

## Investigaciones geofísico-morfométricas para la cartografía de zonas favorables de desarrollo de rocas asfálticas y bituminosas en Martí, Matanzas, Cuba

**Manuel Enrique Pardo Echarte<sup>1</sup>, Carlos Manuel Valdivia Tabares<sup>2</sup> y Yeniley Fajardo Fernández<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Ingeniero Geofísico. Doctor en Ciencias Geológicas. Profesor titular e investigador titular. Centro de Investigación del Petróleo. Churruca No. 481, e/ Vía Blanca y Washington, Cerro. C.P.10600. La Habana, Cuba, Correo electrónico: pardo@ceinpet.cupet.cu.*

<sup>2</sup> *Ingeniero Geólogo. Centro de Investigación del Petróleo. Centro de Investigación del Petróleo. Churruca No. 481, e/ Vía Blanca y Washington, Cerro. C.P.10600. La Habana, Cuba. Correo electrónico: cvaldivia.2303@gmail.com.*

<sup>3</sup> *Licenciada en Geografía, Master en Negocios de Petróleo y Gas, investigador agregado, Centro de Investigación del Petróleo, Churruca No 481, El Cerro, La Habana, Cuba C.P. 12000. Correo electrónico: yeniley@ceinpet.cupet.cu*

### RESUMEN

En los más diversos territorios, la actividad de exploración de las rocas asfálticas y bituminosas pasa por considerar la dicotomía en la respuesta físico-químico-geológica de estas dos formas minerales, una líquida y otra sólida. Así, la presencia de rocas asfálticas, se distinguen en la espectrometría gamma por mínimos de los canales de uranio e intensidad gamma total, debido a que la contribución uranífera y radioactiva, en general, está suprimida por la naturaleza líquida del mineral, equivalente a la del petróleo. De forma contrastante, la respuesta de las rocas bituminosas (bitúmenes y asfaltitas, sólidos) es uranífera y anómala de modo ligero en el canal de intensidad gamma total, dada la naturaleza de materia orgánica. No obstante, ambos tipos de rocas (asfálticas y bituminosas) tienen una expresión análoga en mínimos del campo magnético reducido al polo, máximos de resistividad aparente y mínimos del Potencial Redox. El objetivo principal de la investigación es el de cartografiar las zonas favorables para el desarrollo de rocas asfálticas

y bituminosas en la región del municipio Martí, provincia de Matanzas, Cuba. En estas zonas, juega un papel importante el marco tectónico y estructural del corte geológico en que las ocurrencias tienen lugar ya que constituyen las vías de ascenso de los hidrocarburos. En el trabajo se consideraron los resultados de la espectrometría gamma aérea a escala 1:100 000, junto con los de la cartografía gravimétrica y magnética, así como del Modelo de Elevación Digital 30 x 30 m, a escala 1:50 000 y como objetivo específico, se plantea el apoyo a la cartografía geólogo-estructural por datos gravimagnéticos y morfométricos. A partir de la cartografía prospectiva integrada, en el marco de las ocurrencias asfálticas y bituminosas conocidas del territorio y una selección de alineamientos tectónicos (gravimagnéticos y morfométricos), se ofrecen los mínimos y máximos de los canales de uranio-intensidad gamma total, de forma conjunta con los mínimos locales del canal magnético reducido al polo. Como resultado, se cartografiaron dos principales áreas favorables para rocas asfálticas y bituminosas: una al norte,

vinculada con las ocurrencias asfálticas de Ruffin-Sabanilla de la Palma y San Felipe y; otra al sur, de mayores proporciones y perspectiva minera, vinculada con las ocurrencias bituminosas de El Peñón, Santa Gertrudis y La Angelita. El cuadro geólogo-estructural para estas dos áreas favorables es diferente. También, se cartografiaron cuatro áreas bituminosas de modo presumible, de menores proporciones, intermedias de modo espacial entre las dos anteriores: tres pequeñas en las proximidades de las ocurrencias de El Peñón y La Angelita y una mayor al sur de San Felipe. La mayor densidad de alineamientos tectónicos se concentra dentro de los límites de las dos principales áreas favorables descritas, lo cual pudiera explicar la alta migración de hidrocarburos hacia la superficie con su consiguiente entrapamiento, oxidación y degradación en forma de asfalto y/o bitumen (este último, en sectores con un levantamiento reciente).

**Palabras clave:** Rocas asfálticas, rocas bituminosas, espectrometría gamma aérea, aeromagnetometría, gravimetría, morfometría.

