

Interpretación geofísico-morfométrica en apoyo a la cartografía geológica de la Hoja 3985-III (1:50000) Varadero, Cuba

Manuel E. Pardo Echarte¹, Elizabeth Hechavarría Govin² y Osvaldo Rodríguez Morán³

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

² Ingeniera Geofísica. Instituto de Geología y Paleontología Servicio Geológico de Cuba (IGP-SGC). Vía Blanca, No. 1002 e/ Río Luyanó y Prolongación de Calzada de Güines, Reparto Los Ángeles, San Miguel del Padrón. C.P. 11000, La Habana, Cuba. ORCID ID: 0000-0002-9487-4408. Correo electrónico.: elishin96@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 Cirovía y Rotonda, Marianao, C.P. 19390, La Habana, Cuba. ORCID ID: 0000-0001-9153-4603, Correo electrónico.: ormoran2016@gmail.com.

RESUMEN

Como regla, las observaciones geológicas de campo complementadas con la información de sensores remotos resultan insuficientes a los fines de la cartografía geológica subsuperficial de un territorio, en particular, cuando su cuadro estructural es muy complejo. En estos casos, es imprescindible la asistencia de la interpretación geofísico-morfométrica. En tal sentido, es conocido que los campos potenciales ayudan, básicamente, al desciframiento estructuro-tectónico del territorio y en menor medida a la cartografía litológica de las diferentes unidades geológicas presentes, resultando a la inversa la contribución de la espectrometría gamma aérea. El objetivo de la investigación consistió en apoyar la cartografía geológica del área con una interpretación integrada geofísico-morfométrica. Los materiales utilizados fueron: Mallas del campo gravimétrico y aeromag-

nético a escalas 1: 50000 y de espectrometría gamma aérea a escala 1:100 000 de la República de Cuba; Modelo de Elevación Digital (90x90 m) de la República de Cuba y Mapa Geológico Digital a escala 1: 100000 de la República de Cuba. Los métodos utilizados fueron: gravimetría, aeromagnetometría, morfometría no-convencional y espectrometría gamma aérea. Como resultado de la investigación, se cartografió la estructura geológica subsuperficial (~500 m) del territorio a partir de la interpretación integrada gravi-magnética y morfométrica no-convencional. Además, se estableció y cartografió la composición litológica superficial a partir de la naturaleza radiactiva de los suelos residuales. Así se reconocen: depresiones estructurales, levantamientos de rocas del Margen Continental Norteamericano, límites tectónicos, presencia de volcánicos + ofiolitas, extensión en profundidad de cuerpos geológicos aflorantes y la presencia

Pardo-Echarte, M. E., Hechavarría-Govin, E., Rodríguez-Morán, O., 2023, Interpretación geofísico-morfométrica en apoyo a la cartografía geológica de la Hoja 3985-III (1:50000) Varadero, Cuba: Geociencias UO. v. 6, núm. 1, enero-junio 2023. pp. 36-45.

de rocas con contenidos de feldespato potásico, de arcillas, de carbonatos con fosfatización, de gabro-serpentinitas y de depósitos palustres.

Palabras Clave: Cartografía Geológica; Cartografía Estructuro-Tectónica; Cartografía Litológica; Gravitimetría; Aeromagnetometría; Modelo de Elevación Digital; Espectrometría Gamma Aérea.

ABSTRACT

As a rule, field geological observations supplemented by remote sensing information are insufficient for the purposes of subsurface geological mapping of a territory, particularly when its structural framework is very complex. In these cases, the assistance of the geophysical-morphometric interpretation is essential. In this sense, it is known that the potential fields help, basically, the structural-tectonic decipherment of the territory and to a lesser extent the lithological cartography of the different geological units present, resulting in the inverse contribution of aerial gamma spectrometry. The objective of the research was to support the geological mapping of the area with an integrated geophysical-morphometric interpretation. The materials used were: gravimetric and aeromagnetic field grids at scales 1: 50 000 and aerial gamma spectrometry at scale 1:100 000 of the Republic of Cuba; Digital Elevation Model (90x90 m) of the Republic of Cuba and Digital Geological Map at a scale of 1:100000 of the Republic of Cuba. The methods used were: gravimetry; aeromagnetometry; non-conventional morphometry and aerial gamma spectrometry. As a result of the investigation, the subsurface geological structure (~500 m) of the territory was mapped based on the integrated gravi-magnetic and non-conventional morphometric interpretation. In addition, the surface lithological composition was established and mapped from the radioactive nature of the residual soils. Thus, the following can be recognized: structural depressions, rock uplifts of the North American Continental Margin, tectonic limits, presence of volcanics + ophiolites, extension in depth of outcropping geological bodies and the presence of rocks with potassium felds-

