provincia de Matanzas y es bien conocido por su potencialidad de rocas asfálticas, así como importantes manifestaciones superficiales de hidrocarburos, por lo cual, ha sido objeto de investigaciones in situ, incluyendo perforaciones de pozos de poca profundidad hasta pozos más profundos.

Las primeras investigaciones que se realizaron en el área de interés, fueron dirigidos a la prospección de hidrocarburos y para aumentar el conocimiento geológico, estos datan del siglo XIX; entre ellos se incluyen los trabajos realizados por el conocido científico Humboldt, A. (1827). No obstante, se ha requerido de la implementación de nuevos métodos en la búsqueda de los yacimientos gasopetrolíferos para un menor riesgo exploratorio, relacionados con trabajos de detalle (escalas grandes como 1:50000 y/o 1:25000), desde el punto de vista geomorfológico.

Esta investigación se orienta hacia el estudio de la morfología de la red fluvial, a partir de que, gracias a su trazado y los distintos patrones que adopta, ayuda

en la identificación de secciones rectas y cambios bruscos de las corrientes, lo que se encuentra relacionado con sistemas de agrietamiento, zonas de fallas profundas, morfoestructuras y afloramientos de rocas consistentes, entre otros aspectos.

A partir de la determinación de los alineamientos fluviales, es posible determinar las áreas con características favorables para la prospección petrolera, las que son confirmadas luego de aplicar los métodos geofísicos que otorgan un mayor grado de eficacia. Por tanto, fue seleccionado el método cualitativo de la red de drenaje superficial para llevar a cabo la investigación, por ser un método económico y rápido, además de aportar los elementos necesarios para el desarrollo de esta.

El insuficiente grado de conocimiento para elaborar el esquema morfotectónico a partir del análisis cualitativo de la red de drenaje superficial con objetivos petroleros en el municipio Martí, provincia Matanzas, motivó la realización de esta investigación. Se plantea como hipótesis que el análisis cualitativo de la red de drenaje superficial permitirá realizar el esquema morfotectónico para la orientación de posibles áreas favorables para la búsqueda de petróleo en el municipio Martí, provincia Matanzas. El objetivo general consiste en elaborar el esquema morfotectónico a partir del análisis cualitativo de la red de drenaje superficial con objetivos petroleros en el municipio Martí, provincia Matanzas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de la presente investigación fueron utilizados los siguientes materiales:

- Mapa topográfico en formato digital a escala 1:25000 procedente del Grupo Empresarial GeoCuba.
- Modelo digital de elevación a partir del plugin SRTM – *Downloader* (el cual obtiene los datos de elevación desde la NASA *Shuttle Radar Topography Mission*) de 25x25 m, del software libre *QGis*.
- Mapa geológico de García (2010), en formato digital a escala 1: 10 000, procedente

del Instituto de Geología y Paleontología (IGPP).

- Diferentes publicaciones realizadas en el Centro de Investigación del Petróleo (CEIN-PET).
- Artículos científicos y educativos de diferentes autores.
- Tesis de maestría y de diploma procedentes de la Facultad de Geografía de la Universidad de La Habana.
- Libros en relación con el tema en cuestión.

Para el procesamiento de toda la información referida en esta investigación fueron utilizadas las siguientes herramientas: *Microsoft Word*, 2016, *MapInfo* 10.5 y *QGis* 3.10.

Fue aplicada la metodología diseñada por Cruz (1999) para la orientación de objetivos petroleros y obtuvo resultados alentadores en todo el territorio nacional y que aún en la actualidad se aplican. La metodología se basa en el principio elaborado por dicho autor, que asegura la existencia de dos direcciones fundamentales en Cuba: una SE-NW. Esto es debido a la formación de los plegamientos en la etapa orogénica y que se relaciona con las trampas actuales y otra dirección SW-NE asociada al postorogénico y debe estar relacionada con las vías de migración (Cruz, 2009).

Para la aplicación de esta metodología se realizó el levantamiento digital de los sistemas de drenaje superficial a través del mapa topográfico del municipio Martí a escala 1:25000. Una vez levantado el drenaje se identificaron los alineamientos fluviales y partearguas que orientan sobre posibles vías de migración y trampas estructurales de petróleo respectivamente.

Método cualitativo del drenaje

El método morfológico íntegro (morfométrico y morfográfico) sería lo ideal para el estudio complejo del área, ya que brindaría una información más completa, pero esta investigación responde a un objetivo general, al que le es suficiente el método descriptivo, por lo que el análisis de la morfología del drenaje basta para aca-
rrear los resultados deseados (Cruz y otros, 2005).

Este método posibilita la confección de mapas de alineamientos orientados a determinar zonas relacionadas con posibles vías de migración y trampas estructurales para la exploración petrolera (Cruz, 2008). Desde el punto de vista tectónico, la configuración de la red de drenaje está relacionada con el tipo de estructuras y con las características tectónicas.

Las formas que el drenaje adopta en determinadas condiciones geológicas y geográficas, conforman la configuración de la red fluvial.

La interpretación de la red de drenaje a partir de la relación drenaje-litología-estructura fue un gran apoyo en la delimitación e identificación de estructuras y alineamientos.

Ubicación geográfica

El área de estudio pertenece a la provincia de Matanzas, ubicada en la región occidental de Cuba; esta provincia cubre 11 798 km², que incluye los cayos adyacentes, lo que la coloca en el segundo lugar en extensión territorial en el país, lo que representa, el 10.7 % de su superficie total. El área donde se ubica la presente investigación, es el municipio Martí, el cual forma parte del bloque 9 petrolero, se encuentra al noreste de la provincia, con una extensión superficial de 1 012.3 km²; limita al norte con el estrecho de la Florida, al sur con los municipios Perico y Colón, al este con la provincia de Villa Clara y al oeste con el municipio de Cárdenas (Figura 1).

