

Panorámica de los bloques petroleros terrestres 21A-21 y su entorno en Cuba Central sobre la base de la reinterpretación de métodos no sísmicos de exploración

Manuel Enrique Pardo Echarte¹, Jessica Morales González², Osvaldo Rodríguez Morán³

¹ *Ingeniero Geofísico, Doctor en Ciencias Geológicas, Investigador Titular y Profesor Titular del Centro de Investigación del Petróleo, Churruga, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, Cerro, La Habana, CP 10 600. ORCID ID: 0000-0003-0669-4413. Correo E.: pardo@ceinpet.cupet.cu; mpardoecharte@gmail.com.*

² *Ingeniera Geofísica. Doctora en Ciencias Técnicas. Profesora Auxiliar de la Universidad Tecnológica de La Habana, «José Antonio Echeverría», Cujae, Ave 114 No. 11901, entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, C.P. 19390, La Habana, Cuba. ORCID ID: 0000-0001-5394-6893, Correo E.: jessimoglez@gmail.com.*

³ *Ingeniero Geofísico. Máster en Geología Petrolera. Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular e Investigador Titular de la Universidad Tecnológica de La Habana, «José Antonio Echeverría», Cujae, Ave 114 No. 11901, entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, C.P. 19390, La Habana, Cuba. ORCID ID: 0000-0001-9153-4603, Correo E.: ormoran2016@gmail.com.*

RESUMEN

Es conocido que los métodos no sísmicos de exploración ofrecen una necesaria e importante información sobre la cartografía geólogo-estructural de los territorios y sobre la presencia en ellos de zonas activas de microfiltración vertical de hidrocarburos ligeros, testigos de posibles acumulaciones en la profundidad. Es por eso que los beneficios en el uso de los métodos no sísmicos de exploración, integrados con los datos geológicos, se traducen en una mejor comprensión de la geología, así como en una mejor evaluación de los posibles prospectos y del riesgo de exploración. El objetivo de la investigación consistió en presentar una panorámica de la cartografía geólogo-estructural y de los complejos anómalos de espectrometría gamma aérea de interés para la ocurrencia de hidrocarburos, a partir de una reinterpretación integrada geofísico-morfométrica, en la región de los bloques petroleros te-

restres 21A-21 y su entorno en Cuba Central. Los materiales utilizados fueron: Mallas del campo gravimétrico y magnético a escalas 1:50000 y de espectrometría gamma aérea a escala 1:100000 de la República de Cuba; Modelo de Elevación Digital (90x90 m) de la República de Cuba; Mapas digitales de los pozos petroleros y de las manifestaciones de hidrocarburos de la República de Cuba a escala 1:250000 y el Mapa Geológico digital a escala 1:100000 de la República de Cuba. Como resultado, la investigación permitió reconocer: distintos límites tectónicos; la expresión magnética del basamento cristalino de la Plataforma de Bahamas; los volcánicos+ofiolitas y los granitoides; las cuencas sinorogénicas y se esclarece la conjunción estructural entre la Cuenca Central (de rumbo NE-SO) con las estructuras geológicas occidentales de dirección cubana (de rumbo NO-SE) y su continuación al este. También, se ofrece una versión de la cartografía de los

Pardo-Echarte, M., E., Morales-González, J., Rodríguez-Morán, O., 2024, Panorámica de los bloques petroleros terrestres 21A-21 y su entorno en Cuba Central sobre la base de la reinterpretación de métodos no sísmicos de exploración: Geociencias UO. v. 14, núm. 2, diciembre 2024. pp. 110-121

complejos anómalos indicadores de espectrometría gamma aérea, de posible interés gasopetrolífero vinculados al petróleo convencional de las Unidades Tectono-Estratigráficas Camajuaní y Placetas. Toda esta información constituye un complemento imprescindible para la ampliación de los trabajos de métodos no convencionales (Complejo Redox), geoquímicos de superficie, así como de sísmica 2D en el territorio.

Palabras Clave: Cartografía geólogo-estructural; Cartografía de complejos anómalos de espectrometría gamma aérea para hidrocarburos; Gravimetría; Aeromagnetometría; Modelo de Elevación Digital; Espectrometría Gamma Aérea.

ABSTRACT

It is known that non-seismic exploration methods offer necessary and important information on the geological-structural cartography of the territories and on the presence in them of active zones of vertical microseepage of light hydrocarbons, witnesses of possible accumulations at depth. That is why the benefits of using non-seismic exploration methods, integrated with geological data, translate into a better understanding of the geology, as well as a better evaluation of potential prospects and exploration risk. The objective of the research consisted of presenting an overview of the geological-structural cartography and of the anomalous complexes of aerial gamma spectrometry of interest for the occurrence of hydrocarbons, from an integrated geophysical-morphometric reinterpretation, in the region of the onshore oil blocks 21A-21 and its surroundings in Central Cuba. The materials used were: grids of the gravimetric and magnetic fields at scales 1: 50 000 and aerial gamma spectrometry at a scale of 1:100000 from the Republic of Cuba; Digital Elevation Model (90x90 m) of the Republic of Cuba; Digital maps of the oil wells and hydrocarbon shows of the Republic of Cuba at a scale of 1: 250 000 and the digital Geological Map at a scale of 1:100000 of the Republic of Cuba. As a result, the investigation allowed to recognize: different tectonic limits; the magnetic expression of the crystalline basement of the Bahamas

Platform; the volcanic+ophyolites and the granitoids; the synorogenic basins and the structural conjunction between the Central Basin (of NE-SW direction) with the western geological structures of Cuban direction (of NW-SE direction) and its continuation to the east is clarified. Also, a version of the cartography of the anomalous complexes of aerial gamma spectrometry indicators is offered, of possible gas-oil interest linked to conventional oil from the Camajuaní and Placetas Tectono-Stratigraphic Units. All this information constitutes an essential complement for the extension of the work of non-conventional methods (Redox Complex), surface geochemistry, as well as 2D seismic in the territory.

Keywords: Geological-structural cartography; Airborne gamma spectrometry anomalous complex mapping for hydrocarbons; Gravimetry; Aeromagnetometry; Digital Elevation Model; Aerial Gamma Spectrometry.