par content, clays, carbonates with phosphatization, of gabbro-serpentinites and marshy deposits. Keywords: Geological Mapping; Structural-Tectonic Cartography; Lithological Cartography; Gravimetry; Aeromagnetometry; Digital Elevation Model; Aerial Gamma Spectrometry.

RESUMO

Via de regra, observações geológicas de campo complementadas por informações de sensoriamento remoto são insuficientes para fins de mapeamento geológico de subsuperfície de um território, principalmente quando seu arcabouço estrutural é muito complexo. Nesses casos, o auxílio da interpretação geofísico-morfométrica é essencial. Nesse sentido, sabe-se que os campos potenciais auxiliam, basicamente, na decifração estrutural-tectônica do território e em menor escala na cartografia litológica das diferentes unidades geológicas presentes, resultando na contribuição inversa da espectrometria gama aérea. O objetivo da pesquisa foi apoiar o mapeamento geológico da área com uma interpretação geofísico-morfométrica integrada. Os materiais utilizados foram: malhas de campo gravimétrico e aeromagnético na escala 1:50000 e espectrometria gama aérea na escala 1:100.000 da República de Cuba; Modelo Digital de Elevação (90x90 m) da República de Cuba e Mapa Geológico Digital na escala 1:100000 da República de Cuba. Os métodos utilizados foram: gravimetria; aeromagnetometria; morfometria não convencional e espectrometria gama aérea. Como resultado da investigação, a estrutura geológica subsuperficial (~500 m) do território foi mapeada com base na interpretação integrada gravi-magnética e morfométrica não convencional. Além disso, a composição litológica da superfície foi estabelecida e mapeada a partir da natureza radioativa dos solos residuais. Assim, podem ser reconhecidos: depressões estruturais, soerguimentos rochosos da Margem Continental Norte-Americana, limites tectônicos, presença de vulcânicos + ofiolitos, extensão em profundidade de corpos geológicos aflorantes e presença de rochas com teor de feldspato potássico, argilas, carbonatos com

fosfatização, de gabro-serpentinitos e depósitos pantanosos.

Palavras chave: Mapeamento Geológico; Cartografia Estrutural-Tectônica; Cartografia Litológica; Gravitometria; Aeromagnetometria; Modelo Digital de Elevação; Espectrometria Gama Aérea.

INTRODUCCIÓN

El empleo de la geofísica en apoyo a la cartografía geológica es muy antiguo. Tradicionalmente, los datos aeromagnéticos han sido el principal parámetro aerogeofísico utilizado. Sin embargo, su empleo combinado con los datos de resistividad aparente (levantamiento aéreo electromagnético-AEM) y de espectrometría gamma aérea (EGA) logra un producto mucho más útil para este propósito. Potencialmente, otros métodos geofísicos pueden ser empleados para resolver problemas geológicos específicos, en particular los estructurales (detección de contactos y fallas y delimitación de cuerpos geológicos), tal es el caso de la gravimetría.

Como regla, las observaciones geológicas de campo complementadas con la información de sensores remotos resultan insuficientes a los fines de la cartografía geológica subsuperficial de un territorio, en particular, cuando su cuadro estructural es muy complejo. En estos casos, es imprescindible la asistencia de la interpretación geofísica-morfométrica. En tal sentido, es conocido que los campos potenciales ayudan, básicamente, al desciframiento estructuro-tectónico del territorio y en menor medida a la cartografía litológica de las diferentes unidades geológicas presentes, resultando a la inversa la contribución de la espectrometría gamma aérea (Pardo Echarte y Cobiella Reguera, 2017).

