

INTERPRETACIÓN GEOFÍSICO-MORFOMÉTRICA EN APOYO A LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LA HOJA 3885-II, MATANZAS, CUBA GEOPHYSICAL-MORPHOMETRIC INTERPRETATION IN SUPPORT OF THE GEOLOGICAL MAPPING OF SHEET 3885-II, MATANZAS, CUBA

✉ **MANUEL E. PARDO ECHARTE***

Centro de Investigación del Petróleo (Ceinpet). Churruga, No.481, e/ Vía Blanca y Washington, El Cerro. C.P. 12000, La Habana, Cuba.

*Correspondencia: manuel.pardo@ceinpet.cupet.cu.

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 aeromagnético a escalas 1: 50 000 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: 100 000 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 partir de la interpretación integrada gravi-magnética y morfométrica. Además, se estableció y cartografió la composición litológica superficial a partir de la naturaleza radioactiva de los suelos residuales. Así se reconocen: depresiones estructurales, límites tectónicos, un posible levantamiento de rocas del Margen Continental Norteamericano, presencia de volcánicos+ofiolitas con una macro estructura deprimida y la presencia de rocas con contenidos de feldespato potásico, de arcillas, de carbonatos con fosfatización y de serpentinitas.

Palabras Clave: Aeromagnetometría, Cartografía Geológica, Espectrometría Gamma Aérea, Gravimetría, Modelo de Elevación Digital.

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 geophysical-morphometric interpretation is essential. In this sense, it is known that potential fields help in the structural-tectonic deciphering of the territory and, to a lesser extent, in the lithological mapping of the different geological units present, with the inverse contribution of airborne 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 of 1:50 000 and airborne gamma spectrometry at scale of 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: 100 000 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 from the integrated gravi-magnetic and morphometric interpretation. In addition, the surface lithological composition was established and mapped from the radioactive nature of the residual soils. Thus, the following are recognized: structural depressions, tectonic limits, a possible uplift of rocks of the North American Continental Margin, presence of volcanic + ophiolites with a depressed macro structure and the presence of rocks with potassium feldspar contents, clays, carbonates with phosphatization and serpentinites.

Keywords: Aeromagnetometry, Aerial Gamma Spectrometry, Digital Elevation Model, Geological Mapping, Gravimetry.

Recibido: 23/02/2025

Aceptado: 10/04/2025

Conflicto de intereses. El autor declara no tener conflictos de interés.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



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 levantamiento 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 geólogo-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 (norte de Mayabeque-Matanzas), los datos gravimétricos (Gb) y aeromagnéticos (DT) potencialmente permiten identificar diferentes rasgos geólogo-estructurales: por mínimos o valores bajos, los asociados a depresiones estructurales (D) y a levantamientos de rocas del Margen Continental Norteamericano (MCN); 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 geólogo-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-conventional para cartografiar la estructura geológica subsuperficial (hasta ~ 500 m de profundidad), (Pardo Echarte, Morales González y Rodríguez Morán, 2024), 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 3885-II a escala 1: 50 000, Matanzas) se muestra en la **Figura 1**. Sus límites en coordenadas Lambert, Cuba Norte, son: X: 423000-449000; Y: 352000-371000.