Ubicación del municipio Martí

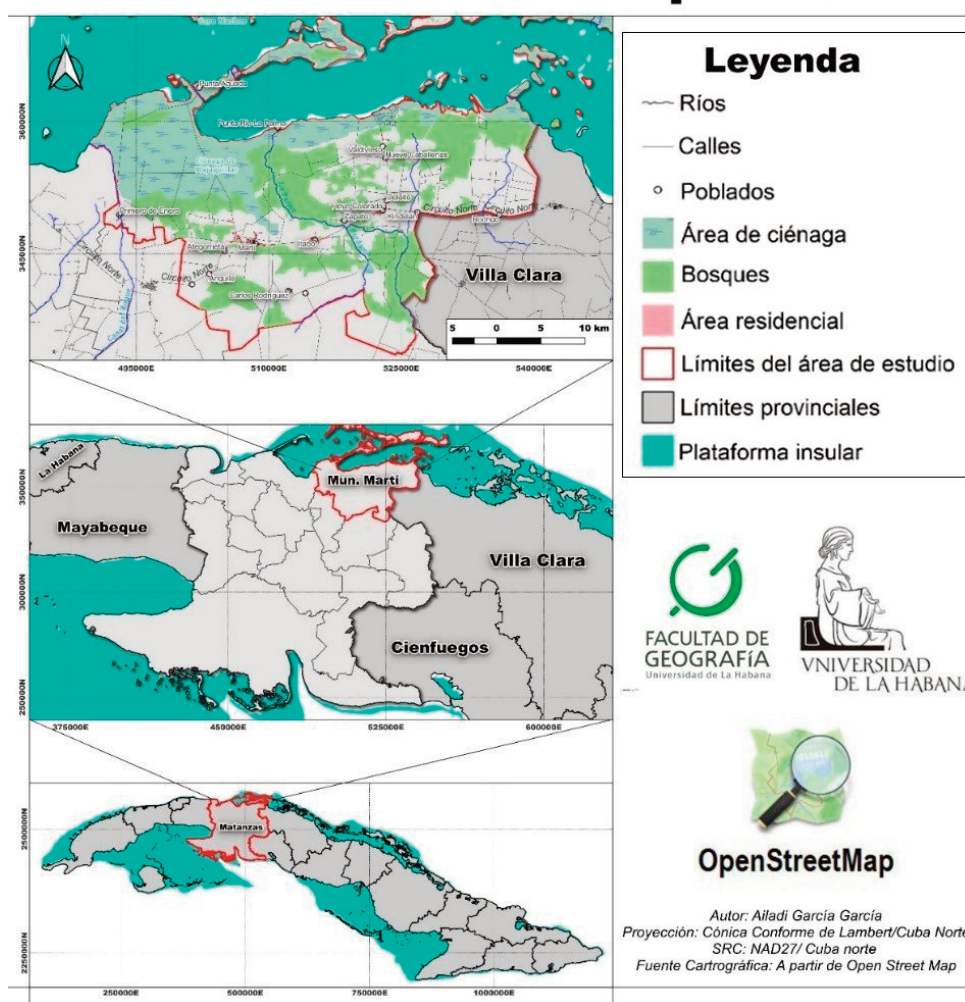


Figura 1. Mapa de ubicación del área de investigación

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Uno de los primeros trabajos revisados como referente a la investigación fue el realizado por los especialistas Toledo y Ganfo (1998) bajo el título «Aplicación de los métodos geólogo-geomorfológicos para la búsqueda de petróleo en un área del sector noroccidental de la provincia de Matanzas». En esta investigación se aplicaron los métodos geólogo-geomorfológicos y otros métodos geólogo-geofísicos, los cuales corroboraron las ideas existentes sobre la constitución geológica compleja y las relaciones entre las secuencias estratigráficas que aparecen en superficie, que a su vez se conjugaron con los datos de perforaciones profundas en el área y se destacaron los sectores más perceptivos para la búsqueda de nuevos yacimientos petrolíferos. Otras de las investigaciones revisadas, fue «Evaluación morfotectónica de los bloques 6, 7, 9 y 10, con un objetivo petrolero», llevada a cabo por Toledo y otros (2003) aquí mediante la interpretación de materiales cartográficos y de otros métodos de superficie, fueron elaborados diferentes esquemas morfo-métricos y del drenaje que propiciaron la elaboración de esquemas de alineamientos y otros diagramas. Estos esquemas mostraron los accidentes que evidencian los sistemas compresivos y extensivos, en bloques y alineados, que se corresponden con estructuras de posibles trampas en la dirección del rumbo cubano y la dirección de los esfuerzos principales que muestran las posibles vías de migración (noreste) en los bloques 7, 9 y 10. Los alineamientos en dirección noreste se relacionan con la dirección de dos grandes fallas, Pinar e Hicacos, al corroborar sus desplazamientos sinestrales en la morfología de la costa. También fue consultada la investigación de Toledo y otros (2005) «Geomorfología fluvial con un objetivo petrolero». En Toledo y otros (2005) fueron definidos los lineamientos fundamentales, en la dirección noreste con rumbo deslizante de tipo sinistral responsable de las posibles vías de migración y otros en la dirección noroeste relacionado con la falla de las Villas, al utilizar el elemento cualitativo del drenaje, mediante el análisis geomorfológico. En Meizoso y otros (2009) titulado «Los estudios microtectónicos y estructurales en la re-

gión Habana-Matanzas. Implicaciones para la exploración petrolera», fue interpretada la imagen de radar del territorio cubano y a través de ella, fueron definidos los más sobresalientes sistemas transcurrentes de la región. De forma complementaria, se elaboró el mapa de drenaje y el modelo digital del terreno, en los que se corroboró la extraordinaria coincidencia de los sistemas estudiados con los accidentes del terreno mostrados por ellos. La confección de los mapas de la primera derivada de los campos potenciales, con un enfoque en la transformada de la gravedad, resultaron de importancia para comprobar la coincidencia de estos con los sistemas transcurrentes, al exhibir rasgos particulares en las áreas donde se ubican casi la totalidad de los yacimientos de hidrocarburos de la FNCP, de forma que se mantiene una coexistencia sorprendente con las zonas de mínimos gravimétricos exhibidos.