RESUMO

Sabe-se que os métodos de exploração não sísmica oferecem informações necessárias e importantes sobre a cartografia geológico-estrutural dos territórios e sobre a presença nos mesmos de zonas ativas de microinfiltração vertical de hidrocarbonetos leves, testemunhas de possíveis acumulações em profundidade. É por isso que os benefícios da utilização de métodos de exploração não sísmicos, integrados com dados geológicos, traduzem-se num melhor conhecimento da geologia, bem como numa melhor avaliação dos potenciais prospectos e do risco exploratório. O objetivo da pesquisa consistiu em apresentar um panorama da cartografia geológico-estrutural e dos complexos anómalos de gamaespectrometria aérea de interesse para a ocorrência de hidrocarbonetos, a partir de uma reinterpretção geofísico-morfométrica integrada, na região dos blocos petrolíferos onshore 21A -21 e seus arredores no centro de Cuba. Os materiais utilizados foram: grades dos campos gravimétrico e magnético nas escalas 1:50 000 e espectrometria gama aérea na escala 1:100000 da República de Cuba; Modelo digi-

tal de elevação (90x90 m) da República de Cuba; Mapas digitais dos poços de petróleo e mostras de hidrocarbonetos da República de Cuba na escala 1:250000 e o Mapa Geológico digital na escala 1:100000 da República de Cuba. Como resultado, a investigação permitiu reconhecer: diferentes limites tectónicos; a expressão magnética do embasamento cristalino da Plataforma das Bahamas; os vulcânicos+ofiolitos e os granitóides; esclarece-se as bacias sinorogénicas e a junção estrutural entre a Bacia Central (de direção NE-SW) com as estruturas geológicas ocidentais de direção cubana (de direção NW-SE) e sua continuação para leste. Além disso, é oferecida uma versão da cartografia dos complexos anômalos de indicadores de espectrometria gama aérea, de possível interesse gasóleo vinculado ao petróleo convencional das Unidades Tectono-Estratigráficas de Camajuaní e Placetas. Toda esta informação constitui um complemento essencial para a extensão do trabalho de métodos não convencionais (Complexo Redox), geoquímica de superfície, bem como sísmica 2D no território.

Palavras-chave: Cartografia geológico-estrutural; Mapeamento de complexos anômalos por espectrometria gama aerotransportada para hidrocarbonetos; Gravimetria; Aeromagnetometria; Modelo Digital de Elevação; Espectrometria gama aérea.

INTRODUCCIÓN

El aporte de los campos potenciales y la morfometría junto a los datos de espectrometría gamma aérea para la cartografía geólogo-estructural y el establecimiento de áreas favorables para la ocurrencia de hidrocarburos en diferentes regiones de Cuba, satisface una regularidad bien establecida: los campos potenciales ayudan, básicamente, al desciframiento geólogo-estructural del territorio y la espectrometría gamma aérea permite cartografiar las presumibles zonas activas de microfiltración vertical de hidrocarburos ligeros sobre las posibles acumulaciones de hidrocarburos.

Según Pardo Echarte, Rodríguez Morán y Delgado López (2019), está bien documentado el hecho

de que la generalidad de las acumulaciones de hidrocarburos tiene microfiltraciones, predominantemente verticales, así como que sus efectos pueden ser detectados y cartografiados mediante el uso de diversos métodos no sísmicos de exploración. Los beneficios en el uso de estos métodos, integrados con los datos geológicos, otros datos geoquímicos y de la sísmica, se traducen en una mejor evaluación de los prospectos y del riesgo de exploración.

Los datos gravimétricos (Gb) y magnéticos (DTrp) permiten identificar diferentes rasgos geológico-estructurales: por mínimos, los asociados a levantamientos estructurales de rocas del Dominio Paleogeográfico (DP) del Margen Continental Norteamericano (MCN) dentro del Cinturón de Plegamientos y Cabalgamientos Norte Cubano (CPCNC), los macizos metamórficos meridionales, los cuerpos ígneos graníticos, las cuencas sinorogénicas, postorogénicas y depresiones estructurales y por máximos, los vinculados con las rocas volcánicas y los cuerpos ofiolíticos (también, ocasionalmente, granitoides). En el caso de los datos magnéticos se observan también, máximos sobre el Conjunto Petrotectónico (CPT) de Rocas Carbonatadas de la Plataforma de Bahamas, que responden a la presencia de su basamento cristalino (metamórfico-magnético). Para estos datos, la facultad de cartografía litológica es otorgada por la distribución diferenciada de la magnetita en las diferentes unidades rocosas. Los datos magnéticos permiten, a su vez, hacer estimaciones cuantitativas de la profundidad de objetivos magnéticos debajo de una cubierta sedimentaria.

Los alineamientos de campos potenciales (gravitatorio y magnético) y morfométricos, por su parte, permiten trazar los principales límites estructuro-tectónicos dentro del Orógeno cubano.

En la Espectrometría Gamma Aérea (EGA), las zonas activas de microfiltración vertical de hidrocarburos ligeros sobre los depósitos de hidrocarburos se expresan por mínimos de la relación K/Th, rodeados de máximos. También se observan, de forma mayoritaria en su periferia, incrementos locales de U (Ra). Con estas zonas activas coinciden ocasionalmente,

también, sutiles máximos residuales gravimétricos, magnéticos y morfométricos. Para el territorio en cuestión, se conocen pequeños yacimientos que producen petróleo en rocas del Arco Volcánico Cretácico (AVC) y que se expresan, en su casi totalidad, por complejos anómalos EGA.

En el trabajo se utilizó la interpretación integrada gravi-magnética y morfométrica no-convencional para cartografiar los principales rasgos geólogo-estructurales del territorio. También, se empleó la interpretación de la espectrometría gamma aérea para cartografiar las principales áreas de interés para la ocurrencia de hidrocarburos en la región. Todo ello se corresponde con el propósito de la investigación. Como antecedentes de este trabajo se tienen diferentes publicaciones sobre los resultados de la aplicación de los métodos no sísmicos de exploración en diferentes bloques petroleros terrestres de Cuba (Pardo Echarte y Cobiella Reguera, 2017; Pardo Echarte, Rodríguez Morán y Delgado López, 2019; Pardo Echarte, 2020; Morales González, Rodríguez Morán; Pardo Echarte, 2020; Pardo Echarte, Rodríguez Morán y Fajardo Fernández, en prensa; Morales

González *et al.*, 2022 y Morales González, 2023), por citar los principales.