#### **ABSTRACT**

In the most diverse territories, the exploration activity of asphalt and bituminous rocks goes through considering the dichotomy in the physical-chemical-geological response of these two mineral forms, one liquid and the other solid. Thus, the presence of asphalt rocks can be distinguished in the gamma spectrometry by minima of the uranium channels and total gamma intensity, because the uranium and radioactive contribution, in general, is suppressed by the liquid nature of the mineral, equivalent to that of the Petroleum. In contrast, the response of bituminous rocks (bitumens and asphaltites, solids) is uraniumiferous and slightly anomalous in the channel of total gamma intensity, given the nature of organic matter. However, both types of rocks (asphalt and bituminous) have an analogous expression in minimums of the magnetic field reduced to the pole, maximums of apparent resistivity and minimums of the Redox Potential. The main objective of the research is to map the favorable areas for

the development of asphalt and bituminous rocks in the region of the Martí municipality, Matanzas province, Cuba. In these areas, the tectonic and structural framework of the geological cut in which the occurrences take place plays an important role, since they constitute the routes of ascent of the hydrocarbons. The work considered the results of the aerial gamma spectrometry at a scale of 1:100 000, together with those of the gravimetric and magnetic cartography, as well as the 30 x 30 m Digital Elevation Model, at a scale of 1:50 000 and as a specific objective, the support for geological-structural mapping by gravimagnetic and morphometric data. From the integrated prospective cartography, within the framework of the known asphalt and bituminous occurrences of the territory and a selection of tectonic alignments (gravimagnetic and morphometric), the minimums and maximums of the uranium channels-total gamma intensity are offered, together with the local minima of the magnetic channel reduced to the pole. As a result, two main favorable areas for asphalt and bituminous rocks are mapped: one to the north, linked to the asphalt occurrences of Ruffin-Sabanilla de la Palma and San Felipe and; another to the south, of greater proportions and mining prospects, linked to the bituminous occurrences of El Peñón, Santa Gertrudis and La Angelita. The geological-structural picture for these two favorable areas is different. Also, four presumably bituminous areas were mapped, of smaller proportions, spatially intermediate between the previous two: three small ones in the vicinity of the occurrences of El Peñón and La Angelita and a larger one south of San Felipe. The highest density of tectonic alignments is concentrated within the limits of the two main favorable areas described, which could explain the high migration of hydrocarbons to the surface with their consequent entrapment, oxidation and degradation in the form of asphalt and / or bitumen (this last, in sectors with a recent uplift).

**Key words:** Asphalt rocks, bituminous rocks, airborne gamma spectrometry, aeromagnetometry, gravimetry, morphometry.

## RESUMO

Nos mais diversos territórios, a atividade de exploração de asfalto e rochas betuminosas passa por considerar a dicotomia na resposta físico-químico-geológica dessas duas formas minerais, uma líquida e outra sólida. Assim, a presença de rochas asfálticas pode ser distinguida na espectrometria gama pelos mínimos dos canais de urânio e intensidade gama total, pois a contribuição do urânio e da radioatividade, em geral, é suprimida pela natureza líquida do mineral, equivalente à do Petróleo. Em contrapartida, a resposta das rochas betuminosas (betumes e asfaltites, sólidos) é uranífera e ligeiramente anômala no canal de intensidade gama total, dada a natureza da matéria orgânica. Porém, ambos os tipos de rochas (asfalto e betuminoso) têm uma expressão análoga em mínimos do campo magnético reduzido ao pólo, máximos de resistividade aparente e mínimos do Potencial Redox. O objetivo principal da pesquisa é mapear as áreas favoráveis ao desenvolvimento de asfalto e rochas betuminosas na região do município de Martí, província de Matanzas, Cuba. Nessas áreas, o quadro tectônico e estrutural do corte geológico em que se dão as ocorrências desempenha um papel importante, visto que constituem as rotas de ascensão dos hidrocarbonetos. O trabalho considerou os resultados da espectrometria gama aérea na escala de 1:100 000, juntamente com os da cartografia gravimétrica e magnética, bem como o Modelo Digital de Elevação 30 x 30 m, na escala de 1:50 000. Como objetivo específico, o apoio ao mapeamento geológico-estrutural por dados gravimagnéticos e morfométricos. A partir da cartografia prospectiva integrada, no marco das conhecidas ocorrências asfálticas e betuminosas do território e de uma seleção de alinhamentos tectônicos (gravimagnéticos e morfométricos), são oferecidos os mínimos e máximos da intensidade gama total dos canais de urânio, juntamente com a mínimos do canal magnético reduzido ao pólo. Como resultado, são mapeadas duas principais áreas favoráveis ao asfalto e rochas betuminosas: uma ao norte, ligada às ocorrências asfálticas de Ruffin-Sabanilla de la Palma e San Felipe e; outra ao sul, de maiores proporções e perspectivas mineiras, ligada às

ocorrências betuminosas de El Peñón, Santa Gertrudis e La Angelita. O quadro geológico-estrutural para essas duas áreas favoráveis é diferente. Além disso, foram mapeadas quatro áreas presumivelmente betuminosas, de proporções menores, especialmente intermediárias entre as duas anteriores: três pequenas nas proximidades das ocorrências de El Peñón e La Angelita e uma maior ao sul de San Felipe. A maior densidade de alinhamentos tectônicos concentra-se dentro dos limites das duas principais áreas favoráveis descritas, o que poderia explicar a alta migração de hidrocarbonetos para a superfície com seu consequente aprisionamento, oxidação e degradação na forma de asfalto e / ou betume (este último, em setores com uma elevação recente).