Según Dobrin y Savit (1988), el método gravimétrico resuelve los problemas del estudio de la constitución geológica regional, con mejores resultados para los cinturones plegados, lo que permite hacer la regionalización tectónica, con la caracterización de grandes elementos estructurales bajo la cubierta sedimentaria. Los mismos autores exponen, que el levanta-

tamiento aeromagnético es muy útil para la cartografía geológica de extensas regiones con una cubierta sedimentaria donde las características estructurales son reveladas a partir de la existencia de horizontes magnéticos, como ofiolitas, tobas, flujos de lava, areniscas y lutitas ferruginosas presentes dentro de la secuencia sedimentaria.

Con relación a la EGA, desde los años 80 (Duval, 1983) se comienzan a utilizar las composiciones de color, hoy llamados mapas ternarios, que hacen uso de las gamas de colores RGB (rojo, verde, azul) y CMY (cian, magenta, amarillo). Estos mapas son muy utilizados porque permiten delimitar unidades litológicas diferentes a partir de su expresión espectrométrica. En particular, la imagen compuesta de radioelementos ofrece muchas ventajas en términos de discriminación litológica basada en las diferencias de color y trama. Las imágenes destacan las áreas donde cada radioelemento tiene una absoluta o relativa concentración más alta.

La I.A.E.A. (2003), subraya la necesidad de integración de diferentes métodos geofísicos y su complementación con el Modelo de Elevación Digital (MED) e imágenes satelitales a fin de ayudar a la interpretación geológico-cartográfica. Para ello se utilizan en la actualidad modernas técnicas de procesamiento y Sistemas de Información Geográfica (Elton, Moreira y Silva, 2003).

Con relación al empleo del MED, Rasemman (2004) plantea que este es la pieza clave de los análisis morfométricos, equivalente informatizado de la cartografía clásica de elevaciones, tradicionalmente representada mediante curvas de nivel.

En la región de estudio (costa norte de Matanzas), los datos gravimétricos (Gb) y aeromagnéticos (DT) potencialmente permiten identificar diferentes rasgos geólogo-estructurales: por mínimos, los asociados a levantamientos de rocas del Margen Continental Norteamericano (MCN) (dentro del Cinturón Plegado y Cabalgado Norte Cubano (CPCNC) y a depresiones estructurales (D); por máximos, los vinculados con la presencia del Terreno Zaza (Hatten et al., 1988), esto es, volcánicos+ofiolitas (V). De otra parte,

el Modelo de Elevación Digital (MED) 90x90m pudiera reflejar algunos rasgos geológico-estructurales sobresalientes heredados en el relieve. En tanto, los alineamientos de campos potenciales como morfométricos permiten trazar los principales límites tectónicos del territorio. El objetivo de la investigación consiste, por ende, en apoyar la cartografía geológica del área con una interpretación integrada geofísico-morfométrica.

En la investigación se utiliza un enfoque que considera la aplicación de los métodos gravi-magnético y la morfometría no-convencional para cartografiar la estructura geológica subsuperficial (hasta ~ 500 m de profundidad), mientras que, para cartografiar la composición litológica superficial, a partir de la naturaleza radioactiva de los suelos residuales, se emplea la EGA.

Ubicación Geográfica

La región de estudio (Hoja Cartográfica 3985-III a escala 1: 50 000, Varadero) se muestra en la Figura 1. Sus límites en coordenadas Lambert, Cuba Norte, son: X: 448000-475000; Y: 352000-371000.

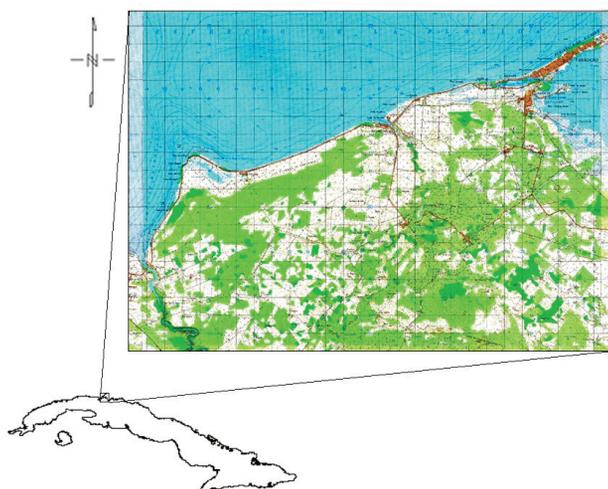


Figura 1. Ubicación geográfica de la región de estudio.