Con base en el trabajo de Peña (2015) «Análisis geólogo-geomorfológico para la búsqueda de hidrocarburos en el sector majaguillar-coralillo», se utilizó el método cualitativo del drenaje, la disección vertical y las morfoisohipsas. Todo esto apoyado con trabajos de campos y la interpretación de campos potenciales (gravimetría y magnetometría), como resultado se obtuvo la integración de las disciplinas con vistas a la determinación de áreas favorables para la ocurrencia de depósitos de hidrocarburos. A partir del mapa de la quinta generalización de las morfoisohipsas, se identificaron levantamientos hacia la parte central del área geomorfológica I, donde se conjugan las dos direcciones fundamentales de lineamientos, noreste-suroeste y noroeste-sureste, asociadas a las posibles vías de migración y trampas estructurales, que coinciden con zonas de mínimos magnéticos y gravimétricos, asociados a la presencia en el subsuelo de rocas del margen continental de la Plataforma de Bahamas (las de mayor potencial petrolero en Cuba). Esa área fue la seleccionada como la más favorable desde el punto de vista exploratorio al presentar un mayor grado de coincidencia a partir del análisis integrado de los resultados geológicos, geomorfológicos y geofísicos. Otros de los trabajos consultados fue el de Fierro (2021) el cual lleva el título de «Estudio del potencial

y la factibilidad económica de la explotación de los yacimientos de rocas asfálticas y manifestaciones de asfaltos en el municipio Martí, provincia de Matanzas».

También fueron consultados algunos trabajos de diplomas realizados por los exalumnos de la Facultad de Geografía de la Universidad de La Habana. Los trabajos que más relación guardan con la presente investigación son:

- Pérez, Y. D. (2010), «Análisis morfológico de la red de drenaje superficial para la prospección de hidrocarburos. Sector septentrional Morro-Jaruco». En el mismo se realiza un análisis del sector Morro-Jaruco mediante el empleo del método cualitativo del drenaje, para examinar el área desde un punto de vista petrolero y donde el esquema de alineamientos demostró que las dos direcciones fundamentales de agrietamiento y fracturación, constituyen vías de migración y posibles trampas.
- Hernández, J. A. (2012), «Nuevos aportes a la caracterización geomorfológica de la falla Pinar en el escenario petrolero, desde un contexto estructural y tectónico, en el sector San Andrés- San Cristóbal, Pinar del Río y Artemisa. Cuba». En esta investigación el autor aplicó uno de los métodos de la Geomorfología Aplicada a la prospección de depósitos de petróleo y gas (método cualitativo del drenaje) que le permitió identificar otro alineamiento, muy similar a lo descrito en sus inicios, desde el punto de vista geomorfológico, en la falla denominada San Andrés-San Diego. Él mismo realiza una propuesta tectónica donde presenta características del desplazamiento dextral, justificado por la morfología de la costa, desplazamiento en la geología de superficie, así como alineamientos en los sistemas de drenaje y datos litológicos, cambio de rumbo en la dirección SE-NW desde la divisoria cen-

tral de las aguas. Estas evidencias geomorfológicas, así como su vinculación con las manifestaciones de superficie, facilitaron la orientación sobre la posible existencia de ese alineamiento tectónico, que llega a ser también, de interés petrolero.

- Ferrer, E. D. (2019), «El método geomorfológico de apoyo a la exploración petrolera en el sector de Sancti Spíritus-Ciego de Ávila, Cuenca Central de Cuba», fue otro de los trabajos revisados. Este se enfocó en estudios a escala de detalle de la red de drenaje superficial en un sector de las provincias de Sancti-Spíritus y Ciego de Ávila. También se identificaron zonas levantadas, a partir de la interpretación de los sistemas de drenaje fluvial, obtenidos sobre la base del análisis cartográfico. Se determinaron las direcciones principales de los alineamientos NW-SE y NE-SW y se obtuvieron resultados relacionados con zonas de interés estructural favorable para la búsqueda de petróleo en diferentes escenarios geólogo-geomorfológicos.

En Santiago (2019) se utilizó uno de los métodos de la geomorfología aplicada a la prospección de depósitos de petróleo y gas, el método cualitativo del drenaje.

Fue utilizado el mapa topográfico del área de estudio a escala 1:100000 para el levantamiento e interpretación del mapa de drenaje, al definirse estructuras alineadas en la dirección NW y NE, las cuales orientan al rumbo cubano con la dirección de los frentes de cabalgamientos, las posibles trampas para petróleo y la otra dirección del esfuerzo principal asociado con las posibles vías de migración. Esta investigación es la que tiene más relación con este artículo.

Análisis del relieve

En el mapa topográfico del área de estudio, se observa una posible división del municipio Martí, marcada por

el río La Palma y la morfología de la costa. Esta característica divide la región en dos sectores principales: el sector occidental y el sector oriental. Considerados por los autores, a partir de los cuales se realizan los diferentes análisis desde el punto de vista geólogo–geomorfológico (**Figura 2**).

En el sector occidental se observa hacia la parte septentrional, un área desprovista de curvas de nivel, lo que indica que es una zona llana, en esta área se encuentran la Ciénaga de Majaguillar y la Ciénaga de Bibanásí, lo que significa que además de ser una zona llana es también una zona cenagosa (**Figura 2**). Hacia la parte más meridional se existe un escalonamiento de alturas mayores, con alturas más pronunciadas en la parte occidental, relacionadas con la Sierra de Bibanásí, la cual posee una dirección noroeste–suroeste. En este sector, existe una gran inestabilidad desde el punto de vista tectónico, lo que da como resultado un fuerte desmembramiento vertical del relieve (Seco, 2004).

En el sector oriental existe una zona de llanuras en la parte más septentrional, que se estrecha en esa dirección desde el sector occidental (**Figura 2**). Hacia el centro y sur del sector se observan alturas pronunciadas que oscilan entre los 10–80 metros de altura sobre el nivel medio del mar, pero estas poseen una menor disección vertical, lo que indica que este es un sector más homogéneo con respecto al sector occi-

dental, dado por una disminución en el número de áreas levantadas.