**Palavras-chave:** Rochas asfálticas, rochas betuminosas, espectrometria gama aérea, aeromagnetometria, gravimetria, morfometria.

## 1.0 INTRODUCCIÓN

En los más diversos territorios, la actividad de exploración de las rocas asfálticas y bituminosas pasa por considerar la dicotomía en la respuesta físico-químico-geológica de estas dos formas minerales, una líquida y otra sólida. Así, la presencia de rocas asfálticas, se distinguen en la espectrometría gamma por mínimos de los canales de uranio e intensidad gamma total, debido a que la contribución uranífera y radioactiva, en general, está suprimida por la naturaleza líquida del mineral, equivalente a la del petróleo. Contrastantemente, la respuesta de las rocas bituminosas (bitúmenes y asfaltitas) es uranífera y anómala de forma ligera en el canal de intensidad gamma total, dada la naturaleza de materia orgánica que poseen. No obstante, ambos tipos de rocas (asfálticas y bituminosas) tienen una expresión análoga en mínimos del campo magnético reducido al polo, máximos de resistividad aparente y mínimos del Potencial Redox. La disímil respuesta físico-químico-geológica entre hidrocarburos sólidos y líquidos está bien representada en el área estudiada, al permitir definir de antemano la naturaleza y características generales del hidrocarburo a prospectar.

Según Torres-Zafra y Bristol-Ávila (2013), las rocas asfálticas y bituminosas, son utilizadas de forma local para impermeabilizar techos de viviendas y en la producción de mezcla asfáltica para pavimentación, una práctica que se considera tradicional en diversas localidades de Cuba. En Matanzas, por ejemplo, las casas de mampostería del caserío San Cayetano tienen sus techos impermeabilizados con el bitumen procedente de la antigua cantera de Peñón, distante unos ocho km de esa localidad. También, en la promoción del uso de bitumen y asfalto para la producción de mezcla asfáltica destinada a la pavimentación (utilizando, generalmente, pozos criollos con asfalto o petróleo extra pesado que son activos), se tiene el ejemplo de San Felipe, municipio Martí, Matanzas. En esta localidad, la abundancia de asfalto, según informes antiguos, permitió utilizar el material para pavimentar las calles de Cárdenas, algo confirmado por el testimonio material de la pasada existencia de una actividad extractiva. Varios lugares del Municipio Martí, como Santa Ana (Ruffín-Sabanilla de la Palma), San Felipe, El Peñón, Santa Gertrudis y La Angelita, por ejemplo, parecen tener buenas posibilidades con este propósito.

El empleo de métodos aerogeofísicos y morfométricos para la cartografía de zonas favorables de desarrollo de rocas asfálticas y bituminosas, es una investigación que solo posee como antecedentes de su tipo en Cuba y en el mundo, las investigaciones de Pardo-Echarte *et al.* (2013).

El objetivo principal de esta investigación es el de cartografiar las posibles zonas de desarrollo de las rocas asfálticas y bituminosas en la región de estudio dentro del marco tectónico-estructural en que estas se despliegan. Ello se logra a partir de considerar los resultados de la espectrometría gamma aérea (EGA) a escala 1:100 000, junto con los de la cartografía gravimétrica (Gb) y magnética (DTrp), así como del Modelo de Elevación Digital 30 x 30 m (MED), a escala 1:50 000. Como objetivo específico, se plantea el apoyo a la cartografía geólogo-estructural por datos gravimagnéticos y morfométricos.

### 1.1 Ubicación Geográfica

La región de estudio se localiza en los límites del municipio Martí y su periferia, provincia de Matanzas, Cuba (Figura 1). Sus coordenadas se ofrecen en la **Tabla 1**.