Marco Geológico Regional

Según Pardo Echarte y Cobiella Reguera (2017), el corte geológico de Cuba puede dividirse en dos grandes unidades estructurales y estratigráficas denominadas basamento plegado y cubierta. 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-Margen Continental Norteamericano (MCN), extendido entre Pinar del Río (occidente) y el NW de Holguín (oriente), 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, en los cortes entre La Habana y Camagüey, en superficie y en subsuelo, de norte a sur, se pueden distinguir las siguientes unidades tectono-estratigráficas (UTE): Cayo Coco, Remedios, Camajuaní y Placetas.

Las unidades Camajuaní y Placetas están despegadas de su basamento, en tanto Remedios es posiblemente paraautóctona y Cayo Coco, autóctona. Generalmente, las rocas de la asociación ofiolítica 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 tectónicamente emplazadas sobre la UTE Placetas del MCN, que contiene las capas depositadas de forma originaria más al sur. Las rocas de la AO están representadas por ultramafitas serpentinizadas, serpentinitas, complejos cumulativos máfico-ultramáficos y rocas máficas (intrusivas y volcánicas).

Con respecto a las secuencias vulcanógeno-sedimentarias de la AO, en ocasiones, resulta difícil separarlas de las del Arco Volcánico del Cretácico (¿parte inferior Basamento?), para lo cual se requiere de estudios petroquímicos y petrográficos detallados.

Entre Pinar del Río y Camagüey, las rocas ofiolíticas subyacen a las sucesiones vulcanógeno-sedimentarias cretácicas. 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 de los cortes vulcanógeno-sedimentarios cretácicos 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).

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

- Arco volcánico Sierra Maestra-Cresta Caimán (AVSMC)
- Cuencas de antepaís
- Cuencas a cuestras 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 AVSMC y la Cuenca intramontane del Eoceno Medio y Superior del sur de Cuba oriental no son tratadas en este tópico por encontrarse muy distantes del área de estudio y no ejercer influencia en su com-

posición y estructura geológica.

En lo relativo a las cuencas de antepaís a lo largo del norte de Cuba, desde el NW 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 Inferior). 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 de la AO, 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 (Cinturón Plegado y Cabalgado Norte Cubano-CPCNC). Según el Colectivo de Autores (2009), 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 probablemente complicados de forma adicional por accidentes de cizalla. Las rocas deformadas abarcan un intervalo de edad que va desde el Jurásico hasta el Eoceno.

En cuanto a las cuencas a cuestras (CC) son depresiones, generalmente 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, especialmente 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 siem-

pre separados de estas por una discordancia estructural y sin presencia de rocas magmáticas. Sus estratos se acumularon, fundamentalmente, tras el cese de los movimientos 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 strictus (Postorogénico).

Premisas Físico-Químico-Geológicas

La alta densidad de los volcánicos y las ofiolitas permite distinguir, por máximos gravimétricos, las elevaciones estructurales de los mismos. Igualmente, su correspondiente elevada susceptibilidad magnética permite cartografiarlos sin dificultad por la aeromagnetometría y hasta diferenciarlos en algunos casos.

La caracterización litológica se ofrece en términos radioactivos: Predominio de variedades potásicas-presencia de feldespato potásico (en rojo); predominio de variedades urano-toríferas-presencia de calizas arcillosas (en azul-carbonatos fosfatados, predominantes y en verde-arcillas, predominantes); ausencia de elementos radioactivos-ultrabasitas y sedimentos costeros anegados (en negro).

MATERIALES Y MÉTODOS

Información y sus Fuentes

Los materiales utilizados y sus fuentes son las siguientes:

- Mallas del campo gravimétrico y aeromagnético a escalas 1: 50 000 y de espectrometría gamma aérea (canales: U, Th y K) a escala 1:100 000 de la República de Cuba (Mondelo Diez *et al.*, 2011).
- El MED (90x90 m) (Sánchez Cruz *et al.*, 2015), con fuente en: <http://www.cgiar-csi.org/data/srtm-90m-digital-elevation>
- Mapa Geológico Digital de la República de Cuba a escala 1: 100 000 del Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico

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

Métodos y Técnicas

Los métodos utilizados en la investigación son:

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

El procesamiento de la información geofísico-morfométrica se llevó a cabo con el software Oasis Montaj de GeoSoft versión 7.01.