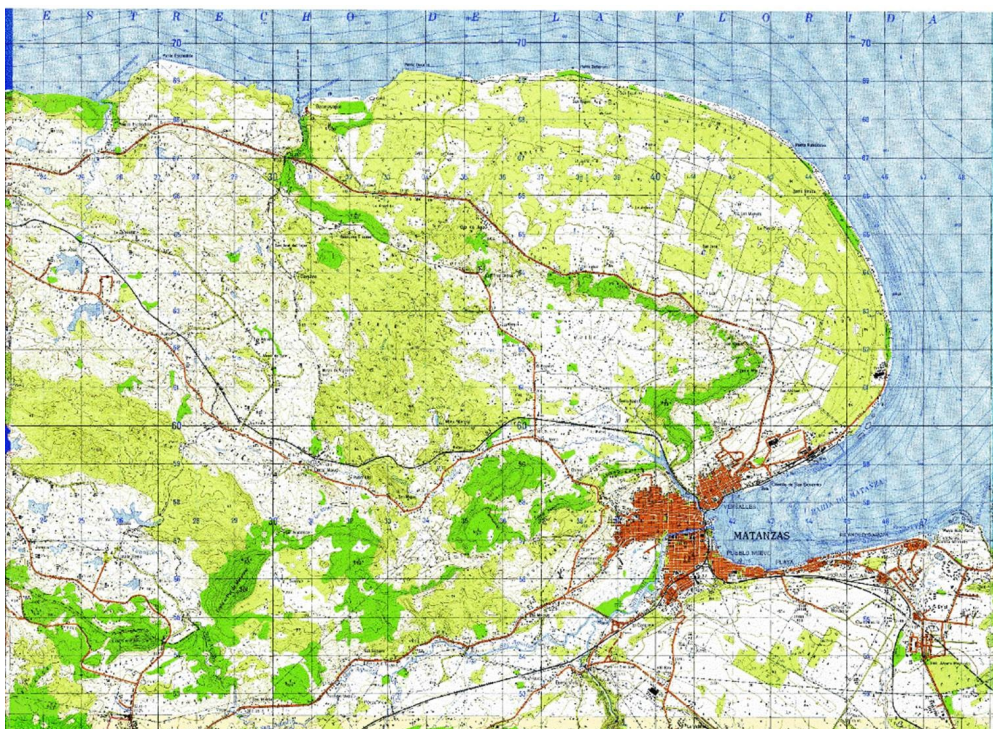


Figura 1. Ubicación geográfica de la región de estudio

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. (Pardo Echarte, Delgado López y Morales González, 2023).

La caracterización litológica se ofrece en términos radioactivos: predominio de variedades potásicas-presencia de feldespatos potásicos (en rojo); predominio de variedades urano-toríferas-presencia de calizas arcillosas (en azul-carbonatos fosfatados, predominantes y en verde-arcillas, predominantes) y ausencia de elementos radioactivos-serpentinitas (en carmelita oscuro- 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 geofísica-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). Los alineamientos tectónicos fueron trazados a partir de ambos campos.

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 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

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 o valores bajos a depresiones estructurales o a levantamientos de rocas del MCN.

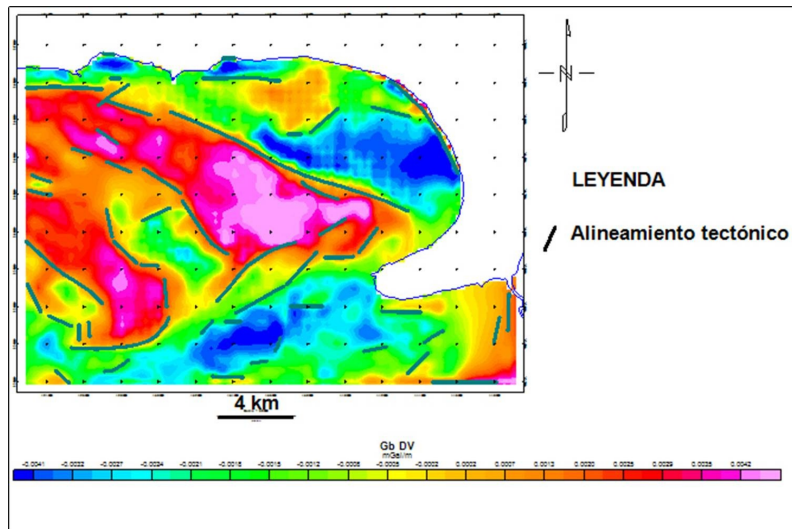


Figura 2. Cartografía geólogo-estructural por datos gravimétricos (GbDV)

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 presencia de rocas volcánicas y ofiolitas del Terreno Zaza y los mínimos o valores bajos a depresiones estructurales o a levantamientos de rocas del MCN.