Análisis de la red de drenaje superficial

Mediante la interpretación cartográfica a una escala de detalle de 1:25000 y la interpretación de la altimetría, se logró levantar la red de drenaje superficial para todo el municipio Martí, con la ayuda de los métodos tradicionales, se obtuvo una densificación de toda la red de drenaje superficial en el área de estudio, a pesar de ser esta un área bastante llana.

A partir de la interpretación de la red de drenaje superficial, se determinó una división geomorfológica, que se realizó desde el cauce de la corriente principal La Palma, por lo que fue nombrada alineamiento La Palma. La misma se extiende de noreste–sureste, comienza en el área occidental de Majaguillar, en la línea de costa y continúa por los alineamientos de las divisorias de las aguas y los alineamientos de la red de drenaje superficial, en lo fundamental con el propio río de La Palma y finaliza en el extremo suroeste del municipio, con mayor inclinación y en la misma dirección. Con este resultado se logra dividir el área en dos sectores uno occidental y el otro oriental, que se diferencian en cuanto a la morfología de la red de drenaje superficial, en el relieve y en las manifestaciones de petróleo (**Figura 3**).

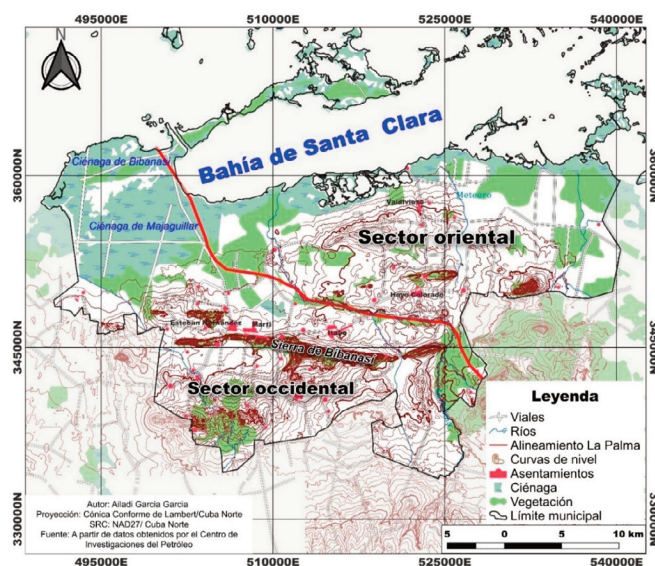


Figura 2. Mapa topográfico combinado con alineamiento central del municipio Martí.

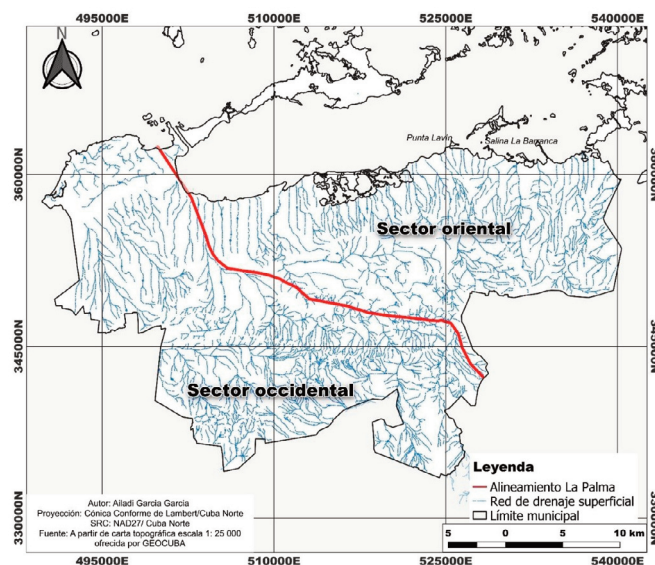


Figura 3. Mapa de la red de drenaje superficial del municipio Martí con la división geomorfológica, Alineamiento La Palma

En el Sector occidental se extiende al oeste del «Alineamiento La Palma» (Figura 3). En él se observa hacia el norte, una red de drenaje superficial de tipo paralelo en una zona muy llana, donde se encuentran la Ciénaga de Bibanasí y la Ciénaga de Majaguillar. No obstante, se logran definir pequeñas estructuras abiertas hacia el norte del municipio, expresadas en la red de drenaje superficial, que se ratifican en Cruz y otros (2003), con diferentes levantamientos geomorfológicos (divisorias de las aguas), según la terminología del CEINPET, de pequeños tamaños y en las principales direcciones tectónicas para Cuba, dirección noroeste-sureste.

En la parte central del sector occidental se observa la estructura 1 (Figura 4) bien diferenciada, que coincide con el punto de confluencia de la estructura abierta antes mencionada. Al norte del municipio, en las principales direcciones tectónicas para Cuba, relacionada con las posibles vías de migraciones de petróleo y las posibles trampas, acondicionado con levantamientos geomorfológicos (divisorias de las aguas) de mayor magnitud, donde el mismo Alineamiento La Palma se muestra como un posible frente de cabalgamiento, lo que justifica un área, que desde la orientación y condiciones estructurales, se muestra

como una zona muy favorable para la prospección de petróleo, que se incluye y amplía con la estructura 2 (Figura 4) al sur de la Sierra de Bibanasí, en un área donde se distinguen levantamientos, acompañados con la gran divisoria de las aguas del municipio de este-oeste.

La red de drenaje superficial para la parte sur y occidental del alineamiento La Palma se muestra con una mayor inestabilidad tectónica, desmembramiento vertical del relieve. Esto es debido a la complejidad de alineamientos, ríos principales y afluentes de mucha densificación, en todas direcciones. Los patrones de drenaje se caracterizan por ser de tipo rectangular en lo fundamental, propio de una zona de mayor inestabilidad tectónica que se corresponde con el relieve (Figura 3).

