

Interpretación geofísica en apoyo a la cartografía geológica de la hoja cartográfica Sibanicú (4679-I) a escala 1:50 000, Cuba

Elizabeth Hechavarria Govin¹

¹ Ingeniera geofísica. Aspirante a Investigador del Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico de Cuba. Vía Blanca 1002, entre Calzada de Güines y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón, C.P. 11 000, La Habana, Cuba, ORCID: 0000-0002-9487-4408. Correo E.: elishin96@gmail.com.²

RESUMEN

La interpretación de datos geofísicos en la cartografía geológica del terreno, permite obtener información relacionada con el medio geológico y proponer la geometría de las estructuras. Los datos geofísicos más utilizados en esta tarea geológica son los espectrométricos, gravimétricos y magnéticos que posibilitan la identificación de las principales unidades litológicas y rasgos estructurales, así como cartografiar los principales límites tectónicos del área. Los levantamientos geofísicos con esta finalidad han sido numerosos en sectores de Camagüey, aunque ha sido insuficiente la integración de la información geofísica para realizar una cartografía geológica a escala 1:50 000 del sector Sibanicú, razón por la cual esta investigación expone la interpretación de los datos gamma-espectrométricos, aeromagnéticos y gravimétricos en dicha área. El procesamiento e interpretación de los datos fue realizado por medio del *software* informático de interpretación geólogo-geofísica *Oasis Montaj* y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se determinaron las relaciones entre las variables espectrométricas ya que son más expresivas que los valores de las componen-

tes espectrométricas originales para delimitar contactos litológicos. Se confeccionó el mapa ternario para establecer unidades gamma-espectrométricas a partir de las concentraciones relativas de los radioelementos. Para la interpretación de los datos aeromagnéticos y gravimétricos fueron aplicados filtros matemáticos como la derivada vertical y la derivada horizontal total, para identificar alineamientos tectónicos. Fueron utilizados datos de yacimientos minerales presentes en el área para determinar su relación con el comportamiento de los datos gamma-espectrométricos. Como resultado final fueron identificadas unidades gamma-espectrométricas y alineamientos que fueron descritos en un mapa de interpretación integrada.

Palabras clave: cartografía geológica, interpretación geofísica, gamma-espectrometría, radioelementos, mapa ternario.

ABSTRACT

The interpretation of geophysical data in the geological cartography of the terrain allows obtaining infor-

Hechavarria-Govin, E., 2024, Interpretación geofísica en apoyo a la cartografía geológica de la hoja cartográfica Sibanicú (4679-I) a escala 1:50 000, Cuba: Geociencias UO. v. 13, núm. 1, junio 2024. pp. 26-36

mation related to the geological environment and proposing the geometry of the structures. The geophysical data most used in this geological task are spectrometric, gravimetric, and magnetic data that enable the identification of the main lithological units and structural features, as well as mapping the main tectonic limits of the area. Geophysical surveys for this purpose have been numerous in sectors of Camagüey, although the integration of geophysical information to carry out a geological cartography at a scale of 1:50 000 of the Sibanicú sector has been insufficient, which is why this research exposes the interpretation of the gamma-spectrometric, aeromagnetic, and gravimetric data in said area. The processing and interpretation of the data was carried out using the Oasis Montaj geologist-geophysics interpretation computer software and Geographic Information Systems (GIS). The relationships between the spectrometric variables were determined since they are more expressive than the values of the original spectrometric components to delimit lithological contacts. The ternary map was created to establish gamma-spectrometric units based on the relative concentrations of the radioelements. For the interpretation of the aeromagnetic and gravimetric data, mathematical filters such as the vertical derivative and the total horizontal derivative were applied to identify tectonic alignments. Data from mineral deposits present in the area were used to determine their relationship with the behavior of the gamma-spectrometric data. As a result, gamma-spectrometric units and alignments were identified and described in an integrated interpretation map.

Key words: geological cartography, geophysical interpretation, gamma-spectrometry, radioelements, ternary map.