Gravimetría

Para la cartografía geólogo-estructural por datos gravimétricos se utilizó la primera derivada vertical (GbDV), equivalente a una residual a 500 m. La derivada horizontal total (GbDHT) se empleó para el trazado de los alineamientos tectónicos.

Aeromagnetometría

La litología magnética (volcánicos+ofiolitas) se puede distinguir directamente sobre la base de las observaciones del campo aeromagnético reducido al polo (DTrp) y su primera derivada vertical (DTrpDV). A partir de la última es posible, en ocasiones, diferenciar las ofiolitas de los volcánicos por una mayor intensidad de sus valores máximos. Los alineamientos tectónicos son trazados a partir del campo de la derivada horizontal total (DTrpDHT).

Morfometría no-convencional

El MED (90x90 m) se sometió a la separación regional-residual a partir de la Continuación Analítica Ascendente (CAA) a 500 m, según la experiencia del autor (Pardo Echarte, Reyes Paredes y Suárez Leyva, 2018). Para trazar los alineamientos tectónicos se utilizó la derivada horizontal total (MEDDHT).

Espectrometría Gamma Aérea

Para la EGA se determinaron las relaciones entre las variables espectrométricas, las cuales pueden resultar

más expresivas que los valores de las componentes espectrométricas originales para delimitar contactos litológicos. Además, se confeccionó el mapa ternario RGB (red, green, blue) de los tres radioelementos (K, Th y U, respectivamente). La cartografía litológica se realizó bajo el presupuesto de la presencia básica de suelos residuales, estableciendo los límites de las áreas con igual trama y color.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

Gravimetría

Los resultados de la cartografía geólogo-estructural por datos gravimétricos se presentan en la **Figura 2**. En general, los máximos están asociados a la presencia de rocas volcánicas y ofiolitas del Terreno Zaza y los mínimos a levantamientos de rocas del MCN dentro del CPCNC y a depresiones estructurales. Se evidencia en el subsuelo la sutura AO+AVC vs. MCN, cartografiada por los alineamientos tectónicos que separan los mínimos septentrionales de los máximos meridionales.

Aeromagnetometría

Los resultados de la cartografía geólogo-estructural por datos aeromagnéticos se presentan en la **Figura 3**. En general, los máximos están asociados a la presen-

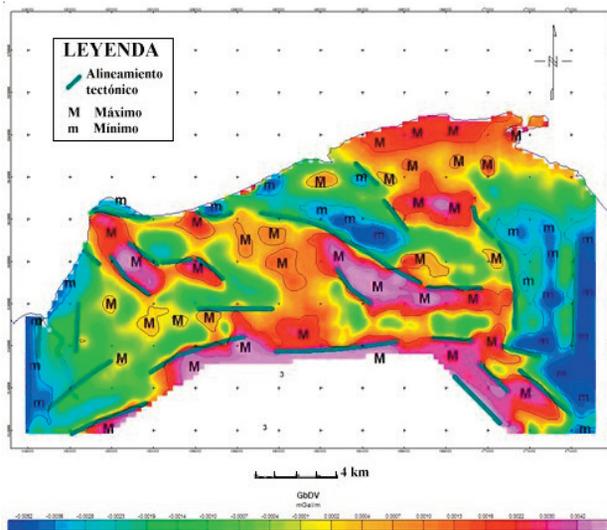


Figura 2. Cartografía geólogo-estructural por datos gravimétricos (GbDV).

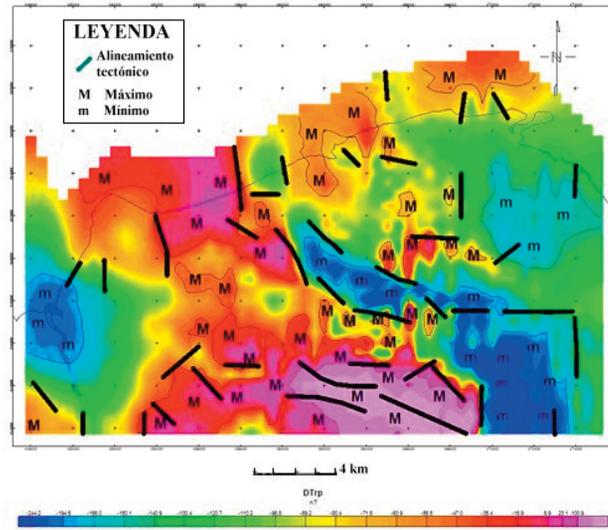


Figura 3. Cartografía geólogo-estructural por datos aeromagnéticos (DTrp).