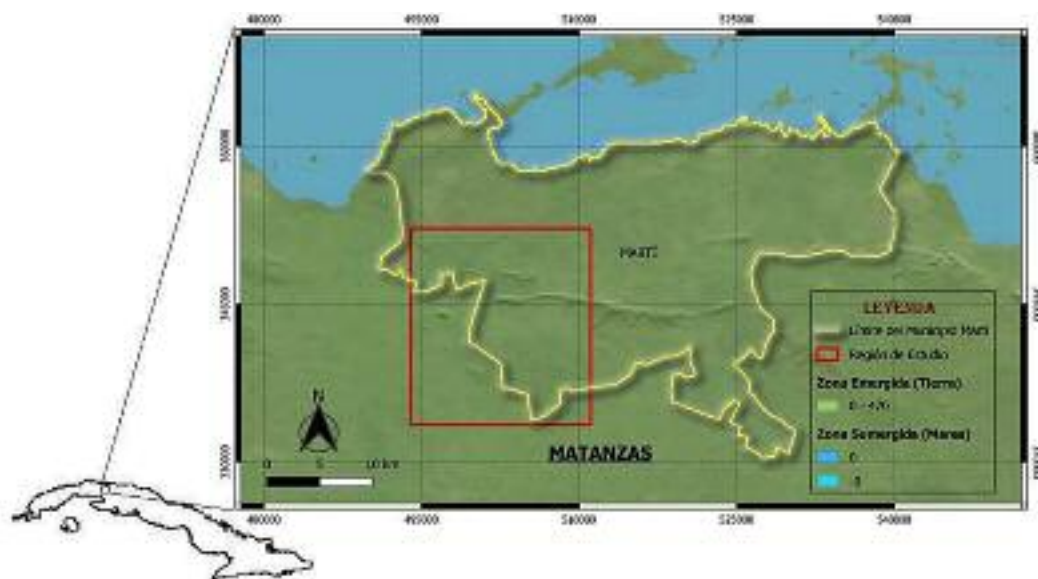


Figura 1. Mapa de ubicación de la región de estudio.

### 1.2 Marco Geólogo-Petrolero

A continuación, se ofrece una sucinta caracterización de las principales ocurrencias bituminosas y asfálticas

de la región de estudio tomada de un Resumen Ejecutivo (Echevarría y Estapé, 1990) y de un Informe Geológico (Echevarría y Linares-Cala, 1987).

Vértices	X	Y
1	494001	352182
2	511107	333537
3	511107	333537
4	494001	352182

**Tabla 1.** Coordenadas de la región de estudio

La Angelita (Echevarría y Estapé, 1990)

Este yacimiento se compone de un estrato casi horizontal formado de biocalcarenitas de la Fm. Peñón (Eoceno Inferior), impregnada de bitumen. En años anteriores se explotó el yacimiento en forma de canteras para la utilización de rocas bituminosas en la pavimentación de carreteras.

El Peñón (Echevarría y Estapé, 1990)

Es el principal y más extenso (~1 km<sup>2</sup>) yacimiento bituminoso del campo mineral Martí. La ocurrencia está formada por un estrato de biocalcarenitas de la Fm. Peñón, que buza hacia el NE de forma aproximada, al formar parte del anticlinal denominado Amistad-Peñón. La cubierta del mismo está compuesta, fundamentalmente, de calizas cavernosas silicificadas con intercalaciones de lentes de arcillas. Este yacimiento fue explotado en forma de cantera para utilizar la roca bituminosa en pavimentación de carreteras.

Santa Gertrudis (Echevarría y Estapé, 1990)

La ocurrencia está formada por biocalcarenitas de grano fino de la Fm. Peñón impregnadas de bitumen. La cubierta la forman arcilla deluvial con fragmentos de caliza y en la parte inferior, yacen limolitas con intercalaciones de limo y arcilla.

Ruffin-Sabanilla de la Palma (Echevarría y Linares-Cala, 1987)

La ocurrencia se compone de salideros de asfalto negro en rocas carbonatadas (calizas grises oscuras agrietadas) de la Unidad Tectono-Estratigráfica (UTE) Placetas.

San Felipe (Echevarría y Linares-Cala, 1987)

La ocurrencia es una chapapotera (salidero de asfalto negro) en melánge serpentinitico. Se extraía asfalto el cual se usó para la pavimentación de las calles de Cárdenas.

**1.3 Premisas Físico-Químico-Geológicas**

Según Pardo-Echarte *et al.* (2013), la presencia de rocas asfálticas (con un alto volumen de asfalto) se distingue en la EGA por mínimos del canal de U(Ra) e Intensidad Gamma Total (IGT), debido a que la contribución uranífera y radioactiva, en general, está suprimida por la naturaleza líquida del mineral, equivalente a la del petróleo. Contrastantemente, la respuesta de las rocas bituminosas (bitúmenes y asfaltitas) es uranífera y anómala de forma ligera en el canal IGT, dado la naturaleza de materia orgánica que poseen. Ambos tipos de rocas (asfálticas y bituminosas) tienen una expresión análoga en mínimos del campo magnético reducido al polo (RP), en máximos de resistividad aparente y mínimos del Potencial Redox.

**2.0 MATERIALES Y MÉTODOS**

**2.1 Información y sus Fuentes**

Los materiales utilizados y sus fuentes fueron los siguientes:

- Mallas del campo gravimétrico y aeromagnético a escalas 1:50 000; de espectrometría gamma aérea (canales: It, U, Th y K) a escala 1:100 000 de la República de Cuba (Mondelo-Diez *et al.*, 2011).
- El MED (30 x 30 m) empleado en este trabajo fue tomado del ASTER-Global Digital Elevation Model (ASTER-GDEM) Version 2 (NASA-USA) / October 2011.
- Mapas Digitales de los Pozos Petroleros y de las Manifestaciones de Hidrocarburos de la República de Cuba a escala 1:250 000 (Colectivo de Autores, 2009 y 2020, respectivamente).
- Mapa Geológico Digital de la República de Cuba a escala 1:100 000 del Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico

gico de Cuba (IGP-SGC) (Colectivo de Autores, 2010).