En el Sector oriental aparecen varios sistemas de red de drenaje superficial relacionados con posibles desplazamientos en la tectónica, que están muy bien definidos en las rotaciones o rumbos que expresan las mayores alturas hacia esta parte del sector. Se llega a apreciar esta área, como una faja este-oeste, con una red de drenaje superficial de tipo paralelo hacia el norte (Figura 3), con un punto de confluencia en las direcciones tectónicas fundamentales para Cuba (NW–

SE; NE-SO), muy interesante, en la parte septentrional del sector, ubicándose desde la Punta Lavín y Salina La Barranca y se extiende hacia el oriente del área. Estos elementos resultan de interés, ya que se asocian a estructuras semi-cerradas (estructuras 3 y 4) (Figura 4), con mayor regularidad, con levantamiento geomorfológico (divisoria de las aguas) hacia el centro y con diferentes direcciones de la red fluvial. Estas estructuras (3 y 4) también son de utilidad para objetivos petroleros, con predominio de las principales direcciones tectónicas para Cuba (NW-SE; NE-SO). También se observan alineamientos del drenaje superficial casi con dirección este-oeste, aunque en los ríos principales y afluentes también aparecen las dos direcciones fundamentales para Cuba (NW-SE; NE-SO), con menor complejidad e inestabilidad tectónica, lo que indica mayor preservación de posibles yacimientos (Figura 3).

Divisoria de las aguas

A partir del análisis del drenaje superficial y la altimetría del municipio Martí, fue posible obtener las divisorias de las aguas en el área de estudio, las cuales están relacionados con áreas levantadas por neotectónica y en algunos casos desde el punto de vista estructural, producto de la orogenia, por conocimientos de la geología petrolera. La determinación de las divi-

sorias de las aguas es un elemento fundamental del análisis, ya que se parte del principio de que la tectónica reciente tuvo efectos significativos sobre las trampas y que por ello se reflejan en la superficie (Figura 5).

De forma general, los levantamientos geomorfológicos (divisoria de las aguas), terminología usada por el CEINPET, muy cercanos a norte-sur hacia la parte septentrional y más pronunciados hacia la dirección noroeste-sureste que de alguna manera podrían estar asociados a diferentes frentes de cabalgamiento a partir del esfuerzo principal y que se manifiesta esta dirección hacia el río principal La Palma, en su brusco cambio hacia el noroeste-sureste (Figura 5). Es de destacar que estos levantamientos geomorfológicos (divisorias de las aguas) están relacionados con estructuras geológicas también levantadas y que cumple las condiciones de posibles vías de migración y posibles trampas (direcciones principales NE-SW; NW-SE), se podría decir que constituyen zonas favorables para petróleo y gas, como se observa en el esquema morfotectónico presentado.

Análisis de alineamientos

El área de investigación contiene una gran cantidad de alineamientos del drenaje superficial que responden a posibles debilidades del terreno, o sea, a la ocurrencia de fracturas y fallas expresadas en la superficie. Según

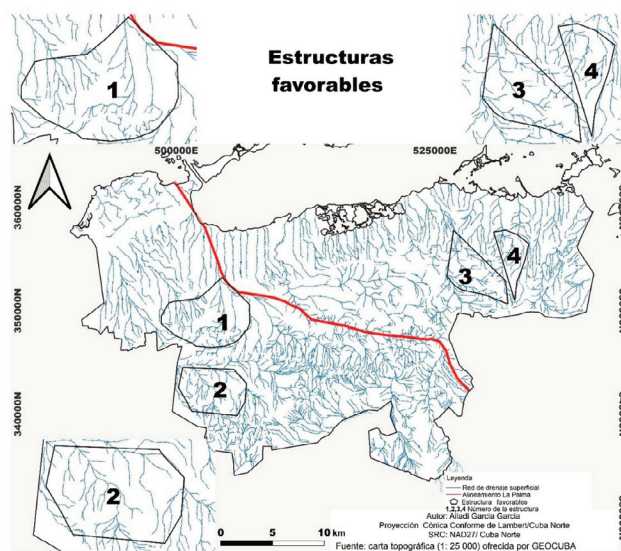


Figura 4. Mapa de estructuras favorables para la prospección de petróleo en el municipio Martí.

Cruz y otros (2003) a través del análisis del drenaje se reconocieron de forma general dos direcciones principales de los alineamientos: una NW-SE (rumbo cubano) y otra NE-SW (dirección de las fallas transcurrentes en Cuba) asociadas estas últimas a las fallas rumbo deslizantes responsables de la migración del petróleo (**Figura 3**) (Aubouin y otros, 1980).

Se corrobora en el área de estudio que los alineamientos tienen las direcciones muy bien definidas, de acuerdo con la orientación y los cambios bruscos

de la cuenca del río La Palma, esto es fundamental para cualquier análisis estructural del territorio. Las direcciones NW-SE podrían estar relacionadas con fallas de cabalgamiento que se corresponden a las principales fallas inversas en esta área. Además, existen algunos sistemas paralelos que coinciden con esa dirección ya descritas, responsables de la relación con las posibles trampas y las posibles vías de migración (**Figura 6**). Esta singularidad muestra que a pesar de existir una fracturación caótica identificada en la ex-