En el trabajo se exponen la ubicación geográfica y los aspectos generales de la geología regional del territorio, las premisas físico-químico-geológicas que fundamentan la aplicación de los métodos no sísmicos de exploración y los materiales y métodos utilizados. La investigación aborda, en primera instancia, los resultados de la cartografía geólogo-estructural del territorio. A continuación, se enfoca en los resultados de la cartografía de espectrometría gamma aérea (EGA). La misma deriva en complejos anómalos EGA de interés para la ocurrencia de hidrocarburos, ubicados dentro de un escenario cartográfico resultado de la interpretación magnética y geológica.

Ubicación Geográfica

Los bloques 21A y 21, en su totalidad terrestres, se encuentran en la región central de Cuba dentro de la provincia de Ciego de Ávila con un área aproximada de 3000 km². Están limitados por los bloques 13 (al oeste), 14 (al norte), 15 (al este), 23 y 23A (al sur) (**Figuras 1 y 2**).

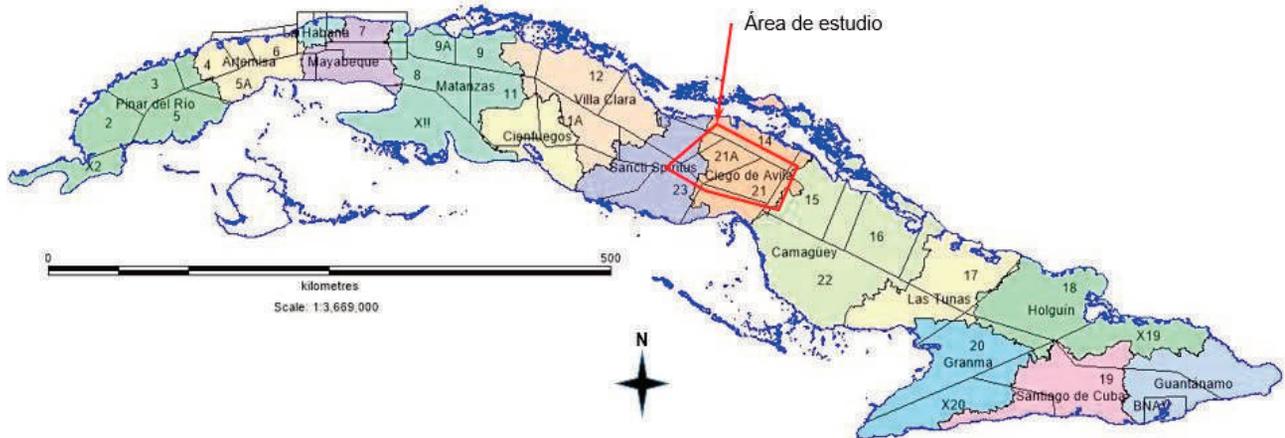


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio en el plano regional.

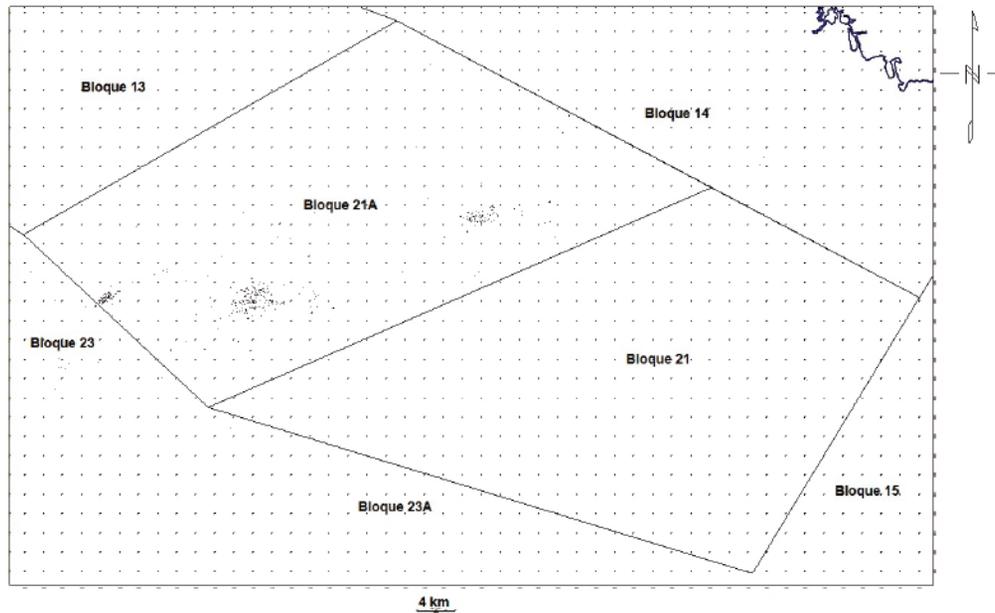


Figura 2. Ubicación geográfica del área de estudio.

Marco Geológico Regional

Según Pardo Echarte y Cobiella Reguera (2017), el corte geológico de Cuba es posible dividirlo en dos grandes unidades estructurales y estratigráficas, denominadas basamento plegado y cubierta eocénica-cuaternaria. En el primero, el piso pre cenozoico está formado por tres complejos de distinta naturaleza:

- Paleomargen continental pasivo mesozoico
- Asociación ofiolítica mesozoica
- Arcos volcánicos cretácicos (incluyendo su basamento metamórfico y la cubierta sedimentaria campaniana-maastrichtiana).

El paleomargen continental pasivo mesozoico considera: un margen distensivo septentrional (MCN), extendido entre Pinar del Río y el NO de Holguín, con una pequeña área en el extremo oriental de Cuba (Maisí) y un margen continental distensivo meridional con dos áreas - Isla de la Juventud y Macizo Escambray.