## **2.2 Métodos y Técnicas**

Los métodos no-sísmicos de exploración utilizados en la investigación son:

- Gravimetría (Gb)
- Aeromagnetometría (DTrp)
- Morfometría no-convencional (MED)
- Espectrometría Gamma Aérea (EGA).

El procesamiento de la información geofísica-morfométrica se llevó a cabo con el *software Oasis Montaj* versión 7.01

### **2.2.1 Gravimetría**

Para la cartografía geólogo-estructural gravimétrica, se utilizó la primera derivada vertical (GbDV), equivalente a una residual a 500 m y la derivada horizontal total (GbDHT) para el trazado de los alineamientos tectónicos. Como regla, los máximos están asociados a la presencia de rocas volcánicas y ofiolitas del Terreno Zaza y los mínimos y/o el campo no anómalo, a rocas del Paleomargen Continental Norteamericano (PMCN) y a depresiones estructurales.

### **2.2.2 Aeromagnetometría**

La litología magnética (volcánicos+ofiolitas) se distingue de forma directa sobre la base de las observaciones del campo aeromagnético reducido al polo (DTrp) y su primera derivada vertical (DTrpDV) por valores máximos y desarticulados, respectivamente. Los alineamientos tectónicos fueron trazados a partir del campo de la derivada horizontal total (DTrpDHT). En la cartografía geólogo-estructural en base a datos aeromagnéticos, los máximos están asociados a la presencia de volcánicos y ofiolitas del Terreno Zaza y los mínimos y/o el campo no anómalo, a rocas del PMCN, depresiones estructurales y a zonas de desarrollo de rocas asfálticas y bituminosas.

### **2.2.3 Morfometría no-convencional**

El MED (30 x 30 m) se sometió a la separación regio-

nal-residual a partir de la Continuación Analítica Ascendente (CAA) a 500 m, según la experiencia del autor. Para trazar los alineamientos tectónicos se utilizó la derivada horizontal total del campo regional (MEDreg500DHT).

### **2.2.4 Espectrometría Gamma Aérea**

Para la EGA se determinaron los mínimos y máximos de los canales U(Ra)-IGT, los cuales se compararon con los mínimos locales del canal DTrp al seguir un propósito discriminatorio, a fin de señalar las localidades vinculadas, presumiblemente, con zonas más probables de desarrollo de rocas asfálticas y bituminosas.

### **2.2.5 Cartografía Prospectiva Integrada y sectores favorables**

En la cartografía prospectiva integrada, a los fines de establecer las zonas de desarrollo de rocas asfálticas y bituminosas, se consideraron los resultados de la cartografía EGA, en el marco de una selección de alineamientos tectónicos, gravimétricos, magnéticos y morfométricos y las ocurrencias asfálticas y bituminosas conocidas del territorio.

A los fines de la interpretación geológica se contó, además, con el Mapa Geológico de Cuba a escala 1:100 000 del IGP-SGC (Colectivo de Autores, 2010).

## **3.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1 Gravimetría**

En general, los máximos están asociados a la presencia de rocas volcánicas y ofiolitas del Terreno Zaza y los mínimos y/o el campo no anómalo, a rocas del Paleomargen Continental Norteamericano (PMCN) y a depresiones estructurales (**Figura 2**). En esta figura se presentan también, los alineamientos tectónicos correspondientes. En general, se observa de la figura que no parece existir una regularidad espacial de las ocurrencias asfálticas y bituminosas con valores máximos o mínimos del campo gravitatorio local.

### **3.2 Aeromagnetometría**

En general, los máximos están asociados a la presen-

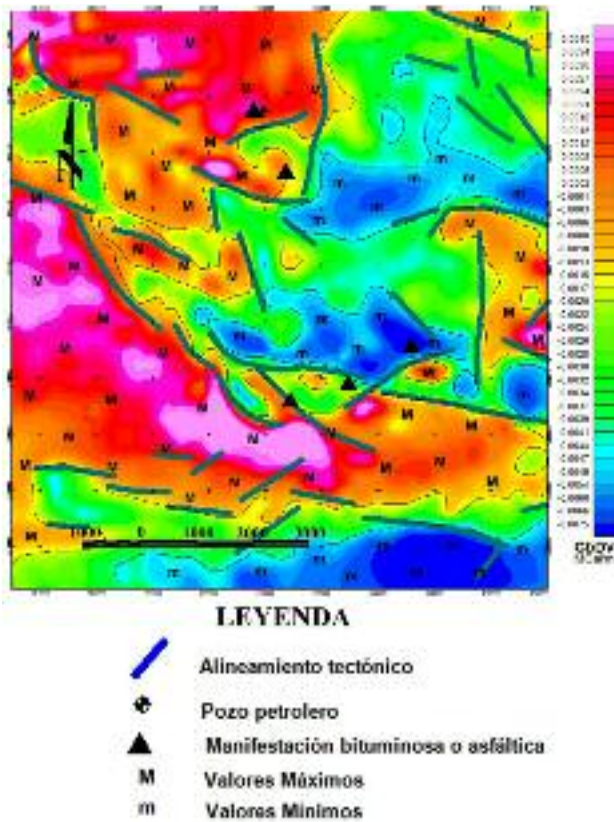


Figura 2. Cartografía geólogo-estructural por datos gravimétricos (GbDV).