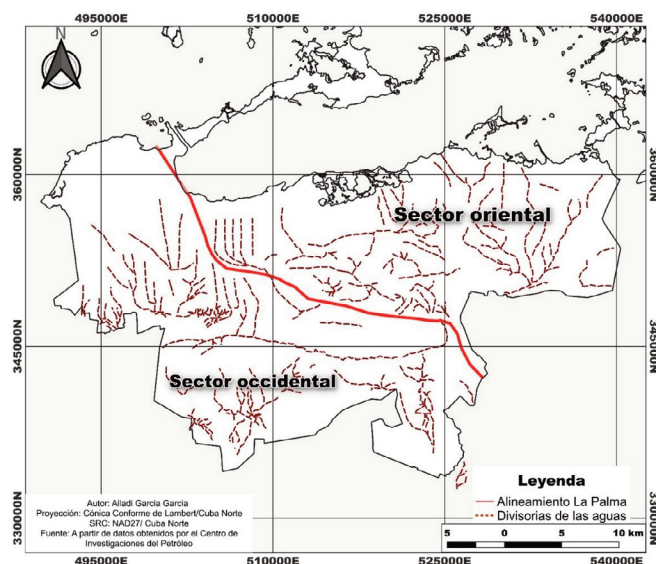


Figura 5. Mapa de las divisorias de las aguas en el municipio Martí

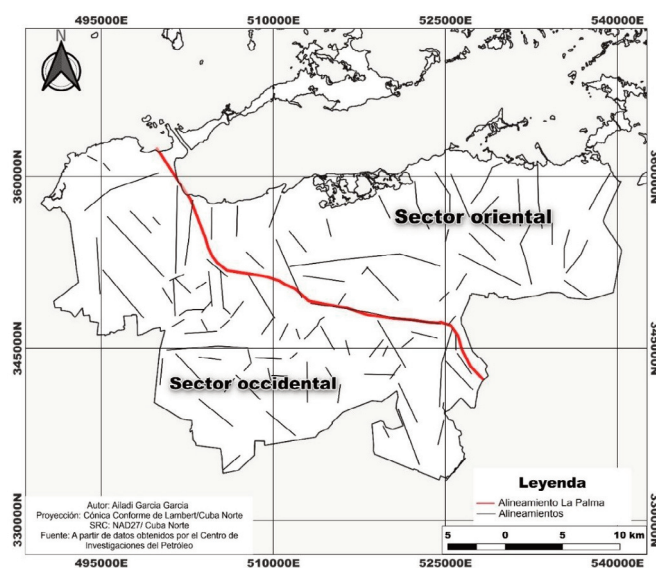


Figura 6. Mapa de alineamientos del municipio Martí

presión de la red de drenaje superficial a escala 1:25 000 (**Figura 3**), es posible precisar estas dos direcciones fundamentales descritas con anterioridad (**Figura 6**). Estas características geomorfológicas vinculadas a zonas levantadas, podrían orientar a la existencia de reservorios de hidrocarburos (trampas), constituyen objetivos de interés petrolero, en el caso de este estudio, se vinculan estas estructuras hacia la zona occidental del área con mayor prioridad (estructuras 1 y 2, **Figura 4**), con la existencia de posibles sellos desde el punto de vista geológico, ya que como se especifica en los datos geológicos de superficie, afloran rocas antiguas como ventanas tectónicas y las rocas con posibilidades del sello regional vinculado con la Formación Vega Alta.

El área de investigación no es muy extensa, sin embargo, su ubicación recibe gran influencia de dos grandes fallas: la falla Hicacos (NE-SW) y la falla Cochinos (NW-SE), cuyas direcciones, de tipo regional, se ratifican.

Análisis del esquema morfotectónico

Con todo el análisis de la interpretación cartográfica en el área de estudio, los esquemas de algunos alineamientos relacionados con el drenaje superficial y las divisorias de las aguas acompañado con la morfología de la costa, se logra combinar los resultados en un esquema morfotectónico (**Figura 7**), donde se pudieron ratificar fallas transcurrentes de tipo sinistral y dextral que posibilitan la identificación de dos sectores con características tectónicas y estructurales muy favorables y que muestran diferentes estructuras propias con objetivos petroleros.

El alineamiento La Palma, desde el criterio de los autores, es el alineamiento fundamental que divide el área de estudio en dos sectores, está asociado al río más importante del área, objeto de estudio, el cual se expresa como una posible falla de tipo dextral por la morfología de la costa, alineamientos del drenaje superficial y que tienen un símil hacia la parte más occidental del bloque nueve con la falla Cochinos (**Figura 7**). Esta área se encuentra cubierta por rocas postorogénicas. La geología de superficie exhibe sobrecorri-

mientos, en el que las rocas del margen continental afloran como ventanas tectónicas y las rocas de la Unidad Tectónica Estratigráfica (UTE) Placetas se observan en la superficie, mientras que las de Camajuaní estarían cubiertas al norte y se conocen solo por perforaciones profundas. La presencia de estas rocas es un indicador de mucho interés por la existencia de estos reservorios a diferentes profundidades, lo que da más probabilidad a la búsqueda de ocurrencias de petróleo.

La **Figura 7** exhibe un esquema donde se muestran diferentes estructuras cerradas y semicerradas, según la configuración del drenaje superficial, donde están las condiciones de tipo geomorfológico favorables para la prospección de petróleo, ya que confluyen las direcciones NW-SE y NE-SW para las posibles trampas y vías de migración, incluido que su ubicación se asocia a levantamientos geomorfológicos (divisorias de las aguas) y alineamientos fluviales propios de las estructuras regionales.

Los resultados obtenidos se extrapolan al sector nororiental del Bloque 7, ya que presenta condiciones tectónicas y estructurales equivalentes. La orientación NE-SW constituye el factor determinante para el cierre estructural al sur del área estudiada. Esta interpretación se fundamenta en el análisis cartográfico que identifica la falla Hicacos como estructura sintética, alineada en la dirección bahía de Matanzas siguiendo la morfología costera, la cual define el límite occidental del área de Varadero. Esta dirección según la metodología aplicada, es responsable de las posibles vías de migración, por lo que esta dirección predominante se establece de forma regional y pone en condiciones, que además exista la dirección NW-SE. Esto está muy relacionado con la división septentrional y meridional del área nororiental del Bloque 7, lo que indica una relación bastante similar a las que se desarrollan en el municipio de Martí, con la diferencia de que para esta parte del área existe de forma fundamental y regional la dirección del rumbo cubano propio de la dirección NW-SE relacionada con las posibles trampas. Es por ello que el sector nororiental del Bloque 7 y el municipio de Martí, en su conjunto,