En el MCN (llamado también, por Linares y Fajardo, 2022, Dominio Paleogeográfico [DP] del MCN y constituido por diferentes Conjuntos Petrotectónico [CPT], en los cortes entre La Habana y Camagüey, en

superficie y en subsuelo, de norte a sur, se reorganizan estas secuencias (durante la orogenia) en las siguientes unidades tectonoestratigráficas (UTE):

- Cayo Coco
- Remedios
- Camajuaní
- Placetas

Las unidades Camajuaní y Placetas están despegadas de su basamento, en tanto Remedios es con probabilidad paraautóctona y Cayo Coco, autóctona. Generalmente, las rocas del CPT Asociación Ofiolítica del DP de Corteza Oceánica se disponen de forma estructural encima de la unidad Placetas, que contiene las capas depositadas de forma originaria más al sur.

La asociación ofiolítica mesozoica (AO), en el cinturón ofiolítico septentrional, está formada por rocas de la litosfera oceánica emplazadas desde el punto de vista tectónico sobre el MCN. Sus rocas están representadas por ultramafitas serpentinizadas, serpentinitas, complejos cumulativos máfico-ultramáficos y rocas máficas (intrusivas y volcánicas).

Respecto a las secuencias vulcanógeno-sedimentarias de la AO, en ocasiones, resulta difícil sepa-

rarlas de las del DP Arco Volcánico del Cretácico (¿parte inferior?), para lo cual se requiere de estudios petroquímicos y petrográficos detallados.

Entre Pinar del Río y Camagüey, las rocas ofiolíticas subyacen a las sucesiones del CPT de Rocas Vulcanógeno-Sedimentarias Cretácicas del DP del Arco Volcánico Cretácico (AVC). El contacto entre ambas es siempre tectónico. Estas últimas contienen una mezcla caótica de serpentinitas y gabroides con rocas de las sucesiones referidas. De hecho, las deformaciones y mezcla tectónica de litologías son tan notables que, en esencia, la faja es un gran melange.

En gran parte de Cuba, ubicados de forma estructural sobre las rocas ofiolíticas y ocupando, en general, una posición más meridional, se disponen los arcos volcánicos (insulares) cretácicos (AVC), formados por cortes volcánicos y vulcanógeno-sedimentarios cretácicos, así como su substrato metamórfico y una cubierta sedimentaria del Cretácico Superior Tardío. En Cuba occidental el afloramiento del CPT de Rocas vulcanógeno-sedimentarias cretácicas del DP del AVC es mucho más limitado que en Cuba Central. Las rocas del Cretácico Inferior están representadas por la Formación Chirino (Ducloz, 1960), que al igual que en Cuba Central, contienen poco material sedimentario. El corte del Cretácico Superior es de limitado espesor y sus vulcanitas son calcoalcalinas y contiene abundantes intercalaciones sedimentarias. A la integración de la AO y los AVC se le denominó Terreno Zaza (Hatten et al., 1988). Más al Este, en las montañas de Maniabón, parte noroccidental de Holguín, algunos rasgos del AVC cambian. Por su composición se distinguen dos unidades estratigráficas. La llamada Formación Iberia contiene lavas y piroclastitas de composición entre andesitas y basaltos y ocupa gran parte del área. La Formación Loma Blanca posee una composición más variada y en general, más ácida y sus tobas a menudo se encuentran zeolitizadas. Aflora hacia la porción occidental de las Alturas de Maniabón. En una y otra formación están presentes muchos cuerpos de serpentinitas, emplazados de forma tectónica (Kozary, 1968; Knipper y Cabrera, 1974), que se mezclan con las rocas vulcanógeno-se-

dimentarias, formando un melange.

Según Pardo Echarte y Cobiella Reguera (2017), el piso paleogénico del basamento plegado está formado por cuatro complejos:

- Arco volcánico Sierra Maestra-Cresta Caimán (AVSMCC).
- Cuencas de antepaís.
- Cuencas a cuevas paleogénicas.
- Cuenca sinorogénica del Eoceno Medio y Superior del Sur de Cuba oriental.

Los vínculos entre los cuatro complejos del basamento paleogénico son mucho más claros y a pesar de las considerables deformaciones y transporte horizontal sufridos por algunos, las relaciones espaciales primarias (paleogeográficas) entre ellos se conservan en esencia.

El AVSMCC y la Cuenca intramontane del Eoceno Medio y Superior del sur de Cuba oriental no son tratadas en este tópico por encontrarse distantes del área de estudio y no ejercer influencia en su composición y estructura geológica.

En cuanto a la cuenca de antepaís a lo largo del norte de Cuba, desde el NO de Pinar del Río hasta Gibara (Holguín), las rocas del MCN son cubiertas por los depósitos de esta cuenca. Estos son sucesiones acumuladas en el frente de los mantos de cabalgamiento generados durante la orogénesis cubana, como consecuencia de la erosión de su región frontal y de la rápida subsidencia de la cuenca, debido al peso de los mantos de cabalgamiento. La sedimentación en estas depresiones es coetánea con las deformaciones orogénicas y el fechado de sus depósitos marca la edad del evento (Campaniano Tardío-Maastrichtiano al Paleoceno-Eoceno Tardío). Existe una estrecha imbricación entre las escamas tectónicas de la porción meridional de la cuenca de antepaís, formadas de manera mayoritaria por olistostromas y las escamas de rocas ofiolíticas, del Arco Volcánico Cretácico y del MCN. Este cinturón escamado es una faja plegada y fallada, con tectónica alpina de finas escamas, originado por una combinación de tectónica compresional y gravitacional (CPCNC).

Según el Colectivo de Autores (2009b), el CPCNC se caracteriza por varios niveles de pliegues de rampa contra falla inversa de rocas del MCN y su cobertura. Estos pliegues han sido, con probabilidad, complicados de forma adicional por accidentes de cizalla. Las rocas deformadas abarcan un intervalo de edad que va desde el Jurásico hasta el Paleógeno (Eoceno). Los apilamientos de varios pliegues anticlinales de rampa es uno de los principales objetivos exploratorios en la región de estudio. Estos conforman antiformas que son cartografiables con mucha dificultad por la sísmica. La pobre imagen obtenida es el principal obstáculo para el desarrollo de los trabajos exploratorios; solo se observa, como horizonte con alta definición dinámica, el relacionado de manera directa con la envolvente de los pliegues escamas.