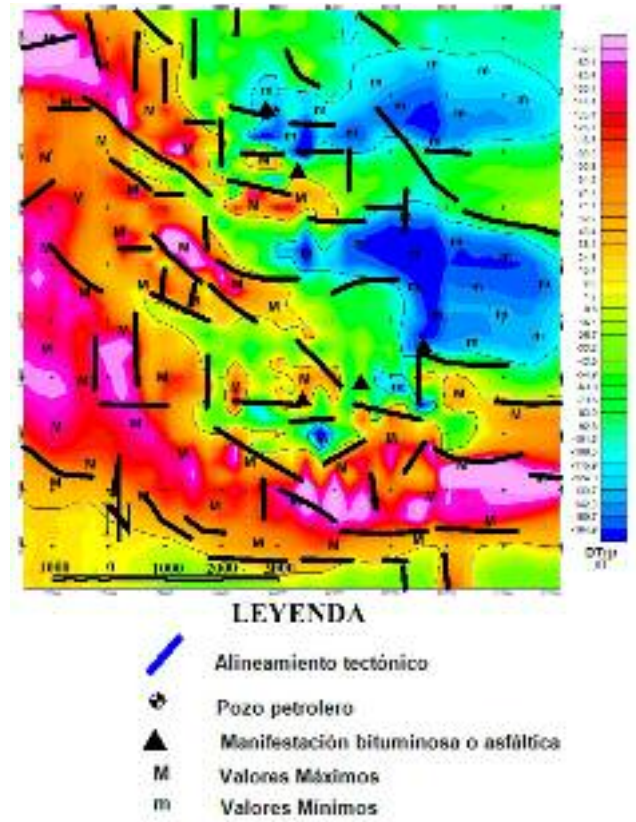


Figura 3. Cartografía geólogo-estructural por datos aeromagnéticos (DTrp).

cia de rocas volcánicas y ofiolitas del Terreno Zaza y los mínimos y/o el campo no anómalo, a rocas del PMCN, depresiones estructurales y a zonas de desarrollo de rocas asfálticas y bituminosas (Figura 3). En la figura se presentan, también, los alineamientos tectónicos correspondientes.

### 3.3 Morfometría no-convencional

Para la cartografía morfométrica por datos del ME-Dreg500 (30 x 30 m) han sido trazados los alineamientos tectónicos correspondientes (Figura 4). A juzgar por la regionalización del campo del relieve, se observa una estructura levantada recientemente en los límites de la región de las ocurrencias de rocas bituminosas El Peñón, Santa Gertrudis y La Angelita. La misma pudiera interpretarse, también, como un relicto erosivo, es decir, por ser estas rocas alteradas por la impregnación y procesos mineralizantes secundarios,

más resistentes a la meteorización que las rocas del entorno no afectadas por dichas alteraciones. En opinión de los autores, esta variante parece menos probable debido a la falta de correspondencia espacial de las ocurrencias con la parte más elevada del relieve.

Hasta aquí, se ofrecen, por primera vez, los resultados de la cartografía geólogo-estructural del territorio a partir de datos gravimagnéticos y morfométricos.

### 3.4 Espectrometría Gamma Aérea

Para la EGA (Figura 5) se determinaron los mínimos y máximos de los canales U(Ra)-IGT, los cuales se compararon con los mínimos locales del canal DTrp al seguir un propósito discriminatorio, a fin de señalar las localidades vinculadas, presumiblemente, con zonas más probables de desarrollo de rocas asfálticas y bituminosas.

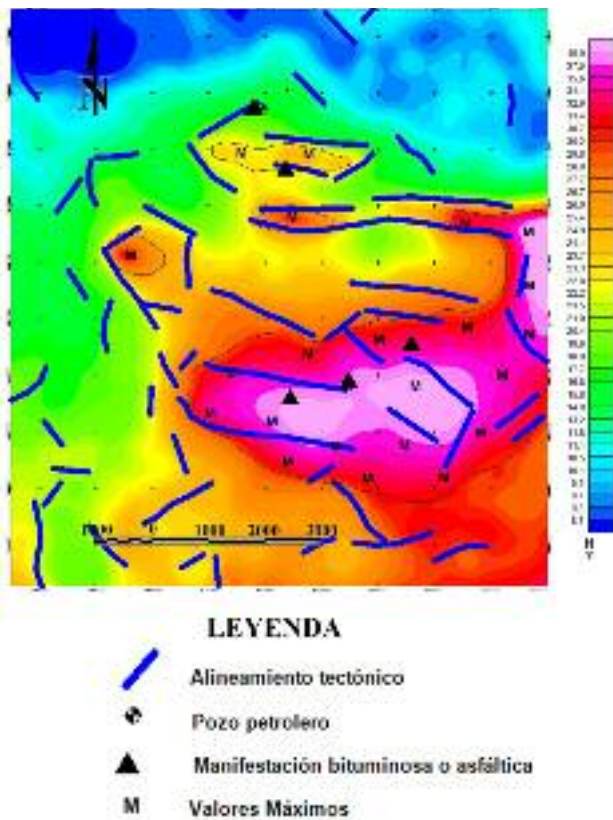


Figura 4. Cartografía morfométrica por datos del MEDreg500 (30 x 30 m).