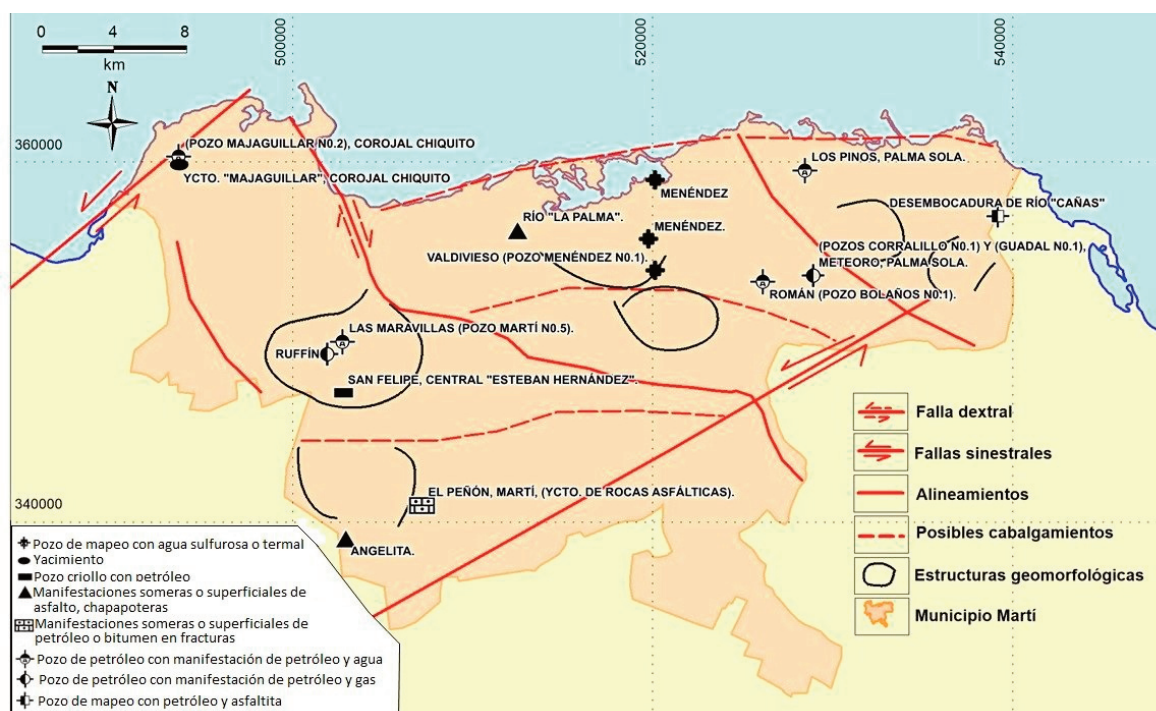


Figura 7. Esquema morfotectónico del municipio Martí

combinan estas dos direcciones fundamentales relacionadas con las direcciones de las posibles trampas, posibles vías de migración y por supuesto, levantamientos geomorfológicos, que hacen de esa área, a nivel regional, un área perspectiva para la búsqueda de ocurrencias de petróleo. Por lo que se ratifica la metodología de Cruz (1988).

En el sector más occidental del área de investigación, hay dos estructuras que revisten gran interés, por encontrarse entre posibles frentes de cabalgamientos y entre sistemas de fallas alienados, en ellas existen evidencias de manifestaciones de petróleo y perforaciones profundas que orientan al grado de acierto de estas estructuras y los resultados existentes para petróleo (Figura 7). Así, para este sector (occidental) reviste una gran importancia que además de la estructura Majaguillar al norte, limitada por dos encuentros de fallas, también al sur se delimitan estructuras de gran interés. Se señaló con una flecha gris la dirección del esfuerzo principal, perpendicular a las fallas inversas, como posibles trampas y paralelo a las fallas sinestrales como vías de migración en la direc-

ción más regional SW-NE, lo que mostró que esta área desde el punto de vista geomorfológico presenta muy buenas condiciones y llega a ser favorable para la búsqueda de petróleo y gas (Figura 7).

En el esquema morfotectónico de la Figura 7, aparecen las manifestaciones y perforaciones profundas realizadas en el municipio Martí. En dicho esquema se observa hacia el área occidental, de norte-sur, el pozo Majaguillar No.2 con manifestaciones de petróleo y agua, el yacimiento Majaguillar, el pozo Martí No.5 (Las Maravillas) con manifestaciones de petróleo y agua, el pozo Ruffín con manifestaciones de petróleo y gas, el pozo criollo con petróleo San Felipe, Central (Esteban Hernández), El Peñón, Martí con manifestaciones someras o superficiales de petróleo o bitumen en fracturas (yacimiento de rocas asfálticas) y el pozo la Angelita con manifestaciones someras o superficiales de asfalto, chapopoterías.

Hacia el sector oriental también se asocian diferentes estructuras entre posibles frentes de cabalgamientos. Estas estructuras se expresan en forma de bloques, circulares y semicirculares, las cuales podrían

estar asociadas a futuras investigaciones con objetivos petroleros, ellas también se asocian a manifestaciones y perforaciones profundas y se considera que se necesita un grado mayor de estudio, y puesto que presentan un menor número de manifestaciones de interés petrolera, se consideran estructuras que revisten un segundo interés para la investigación, desde el punto de vista regional (**Figura 7**).

En el esquema morfotectónico se observan las manifestaciones y perforaciones profundas hacia el área oriental del municipio: la manifestación superficial o somera de asfalto río La Palma, le sigue el pozo Menéndez con aguas sulfurosas, el pozo somero Valdivieso (Menéndez No.1), también con aguas sulfurosas, el pozo Los Pinos (Palma Sola) con manifestaciones de petróleo y agua, el pozo con petróleo o asfaltitas en la desembocadura de río Cañas, los pozos Corralillo No. 1 y Guadal No.1, (Meteoro, Palma Sola) con manifestaciones de petróleo y gas y por último el pozo Román (Bolaños No.1) con manifestación de petróleo y agua. De manera general el municipio se valora de perspectivo con objetivos petroleros dada el número de manifestaciones y perforaciones presentes en el área.