En cuanto a las cuencas a cuestras (CC) son depresiones, por lo general pequeñas, desarrolladas en el dorso de los mantos de cabalgamiento durante el avance de estos. En el territorio cubano hay evidencias del desarrollo de varias de estas cuencas, en especial durante el Paleógeno Temprano (Cobiella Reguera, 2009; Linares Cala *et al.*, 2011). Al igual que con otras estructuras, las cuencas a cuestras cubanas modifican algunos de sus rasgos de una región a otra.

Según Pardo Echarte y Cobiella Reguera (2017), la cubierta eocénica-cuaternaria comprende los depósitos más jóvenes del corte estratigráfico, poco deformados en relación a las capas subyacentes, casi siempre separados de estas por una discordancia estructural y sin presencia de rocas magmáticas. Sus estratos se acumularon, fundamentalmente, tras el cese de los movimientos principales de la orogénesis cubana. Sin embargo, en varias regiones se incluyen en la porción basal de la cubierta, sucesiones con cierto grado de complicación estructural y evidencias de acumulación en condiciones aún inestables. De acuerdo con esto, la cubierta se divide en dos:

- Sucesiones transicionales (sinorogénico).
- Cubierta *sensu strictu* (postorogénico).

Premisas Físico-Químico-Geológicas

La alta densidad de las rocas carbonatadas, ofiolíticas,

volcánicas y granitoideas permite distinguir, por máximos gravimétricos locales, las elevaciones estructurales de las mismas. Igualmente, la elevada susceptibilidad magnética de los volcánicos, los granitoides y las ofiolitas admite cartografiarlos sin dificultad por la aeromagnetometría.

Por otro lado, una parte de la respuesta morfológica, geofísica y geoquímica a los cambios de la estabilidad mineral producidos por la microfiltración vertical de hidrocarburos, es la siguiente:

- La mineralización secundaria de carbonato de calcio y la silicificación, que resultan en materiales superficiales más densos y resistentes a la erosión (formación de anomalías geomórficas positivas y máximos de resistividad).
- La descomposición de la arcilla, que es la responsable de los mínimos de radiación reportados sobre los yacimientos de petróleo: el potasio es lixiviado del sistema hacia los bordes de la proyección vertical del depósito de hidrocarburos, donde precipita resultando en un "halo" de valores altos. El torio permanece de forma relativa fijo en su distribución original dentro de los minerales pesados insolubles; de ahí que sean observados mínimos de la relación K/Th rodeados de máximos sobre los depósitos gasopetrolíferos. En la periferia se observan, de manera mayoritaria, máximos (o incrementos) de U (Ra).
- En cuanto al papel del gas sulfhídrico, su propia presencia condiciona la formación de una columna de ambiente reductor (mínimos del Potencial Redox) sobre la acumulación. Este ambiente reductor favorece, a su vez, la conversión de los minerales de hierro no magnéticos en variedades magnéticas (diagenéticas) más estables como la magnetita, la maghemita, la pirrotina y la griegita, todas responsables del incremento de la Susceptibilidad Magnética de rocas y suelos, así como de la presencia de sutiles

máximos magnéticos locales sobre la acumulación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Información y sus Fuentes

Los materiales utilizados y sus fuentes son las siguientes:

- Mallas del campo gravimétrico y magnético a escala 1:50000 y, de espectrometría gamma aérea (canales: U, Th y K) a escala 1:100000 de la República de Cuba (Mondelo Diez et al., 2011).
- MED (90x90 m) tomado de Sánchez Cruz et al. (2015), con fuente en: <http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90m-digital-elevation>.
- Mapas Digitales de las Manifestaciones de Hidrocarburos y de los Pozos Petroleros de la República de Cuba a escala 1:250000 (Colectivo de Autores, 2008 y 2009a, respectivamente).
- Mapa Geológico de Cuba a escala 1:100000 del IGP-SGC (Colectivo de Autores, 2010).

Métodos y Técnicas

Los métodos utilizados en la investigación fueron:

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

El procesamiento de la información geofísica-geoquímica-morfométrica se llevó a cabo utilizando el software Oasis Montaj versión 7.01.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la cartografía geólogo-estructural gravimétrica (Figura 3), se utilizó la primera derivada vertical (DV), equivalente a una residual a 500 m y la derivada horizontal total (DHT) para el trazado de los alineamientos tectónicos. En esta figura, los máximos están asociados a la presencia de ofiolitas, rocas volcánicas y granitoides del AVC y los mínimos a cuencas sinorogénicas y depresiones estructurales.

La litología magnética (volcánicos+granitoides+ofiolitas) se distingue de forma directa sobre la base de las observaciones del campo magnético redu-