cia de rocas volcánicas y ofiolitas del Terreno Zaza y los mínimos a levantamientos de rocas del MCN dentro del CPCNC y a depresiones estructurales. Aquí no se evidencia tan claramente en el subsuelo la sutura AO+AVC vs. MCN como en el caso anterior, solo parcialmente.

Morfometría no-convencional

Los resultados de la cartografía morfométrica por datos del MED (90x90 m) se presentan en la **Figura 4**. En la misma han sido trazados los alineamientos tectónicos por morfometría. A juzgar por la regionalización del campo del relieve, se observa un máximo estructural al sur del área vinculado con la presencia de un cuerpo de gabro-serpentinitas aflorado, mostrando que su extensión en profundidad pudiera ser mayor.

Estructura geológica de la región de estudio por datos gravi-magnéticos y morfométricos

Un esquema de la estructura geológica del territorio en base a la interpretación integrada de los datos geofísicos y morfométricos se presenta en la **Figura 5**. En él se ofrecen los principales alineamientos tectónicos, la sutura AO+AVC vs. MCN, las principales áreas de desarrollo de las rocas volcánicas y ofiolíticas (Terreno Zaza) y las posibles depresiones estructurales.

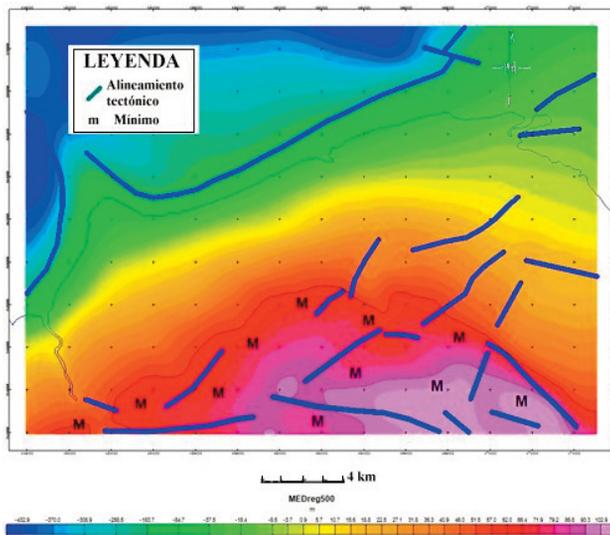


Figura 4. Cartografía morfométrica por datos del MED (90x90 m).

Espectrometría Gamma Aérea

Los resultados de la cartografía litológica por datos de la EGA se presentan en las Figuras 6-8. Las relaciones espectrométricas que ofrecen una mejor información fueron K/eTh y eTh/eU . En el mapa de la relación espectrométrica K/eTh (Figura 6) se distinguen zonas de máximos que son delimitadas a partir de alineamientos los cuales coinciden con algunos contactos litológicos presentes en el mapa geológico del territorio. El alineamiento que se observa al noroeste

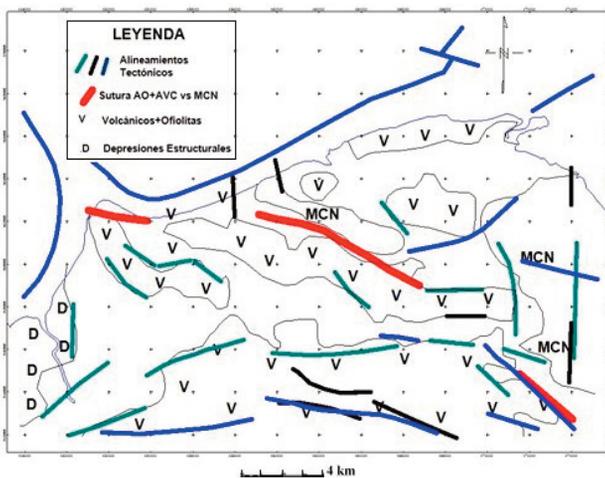


Figura 5. Esquema de la estructura geológica del territorio en base a la interpretación integrada de los datos geofísicos y morfométricos.