CONCLUSIONES

El análisis cualitativo de la red de drenaje superficial en el municipio Martí permitió elaborar un esquema morfotectónico que evidencia la existencia de estructuras con alto potencial para la prospección petrolera. La identificación de alineamientos con direcciones predominantes NW-SE y NE-SW, junto con la delimitación de divisorias de aguas asociadas a levantamientos geomorfológicos, permite inferir posibles trampas estructurales y vías de migración de hidrocarburos. Se determinó que el sector occidental presenta condiciones más favorables desde el punto de vista estructural, con la presencia de estructuras cerradas y semicerradas asociadas a manifestaciones de petróleo y perforaciones previas. Estos resultados validan la aplicación del método cualitativo del drenaje como herramienta preliminar eficaz en la exploración petrolera, en correspondencia con la metodología desarrollada

por Cruz (1998). Por tanto, se concluye que el área de estudio posee un carácter perspectivo y se recomienda su priorización para futuros trabajos exploratorios con métodos geofísicos y perforaciones profundas.

RECOMENDACIONES

- Profundizar la investigación con métodos morfométricos y geofísicos para corroborar la presencia de estructuras favorables.
- Realizar campañas de campo dirigidas a validar los alineamientos identificados y confirmar la interpretación cartográfica.
- Aplicar análisis satelital para detectar zonas de fracturación superficial que refuercen la identificación de posibles fallas y trampas estructurales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, J., Aballí, P., Cruz, R.,** 1998, Proyecto 2132, Etapa #1. Evaluación de Lead para los bloques 6, 7, 9 y 10. La Habana: Archivo del CEINPET.
- Aubouin, J., Brousse, R., Lehman, J.,** 1980, Tratado de Geología, Tectónica, Tectonofísica y Morfología. Barcelona: Omega S.A.
- Cruz, R.,** 2008, Efectividad de los métodos geomorfológicos en la búsqueda de petróleo y gas desde la región de Bijabos hasta Pina. Ciudad de La Habana: Archivo del CEINPET.
- Cruz, R.,** 2009, Geomorfología Regional con objetivo petrolero. Su relación con la tectónica de cizalla en el área de cuenca central de Cuba. La Habana: Memorias de II Congreso de petróleo y gas.
- Cruz, R., Hernández, J.,** (1988), Aplicación de los métodos geólogo-geomorfológicos para la búsqueda de petróleo en un área del sector nor-occidental de la provincia de Matanzas. La Habana: Facultad de Geografía.
- Cruz, R., Álvarez, J., Mejías, L.,** 2003, Evaluación Morfotectónica de los bloques 6, 7, 9 y 10 con un objetivo petrolero. La Habana: Memorias del V Congreso de Geología y Minería

- Cruz, R., Álvarez, J., Mejías, L.,** 2005, Geomorfología fluvial con un objetivo petrolero. Ciudad de La Habana: VI Congreso de Geología.
- Ferrales, J. A.,** 2012, Nuevos aportes a la caracterización geomorfológica de la falla pinar en el escenario petrolero, desde un contexto estructural y tectónico, en el sector San Andrés - San Cristobal, Pinar del Río y Artemisa. Cuba. La Habana: Facultad de Geografía.
- Ferrer, E. d.,** 2019, El método geomorfológico de apoyo a la exploración petrolera en el sector de Sancti Spíritus - Ciego de Ávila, Cuenca Central de Cuba. La Habana: Facultad de Geografía.
- Fierro, A.,** 2022, Estudio del potencial y la factibilidad económica de la explotación de los yacimientos de rocas asfálticas y manifestaciones de asfaltos en el municipio Martí, provincia de Matanzas. La Habana: Archivo CEINPET.
- Ganfo, R. C.,** 1998, Aplicación de los métodos geólogo-geomorfológicos para la búsqueda de petróleo en un área del sector noroccidental de la provincia de Matanzas. La Habana: Facultad de Geografía.
- García, D.,** 2010, Mapa geológico de Cuba (1: 100 000) en formato digital. Cuba.: Instituto de Geología y Paleontología.
- Hernández, J. A.,** 2012, Nuevos aportes a la caracterización geomorfológica de la falla Pinar en el escenario petrolero, desde un contexto estructural y tectónico, en el sector San Andrés-San Cristóbal, Pinar del Río y Artemisa. Cuba. La Habana: Facultad de Geografía.
- Humboldt, A.,** 1827, Ensayo Político sobre la isla de Cuba. Venezuela. ISBN 980 - 276 - 402 – 203.
- Meizoso, C. S., & García R. S., J. G.,** 2009, Los estudios microtectónicos y estructurales en la región Habana - Matanzas. Implicaciones para la exploración petrolera. La Habana: Archivo del CEINPET.
- Peña, M. V.,** 2015, Análisis geólogo-geomorfológico para la búsqueda de hidrocarburos en el sector majaguillar-corrallillo. La Habana: Archivo del CEINPET.
- Pérez, C.,** 1989, Esquema de lineamientos del Nuevo Atlas Nacional de Cuba. La Habana: Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba, Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, Instituto Geográfico Nacional de España.
- Pérez, Y. D.,** 2010, Análisis morfológico de la red de drenaje superficial para la prospección de hidrocarburos. Sector septentrional Morro-Jaruco. La Habana: Facultad de Geografía.
- Santiago, Y. R.,** 2019, Método cualitativo del drenaje de apoyo a la exploración petrolera en el sector bahía de Matanzas-Boca de Jaruco. La Habana: Facultad de Geografía.
- Seco, R.,** 2004, Geomorfología. La Habana: Félix Varela.
- Toledo, R. C., & Ganfo, J. H.,** 1998, Aplicación de los métodos geólogo-geomorfológicos para la búsqueda de petróleo en un área del sector noroccidental de la provincia de Matanzas. La Habana: Facultad de Geografía.
- Toledo, R. C., Castro, J. Á., Marrero, R. O., & Rodríguez, J. G.,** 2003, Evaluación Morfotectónica de los bloques 6, 7, 9 Y 10, con un objetivo petrolero. La Habana: Archivo del CEINPET.
- Toledo, R. C., & Rodríguez, J. Á.,** 2005, Geomorfología Fluvial con un objetivo petrolero. La Habana: Archivo del CEINPET.