### 3.5 Cartografía Prospectiva Integrada y sectores favorables

Los resultados de la cartografía prospectiva integrada, en el marco de las ocurrencias asfálticas y bituminosas y una selección de alineamientos tectónicos del territorio, se ofrecen en la **Figura 6**. En la misma aparecen los mínimos y máximos de los canales U(Ra)-IGT, en conjunto con los mínimos locales del canal DTrp al seguir un propósito discriminatorio, a fin de señalar las localidades vinculadas, presumiblemente, con zonas más probables de desarrollo de rocas asfálticas y bituminosas. Así, se señalan, por primera vez, dos principales áreas favorables: una al norte, vinculada con las ocurrencias asfálticas de Ruffin-Sabanilla de la Palma y San Felipe y; otra al sur, de mayores proporciones, vinculada con las ocurrencias bituminosas de El Peñón, Santa Gertrudis y La Angelita. El cuadro geológico-estructural para estas dos áreas favorables es di-

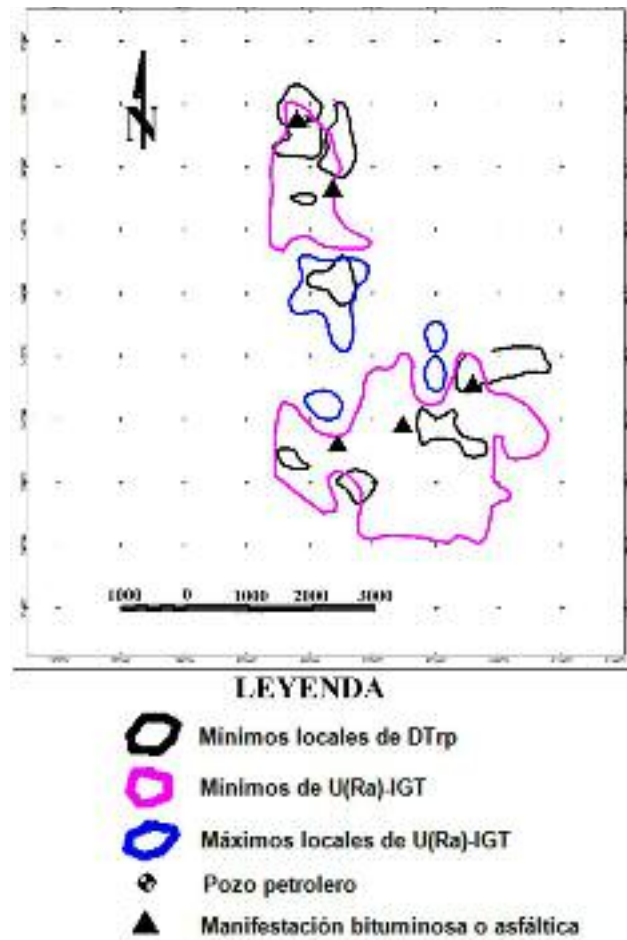
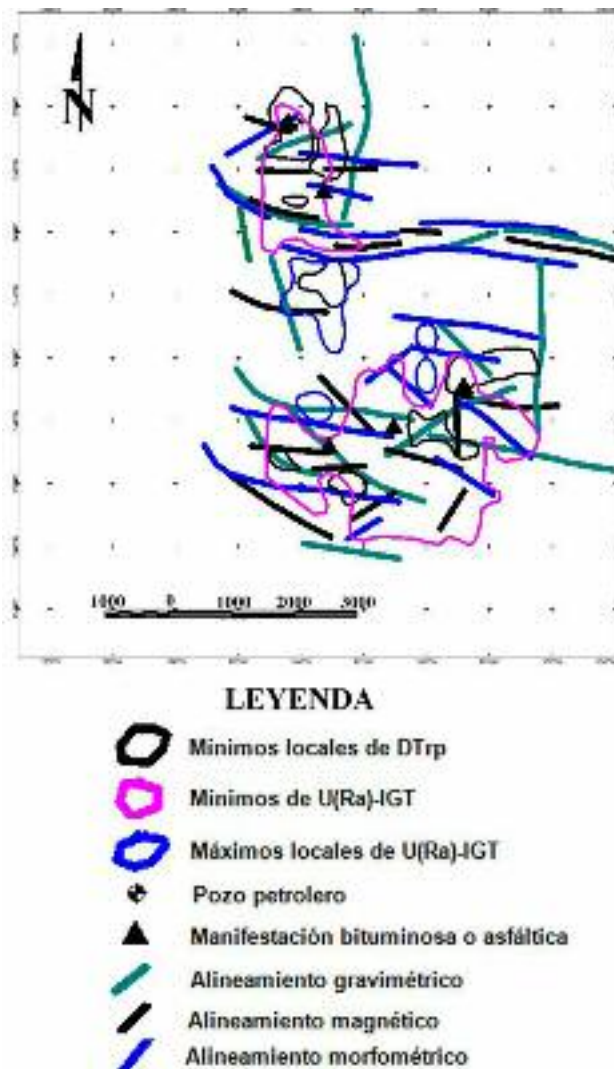