coincide, en algunas áreas, con el contacto litológico entre las formaciones Güines y Canímar. Hacia el sur, el alineamiento que se muestra concuerda con el contacto entre las rocas de la formación Vía Blanca con los gabros-serpentinitas. Al centro se distingue un alineamiento que coincide con el contacto litológico entre las formaciones Peñón, Perla y Güines. El alineamiento ubicado hacia el noreste no coincide con contactos litológicos, lo que pudiera ser una futura zona de estudio para comprobar geológicamente.

En el mapa de la relación espectrométrica eTh/eU (Figura 7) se observan tres alineamientos que coinciden con contactos litológicos reconocidos. El alineamiento que se distingue al norte concuerda con el contacto entre las rocas de las formaciones Jaimanitas y Canímar, mientras que el alineamiento que se encuentra hacia el sur, coincide con el contacto entre las formaciones Güines y Vía Blanca. El corto alineamiento ubicado al noreste delimita el contacto entre los depósitos palustres y la formación Jaimanitas.

En la Figura 8 (Mapa Ternario) han sido trazados los principales alineamientos tectónicos que responden al cuadro geológico más superficial, así como los límites de los principales campos litológicos (suelos residuales) con expresión radioactiva (rojo-naturaleza potásica-presencia de feldespato potásico, fundamentalmente en las Fms. Veloz, Vía Blanca, Perla y Peñón; verde-naturaleza torífera-presencia de arcillas y azul-naturaleza uranífera-presencia de fosfatización en carbonatos, fundamentalmente en las Fms. Güines, Colón y Loma Triana y; negro-ausencia de radioelementos-presencia de gabros-serpentinitas y hacia las costas, zonas de depósitos palustres).

DISCUSIÓN

La cartografía geofísico-morfométrica integrada ofrecida en esta investigación resulta, sin dudas, de utilidad para la cartografía geológica del área de estudio en elaboración ya que permite:

- Cartografiar la estructura geológica subsuperficial (~ 500 m) del territorio partir de la interpretación integrada gravi-magnética y morfométrica no-convencional, donde se re-

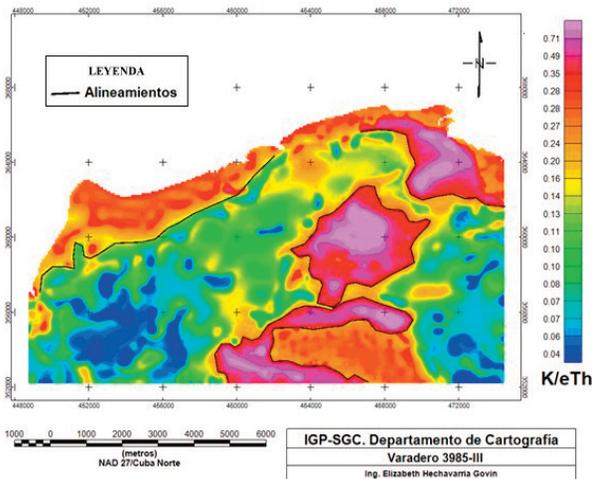


Figura 6: Mapa de la relación espectrométrica K/eTh.

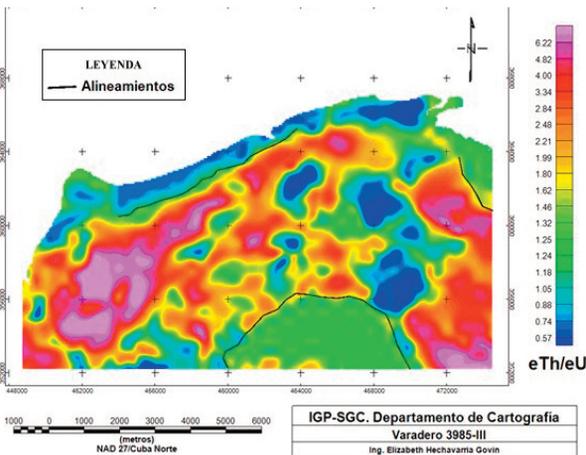


Figura 7: Mapa de la relación espectrométrica eTh/eU.