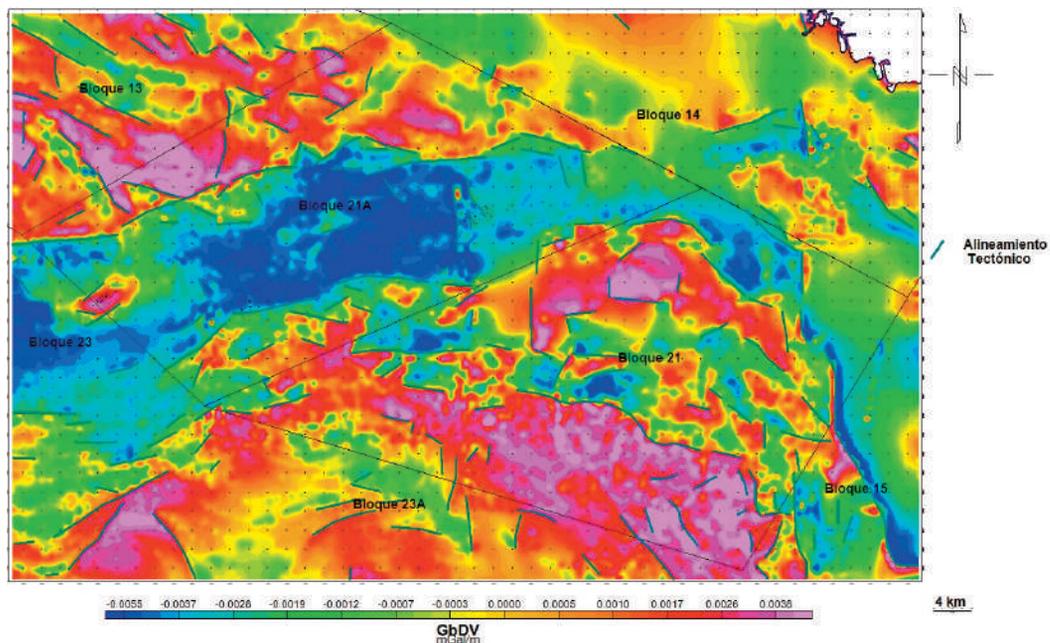


Figura 3. Cartografía geólogo-estructural a partir de datos gravimétricos. En trazo gris-verdoso, alineamientos tectónicos. Los máximos están asociados a la presencia de ofiolitas, rocas volcánicas y granitoides del AVC y los mínimos a depresiones estructurales.

cido al polo. Por eso, el campo magnético se sometió a la Reducción al Polo (RP) y los alineamientos tectónicos fueron trazados a partir de la derivada vertical del campo magnético RP (DTrpDV). La cartografía geólogo-estructural en base a datos aeromagnéticos se presenta en las **figuras 4 y 5**. En la **Figura 4**, los máximos están asociados a la presencia del basamento cristalino de la Plataforma de Bahamas (al norte), las

ofiolitas y del AVC (volcánicos+granitoides) y los mínimos a depresiones estructurales.

La litología magnética (volcánicos+granitoides+ofiolitas) se distingue de forma directa sobre la base de las observaciones del campo magnético reducido al polo. Por eso, el campo magnético se sometió a la Reducción al Polo (RP) y los alineamientos tectónicos fueron trazados a partir de la derivada vertical

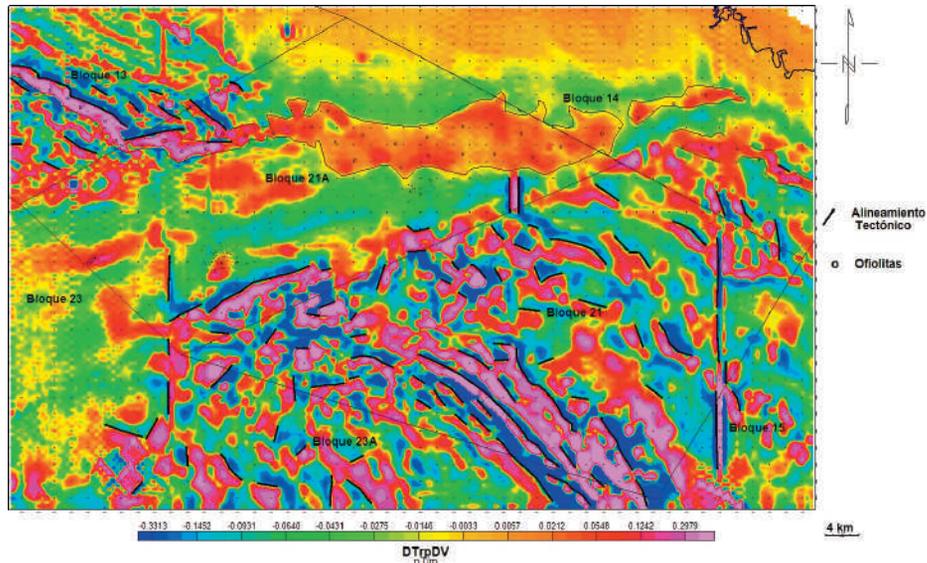


Figura 4. Cartografía geólogo-estructural a partir de datos aeromagnéticos RP (DV). En trazo negro, alineamientos tectónicos.

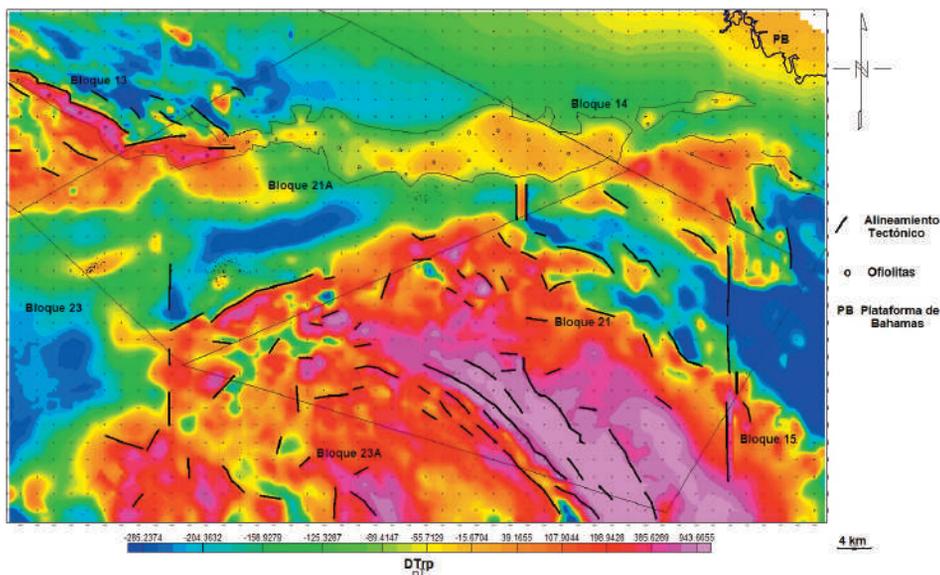


Figura 5. Cartografía geólogo-estructural a partir de datos aeromagnéticos RP. En trazo negro, alineamientos tectónicos. Los máximos están asociados a la presencia del basamento cristalino de la Plataforma de Bahamas (al norte), de ofiolitas, rocas volcánicas y granitoides del AVC y los mínimos a cuencas sinorogénicas y depresiones estructurales.

del campo magnético RP (DTrpDV). La cartografía geólogo-estructural en base a datos aeromagnéticos se presenta en las **figuras 4 y 5**. En la **Figura 4**, los máximos están asociados a la presencia del basamento cristalino de la Plataforma de Bahamas (al norte), las ofiolitas y del AVC (volcánicos+granitoides) y los mínimos a depresiones estructurales.