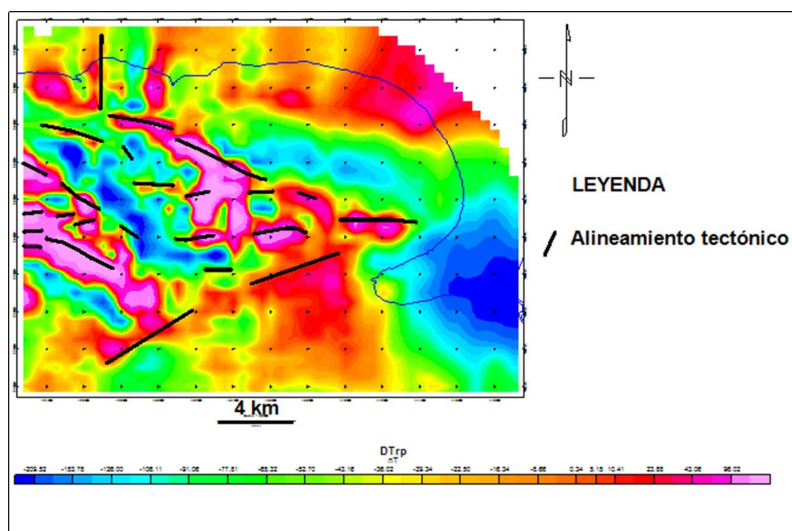


Figura 3. Cartografía geólogo-estructural por datos aeromagnéticos (DTp).

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.

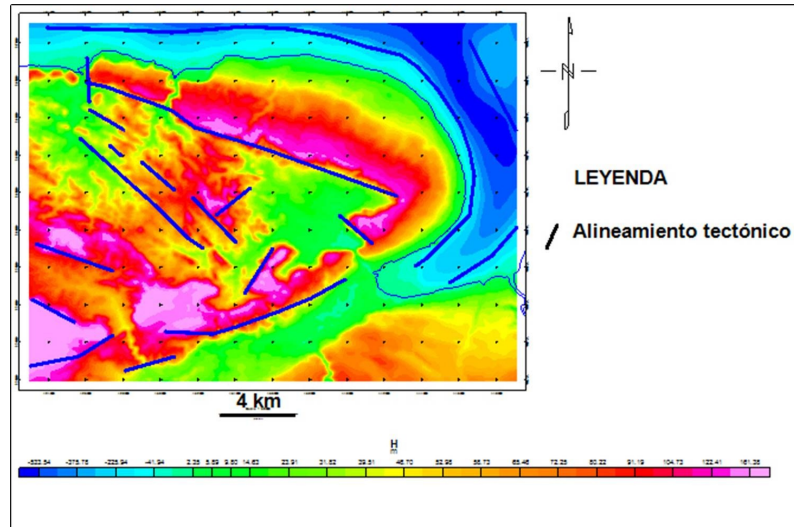


Figura 4. Cartografía morfométrica por datos del MED (90x90 m)

Estructura geológica de la región de estudio por datos gravimagnéticos y morfométricos

Un esquema de la estructura geológica del territorio en base a la interpretación integrada de los datos geofísicos y morfométricos se presentan en las **Figuras 5 y 6**. En él se ofrecen las principales áreas de desarrollo de las rocas volcánicas y ofiolíticas (Terreno Zaza) y las posibles depresiones estructurales.

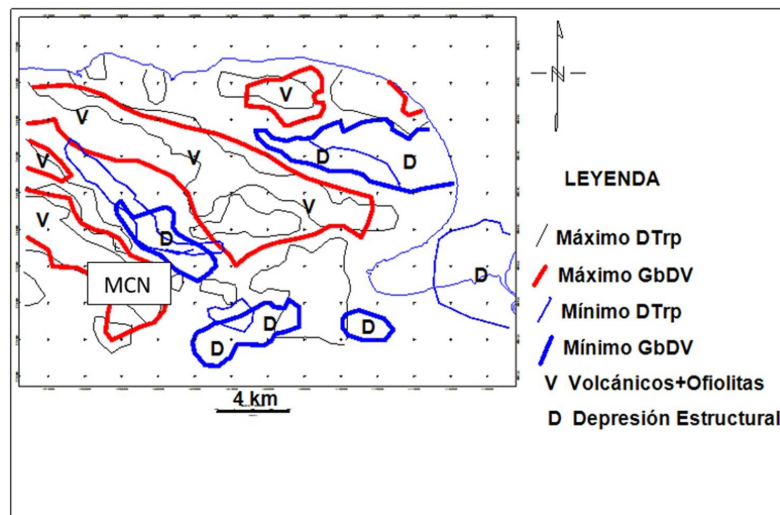


Figura 5. Esquema de la estructura geológica del territorio en base a la interpretación integrada de los datos gravimagnéticos