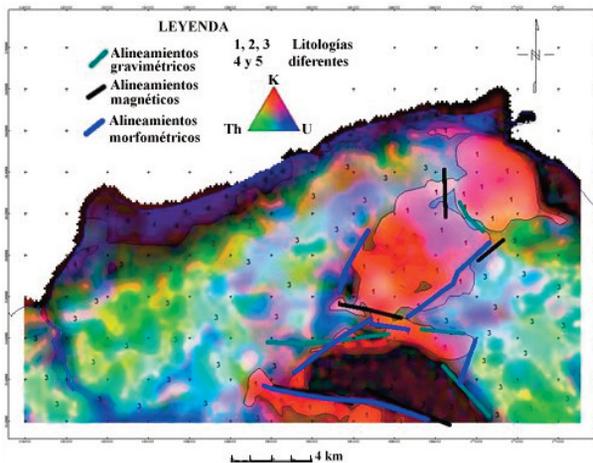


Figura 8. Cartografía litológica a partir del Mapa Ternario (K, Th y U).

conocen depresiones estructurales, levantamientos de rocas del MCN, límites tectónicos, presencia de volcánicos+ofiolitas y la extensión en profundidad de cuerpos geológicos aflorantes.

- Establecer y cartografiar la composición litológica superficial a partir de la naturaleza radioactiva de los suelos residuales, donde se reconoce la presencia de rocas con contenidos de feldespato potásico, de arcillas, de carbonatos con fosfatización, de gabro-serpentinatas y de depósitos palustres.

CONCLUSIONES

- Se cartografió la estructura geológica sub-superficial (~500 m) del territorio partir de la interpretación integrada gravi-magnética y morfométrica no-convencional. Además, se estableció y cartografió la composición litológica superficial a partir de la naturaleza radioactiva de los suelos residuales. Así se reconocen: depresiones estructurales, levantamientos de rocas del MCN, límites tectónicos, presencia de volcánicos+ofiolitas, extensión en profundidad de cuerpos geológicos aflorantes y la presencia de rocas con contenidos de feldespato potásico, de arcillas, de carbonatos con fosfatización, de gabro-serpentinatas y de depósitos palustres.
- A juzgar por la regionalización del campo del relieve (a partir de la morfometría no-convencional), se observa un máximo estructural al sur del área vinculado con la presencia de un cuerpo de gabro-serpentinatas aflorado, mostrando que su extensión en profundidad pudiera ser mayor.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro de Investigación del Petróleo y al Instituto de Geología y Paleontología Servicio Geológico de Cuba por permitir el uso de información ordinaria en esta investigación. También, al Dr.

C. Reinaldo Rojas Consuegra y a la Dra. C. Olga Castro Castiñeira 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**, 2009, 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 1:100 000. Inédito. Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico de Cuba, La Habana.
- Dobrin, A. y Savit, M.**, 1988, *Introduction to geophysical prospecting*. McGraw-Hill International Editions 4ta Ed.
- Ducloz, C.**, 1960, Mapa Geológico de Matanzas a escala 1:20 000. Inédito. Centro Nacional del Fondo Geológico, Ministerio de Industria Básica. La Habana.
- Duval, J. S.**, 1983, Composite color images of aerial gamma-ray spectrometric data. *GEOPHYSICS*, 48: 722-735.
- Elton, L. D., Moreira A. y Silva T. A.**, 2003, Old Geophysical Data Applied to Modern Geological Mapping Problems: A Case-Study In The Seridó Belt, NE Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 33(2-Suplemento): 65-72.
- 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: 35.1-35.
- AGENCY**, 2003, Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. Vienne, TECDOC-1363.
- 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 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, 278pp.
- 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. 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.
- Rasemman, L.**, 2004, Análisis Morfométricos a partir del Modelo de Elevación Digital. Texto básico. México, 1ra Ed.
- Sánchez Cruz, R., Mondelo Diez, F.**, 2015, Mapas Morfométricos de la República de Cuba para las escalas 1:1 000000–1:50000 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>.

Fecha de recepción: 20 de enero de 2023
Fecha de arbitraje: 1 de febrero de 2023
Fecha de aprobación: 20 de febrero de 2023