Para la EGA se determinó la relación K/Th, con

el propósito de señalar los mínimos vinculados, presumiblemente, con zonas activas de microfiltración vertical de hidrocarburos ligeros. Los resultados de la cartografía EGA (mínimos de la relación K/Th y máximos locales de U (Ra)), de forma conjunta con los alineamientos tectónicos por gravimetría, se presentan en la **Figura 6**.

El MED (90x90 m) se sometió a la separación

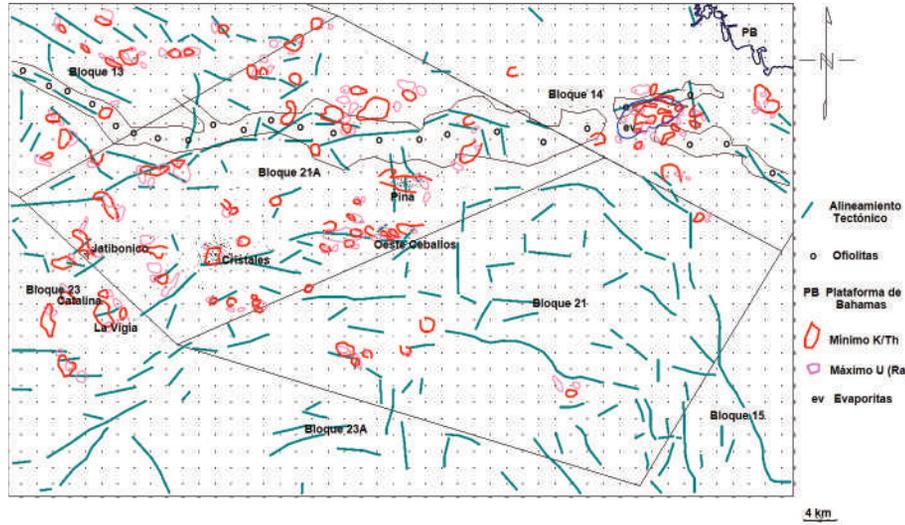


Figura 6. Cartografía EGA, en el marco de los alineamientos tectónicos gravimétricos (trazo gris-verdoso). En rojo, mínimo de la relación K/Th. En rosado, máximo de U(Ra). En azul, contorno de la estructura salina Loma Cunagua y en negro, contorno de ofiolitas. Algunos Complejos Anómalos EGA (Jatibonico, Catalina, Cristales y Pina) corresponden a yacimientos conocidos y otros (La Vigía y Oeste Ceballos) a prospectos.

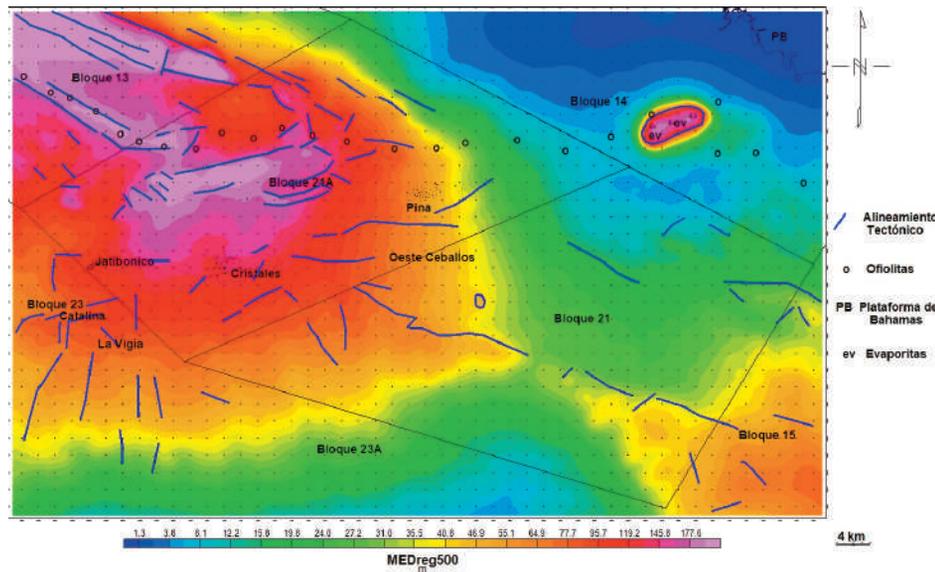


Figura 7. MEDreg500 (90x90m) del área de estudio. En azul, alineamientos tectónicos. La estructura salina Cunagua se observa con claridad en el extremo nororiental del área. En la figura se señalan, también, algunos rasgos geológicos y petroleros de interés.

regional-residual a partir de la Continuación Analítica Ascendente (CAA) a 500 m (MEDreg500), según la experiencia del autor (Pardo Echarte, Reyes Paredes y Suárez Leyva, 2018). Para trazar los alineamientos tectónicos se utilizó la derivada horizontal total (MEDreg500DHT). Los resultados de la cartografía geólogo-estructural por datos morfométricos se presentan en la **Figura 7**. En la figura se señalan, también, algunos rasgos geológicos y petroleros de interés.