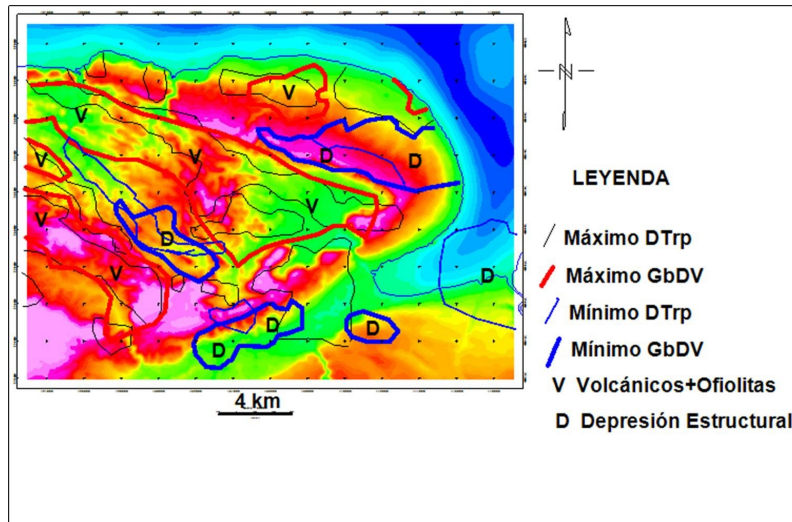


Figura 6. Esquema de la estructura geológica del territorio en base a la interpretación integrada de los datos gravi-magnéticos-morfométricos

En la **Figura 5** se observan dos principales macro-estructuras deprimidas del Terreno Zaza de dirección cubana (SE-NO) donde se corresponden, espacialmente los máximos gravimétricos y magnéticos. Ambas están separadas por una zona de mínimo o valores bajos de los dos campos, la cual pudiera corresponder, probablemente, con un levantamiento de rocas del MCN o, en su defecto, con una depresión estructural. Una importante depresión estructural de rumbo sublatitudinal separa, al norte, otro cuerpo del Terreno Zaza. Las restantes depresiones (3) están asociadas a la estructura hundida del sur de la bahía de Matanzas complicada por la transurrencia de una zona de fallas de rumbo SO-NE.

La **Figura 6** pone de manifiesto la no correspondencia del relieve con la estructura geológica del área (solo algunos alineamientos tectónicos principales, como la zona de transurrencia de la bahía de Matanzas y la falla que separa, al norte, la macro estructura deprimida septentrional principal del Terreno Zaza de las rocas sedimentarias).

Espectrometría Gamma Aérea

Los resultados de la cartografía litológica por datos de la EGA se presentan en la **Figura 7**. En esta figura (Mapa Ternario) han sido trazados los límites de los principales campos litológicos (suelos residuales) con expresión radioactiva (rojo-naturaleza potásica-presencia de feldespatos potásicos, fundamentalmente, en la Fm. Vía Blanca; verde-naturaleza torífera - presencia de arcillas y azul-naturaleza uranífera-presencia de fosfatización en carbonatos, fundamentalmente en las Fms. Güines, Vedado y Canímar y sedimentos fosfatados costeros al NE; carmelita oscuro-negro-ausencia de radioelementos-presencia de serpentinitas. En el mapa ternario en base a la trama y color del campo radioactivo han sido reconocidas 9 variedades litológicas, las cuales no tienen toda su correspondencia en el mapa geológico con formaciones específicas (**Figura 8**).

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 reconocen depresiones estructurales, límites tectónicos, presencia de volcánicos+ofiolitas en macro estructuras deprimidas y un posible levantamiento de rocas del MCN.

- 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 sedimentos costeros fosfatados y de serpentinitas.