Figura 5. Resultados de la cartografía EGA (mínimos y máximos de los canales U(Ra)-IGT, en conjunto con mínimos locales de DTrp).

ferente. También, se cartografiaron, por primera vez, cuatro áreas bituminosas de modo presumible, de menores proporciones, intermedias de forma espacial entre las dos anteriores: tres pequeñas en las proximidades de las ocurrencias de El Peñón y La Angelita y una mayor al sur de San Felipe. En la figura, la mayor densidad de alineamientos tectónicos se concentra dentro de los límites de las dos principales áreas favorables para rocas asfálticas y bituminosas descritas, lo cual pudiera explicar la alta migración de hidrocarburos hacia la superficie con su consiguiente entrapamiento, oxidación y degradación en forma de asfalto y bitumen (este último, en sectores con un levantamiento reciente).





**Figura 6.** Cartografía prospectiva integrada, a los fines de establecer los sectores favorables para el desarrollo de rocas asfálticas y bituminosas en la región de estudio.

#### 4.0 CONCLUSIONES

- Se cartografían, por primera vez, dos principales áreas favorables para rocas asfálticas y bituminosas: una al norte, vinculada con las ocurrencias asfálticas de Ruffin-Sabanilla de la Palma y San Felipe y; otra al sur, de mayores proporciones, vinculada con las ocurrencias bituminosas de El Peñón, Santa Gertrudis y La Angelita. También se cartografían, por primera vez, cuatro áreas bituminosas de modo presu-

mible, de menores proporciones, intermedias de modo espacial entre las dos anteriores: tres pequeñas en las proximidades de las ocurrencias de El Peñón y La Angelita y una mayor al sur de San Felipe. Ello pone de manifiesto la efectividad de la metodología utilizada en la consecución de los objetivos planteados.

- Se ofrecen, por primera vez, los resultados de la cartografía geólogo-estructural del territorio a partir de datos gravimagnéticos y morfométricos.

#### AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Centro de Investigación del Petróleo por permitir el uso de información ordinaria en esta investigación. También, al Dr. C. Osvaldo Rodríguez Morán, al Dr. C. Reinaldo Rojas Consuegra y al MSc. Orelvis Delgado López por la rigurosa revisión del manuscrito.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTER-GLOBAL DIGITAL ELEVATION MODEL (ASTER-GDEM) Version 2 (NASA-USA) / October 2011.
- Colectivo de Autores**, 2009, Mapa Digital de los Pozos Petroleros de la República de Cuba a escala 1:250000. Inédito. Centro de Investigaciones del Petróleo, La Habana.
- Colectivo de Autores**, 2010, Mapa Geológico Digital de la República de Cuba a escala 1:100 000. Inédito. Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba, La Habana.
- Colectivo de Autores**, 2020, Mapa Digital de las Manifestaciones de Hidrocarburos de la República de Cuba a escala 1:250 000. Inédito. Centro de Investigación del Petróleo, La Habana.
- Echevarría, G. y Linares-Cala E.**, 1987, Informe geológico de levantamiento, área Motembo-Corralillo, escala 1:50 000. Inédito. Centro de Investigación del Petróleo, La Habana, 92 pp.
- Echevarría, G. y Estapé J.**, 1990, Resumen sobre el trabajo realizado por la brigada de la ECM para

la búsqueda de rocas asfálticas en la región de Martí, provincia Matanzas. Inédito. Centro de Investigación del Petróleo, La Habana, 11 pp.

**Mondelo-Diez, F., Sánchez-Cruz R. y otros,** 2011, Mapas geofísicos regionales de gravimetría, magnetometría, intensidad y espectrometría gamma de la República de Cuba, escalas 1:2000000 hasta 1:50 000. Inédito. IGP, La Habana, 278p.

**Pardo-Echarte, M. E., Torres-Zafra J. L., Pérez-Delgado P.H. Alfonso-San Jorge W., Aragón-Martínez R.,** 2013, Aplicación del Complejo Redox al reconocimiento de rocas bituminosas

en el territorio Jaruco-Santa Cruz del Norte. V Convención de Ciencias de la Tierra, La Habana, 14pp.

**Torres-Zafra, J.L. y Bristol-Ávila, R.,** 2013, Informe Revisión de Asphaltitas (Documento Ejecutivo). Inédito. Instituto de Geología y Paleontología, La Habana, 3pp.