CONCLUSIONES

La interpretación integrada gravi-magnética, morfo-métrica no-convencional y de espectrometría gamma aérea en la región de estudio, permitió reconocer el siguiente panorama:

- Diferentes límites tectónicos.
- La expresión magnética del basamento cristalino de la Plataforma de Bahamas.
- La presencia de volcánicos (AVC)+ofiolitas (AO) (los cuales resultan en la práctica indiferenciables en su comportamiento magnético, donde son reconocibles solo sus límites), así como el cinturón de granitoides (Bloque 21).
- Cuencas sinorogénicas y depresiones estructurales.
- La conjunción estructural entre la Cuenca Central (de rumbo NE-SO) con las estructuras geológicas occidentales de dirección cubana (de rumbo NO-SE) y su continuación al este.
- Levantamientos estructurales de rocas del MCN dentro del CPCNC, correspondientes a las zonas de desarrollo de las UTEs Camajuaní y Placetas, a juzgar por la faja septentrional de complejos anómalos EGA observada en el límite de ellas.
- Complejos anómalos EGA, indicadores de posible interés gasopetrolífero vinculados al petróleo convencional de las UTEs Camajuaní y Placetas.
- Esta información constituye un complemento imprescindible para la planificación

de nuevos trabajos de métodos no convencionales (Complejo Redox), de Geoquímica de Superficie, así como de trabajos de sismica 2D en el territorio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro de Investigación del Petróleo por permitir el uso de información ordinaria en esta investigación. También, al Dr. Cs. Reinaldo Rojas Consuegra, al Dr. Cs. Evelio Linares Cala, a la Dra. Cs. Olga Castro Castiñeira y al M. Cs. Orelvis Delgado López, por la rigurosa revisión del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cobiella Reguera, J.L., 2009**, Emplacement of the Northern Ophiolite Belt of Cuba. Implications for the Campanian-Eocene geological history of the northwestern Caribbean-SE Gulf of Mexico region. (In: James, K., M. Lorente, J. Pindell (Eds.). The Origin and Evolution of the Caribbean Plate, Geological Society of London Special Publication 328: 313-325.
- Colectivo de Autores, 2008**, Mapa Digital de las Manifestaciones de Hidrocarburos de la República de Cuba a escala 1:250000. Inédito. Centro de Investigaciones del Petróleo, La Habana.
- Colectivo de Autores, 2009a**, 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, 2009b**, Expediente Único del Proyecto 6004, «Exploración en la Franja Norte Petrolera Cubana». Inédito. Archivo, Centro de Investigación del Petróleo (Ceinpet), La Habana, Cuba, 22pp.
- Colectivo de Autores, 2010**, Mapa Geológico Digital de la República de Cuba a escala 1:100000. Inédito. Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba, La Habana.
- Ducloz, C., 1960**, Mapa Geológico de Matanzas a escala 1:20000. Inédito. Centro Nacional Fondo

- Geológico, Ministerio de la Industria Básica. La Habana.
- Hatten, C.W., Somin, M.L., Millán Trujillo, G., Renne, P., Kistler, R.W., y Mattinson, J.M., 1988**, Tectonostratigraphic units of central Cuba En: Barker, L., (Editor) Transactions of the 11th Caribbean Geological Conference, Barbados, 1986: págs. 35.1-35.
- Knipper, A., Cabrera, R., 1974**, Tectónica y geología histórica de la zona de articulación entre el mio y el eugeosinclinal del cinturón hiperbasáltico de Cuba. En: Contribución a la Geología de Cuba, ACC. Publicación especial (2): 15 – 77.
- Linares, E., García Delgado, D., Delgado López, O., López Rivera, J., Strazhevich, V., 2011**, Yacimientos y manifestaciones de hidrocarburos de la República de Cuba. Centro de Investigaciones del Petróleo, La Habana, 480 p.
- Linares, E. y Fajardo, Y., 2022**, Texto Explicativo del Mapa de Dominios Paleogeográficos y Conjuntos Petrotectónicos de la República de Cuba a escala 1: 500 000. Inédito. Centro de Investigación del Petróleo, La Habana.
- 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 1:50000. Inédito. IGP, La Habana, 278p.
- Morales González, J., Rodríguez Morán, O. y Pardo Echarte, M. E., 2020**, Possible gaso-petroleum occurrence from non-seismic and non-conventional exploration methods in the Central Basin, Cuba. Boletín Ciencias de la Tierra. No.47, p. 15-20.
- Morales, J., Martínez, E., Pardo, M. E. y Rodríguez, O., 2022**, El complejo anómalo Oeste de Ceballos, Cuenca Central, Cuba, integración de los métodos no convencionales con la sísmica. Consideraciones sobre la exploración petrolera. Boletín de Geología., vol. 44 (1), p. 25. ISSN: 0120-0283.
- Morales González, J., 2023**, Perspectiva gasopetrolífera en la Cuenca Central, Cuba, a partir de métodos de exploración no-sísmicos y no-convencionales. Inédito. Tesis de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Tecnológica de la Habana, Cuba, 173pp.
- Pardo Echarte, M.E. y Cobiella Reguera, J. L., 2017**, Oil and Gas Exploration in Cuba: Geological-Structural Cartography using Potential Fields and Airborne Gamma Spectrometry. Springer Briefs in Earth System Sciences. DOI 10.1007/978-3-319-56744-0.
- Pardo Echarte, M. E., Reyes Paredes, O. y Suárez Leyva, V., 2018**, Offshore Exploration of Oil and Gas in Cuba using Digital Elevation Models (DEMs). SpringerBriefs in Earth System Sciences. DOI 10.1007/978-3-319-77155-7.
- Pardo Echarte, M.E., Rodríguez Morán, O. and Delgado López, O., 2019**, Non-seismic and Non-Conventional Exploration Methods for Oil and Gas in Cuba. Springer Briefs in Earth System Sciences, DOI 10.1007/978-3-030-15824-8.
- Pardo Echarte, M. E., 2020**, Cartografía geólogo-estructural y sectores prospectivos para hidrocarburos en Cuba Central a partir de métodos no-sísmicos de exploración. Geociencias UO, México, V 3, No. 1, junio 2020, pp. 35-44.
- Pardo Echarte, M. E., Rodríguez Morán, O. y Fajardo Fernández, Y.,** en prensa, Boletín de Geología Santander, Colombia. Cartografía geólogo-estructural y áreas favorables para hidrocarburos a partir de datos geofísico-morfométricos en la región central de Cuba.
- Sánchez Cruz, R., Mondelo Diez, F. y otros, 2015**, Mapas Morfométricos de la República de Cuba para las escalas 1:1000000–1:50000 como apoyo a la Interpretación Geofísica. Memorias VI Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, VIII Congreso Cubano de Geofísica. Fuente: <http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90m-digital-elevation>.