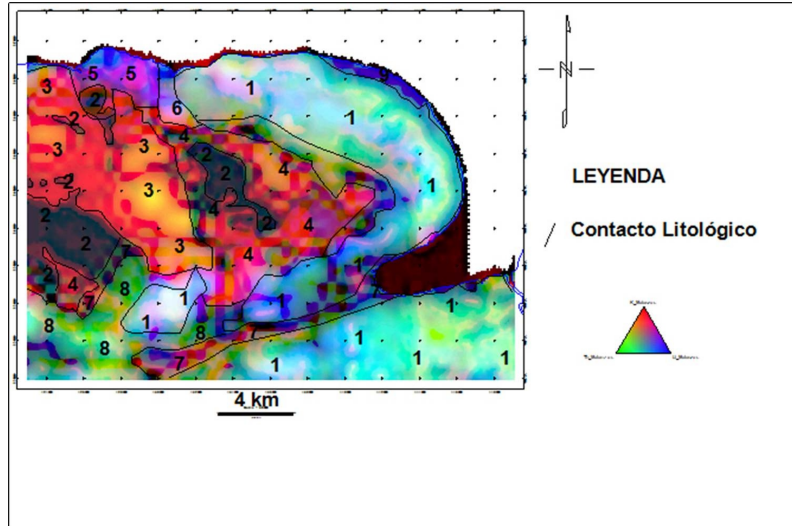


Figura 7. Cartografía litológica a partir del Mapa Ternario (K, Th y U)

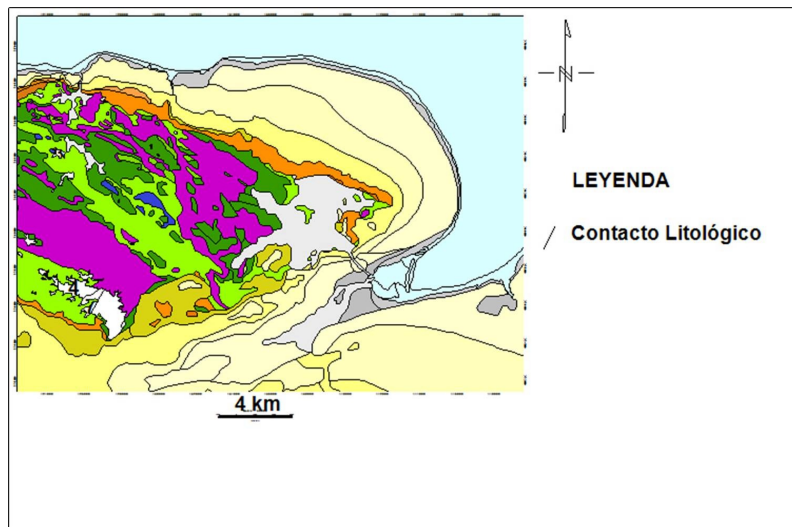


Figura 8. Mapa geológico del área de estudio. (Leyenda de las formaciones, debajo)

CONCLUSIONES

Se cartografió la estructura geológica subsuperficial (~ 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, un posible levantamiento de rocas del MCN, límites tectónicos, presencia de volcánicos+ofiolitas en macro estructuras deprimidas y la presencia de rocas con contenidos de feldespato potásico, de arcillas, de carbonatos con fosfatización, de sedimentos costeros fosfatados y de serpentinitas.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer a la Lic. Lorenza M. Mejías Rodríguez por su contribución en la Leyenda del Mapa Geológico y al correspondiente Proyecto del IGP_SGC por el financiamiento de los trabajos realizados.

REFERENCIAS

- 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.
- 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.
- I.A.E.A.-INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2003): *Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data*. Vienne, TECDOC-1363.
- Mondelo Diez, F., Sánchez Cruz R. y otros (2011): *Mapas geofísicos regionales de gravimetría, magnetimetría, intensidad y espectrometría gamma de la República de Cuba, escalas 1:2000000 hasta 1:50 000*. Inédito. Archivo Técnico 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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56744-0).
- Pardo Echarte, M.E., Delgado López, O., Morales González, J. (2023): Caracterización tectono-estructural y sectores favorables para hidrocarburos de las cuencas occidentales del sur de Cuba a partir de métodos no sísmicos de exploración. *Boletín de Geología*, 45(2), 115-130. <https://doi.org/10.18273/revbol.v45n2-2023007>.
- 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. pp. 110-121.
- Rasemman, L. (2004): *Análisis Morfométricos a partir del Modelo de Elevación Digital*. Texto básico. México, 1ra Ed. 1ra Ed. Sánchez Cruz, R. 66 p.
- Sánchez Cruz, R., Mondelo Diez, F. y otros (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>.