RESUMO

A interpretação dos dados geofísicos na cartografia geológica do terreno permite obter informação relativa ao meio geológico e propor a geometria das estruturas. Os dados geofísicos mais utilizados nesta tarefa geológica são espectrométricos, gravimétricos e mag-

néticos, que permitem identificar as principais unidades litológicas e feições estruturais, bem como mapear os principais limites tectônicos da área. Os levantamentos geofísicos com essa finalidade foram numerosos em setores de Camagüey, embora a integração da informação geofísica tenha sido insuficiente para realizar uma cartografia geológica em escala 1:50.000 do setor Sibanicú, razão pela qual esta pesquisa expõe a interpretação de os dados, levantamentos gama-espectrométricos, aeromagnéticos e gravimétricos na referida área. O processamento e interpretação dos dados foram realizados usando o software de computador de interpretação geológico-geofísica Oasis Montaj e Sistemas de Informação Geográfica (SIG). As relações entre as variáveis espectrométricas foram determinadas uma vez que eles são mais expressivas que os valores dos componentes espectrométricos originais para delimitar os contatos litológicos. O mapa ternário foi feito para estabelecer unidades espectrométricas gama a partir das concentrações relativas de radioelementos. Para a interpretação dos dados aeromagnéticos e gravimétricos, foram aplicados filtros matemáticos como o drift vertical e o drift horizontal total para identificar alinhamentos tectônicos. Dados de depósitos minerais presentes na área foram utilizados para determinar sua relação com o comportamento dos dados gama-espectrométricos. Como resultado final, foram identificadas unidades gama-espectrométricas e alinhamentos, que foram descritos em um mapa integrado de interpretação.

Palavras-chave: cartografia geológica, interpretação geofísica, gama-espectrometria, radioelementos, mapa ternário.

INTRODUCCIÓN

Para una cartografía geológica de calidad, es importante el empleo de métodos geofísicos ya que permiten el estudio de las propiedades físicas de los macizos rocosos y proponen su geometría basándose en el comportamiento de los campos físicos en la superficie terrestre, el aire o en pozos. Dentro de los métodos geofísicos más utilizados en esta tarea geológica se en-

cuentran los espectrométricos, magnéticos y gravimétricos, ya que permiten cartografiar los principales límites tectónicos y contactos litológicos entre las unidades geológicas.

La mayoría de las investigaciones en las que se ha realizado la interpretación de datos geofísicos para la cartografía geológica de un territorio, se han centrado en el análisis integrado de la información y en el uso de técnicas modernas de procesamiento. Desde la segunda mitad del siglo pasado, estos estudios geofísicos con fines cartográficos tomaron mayor auge a nivel mundial y nacional, destacándose las investigaciones de Mero (1960), Russell y Steinhoff (1961), Duval (1983), Pardo et al. (1989), Shives et al. (2000), Carrino et al. (2007), Sousa y Lacerda (2009), Pujalte (2010), Serrano (2015), Batista (2017) y Báez (2019). Gran parte de estas investigaciones tuvieron como eje central los métodos espectrométricos, en las cuales se delimitaron unidades geológicas diferentes a partir de su expresión espectrométrica, se utilizaron las relaciones e índices espectrométricos como ayuda a la interpretación, fueron detectadas alteraciones de potasio asociadas con mineralización y fue determinado el contenido mineral mediante el análisis espectrométrico. Otros estudios utilizaron esos métodos de manera combinada con los métodos de campos potenciales para el reconocimiento geológico en terrenos con intensa meteorización, en la visualización de la distribución y configuración del espacio de las unidades litológicas y las estructuras tectónicas, para delimitar

las principales unidades o bloques geólogo-geofísicos de un territorio, para precisar la base estructuro-tectónica y litológica y para la confección de un modelo estructuro-metalogénico.

Como parte del proyecto de la cartografía geológica de Cuba a escala 1:50 000 que ejecuta el Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico de Cuba (IGP-SGC), empresas geomineras y algunas universidades, se realiza la interpretación de datos geofísicos obtenidos en el levantamiento aerogamma-espectrométrico y magnético a escala 1:50 000 en la República de Cuba entre los años 1979 y 1993. Dicha interpretación se les realiza a las diversas hojas cartográficas entre las que se encuentra la hoja Sibanicú (4679-I) la cual es objeto de estudio en este trabajo.

El objetivo principal del trabajo es aplicar técnicas de procesamiento e interpretación de datos geofísicos en dicha hoja cartográfica. Los objetivos específicos son:

- Obtener los mapas interpretativos del método gamma-espectrométrico.
- Cartografiar los alineamientos presentes en el sector a partir del procesamiento de los datos aeromagnéticos y gravimétricos.
- Analizar el vínculo de los datos gamma-espectrométricos con los datos de yacimientos minerales presentes en el área.
- Obtener un mapa de interpretación integrada de los datos geofísicos.



Figura 1. Mapa en profundidad por el tope de los CCMC cabalgados y sus sinorogénicos, se muestra su interacción y estilo estructural.

Ubicación geográfica

La hoja cartográfica Sibanicú (4679-I) se ubica en la provincia de Camagüey (**Figura 1**). El territorio se encuentra entre los municipios Sibanicú, Jimaguayú y Najasa. Al tener en cuenta el sistema de coordenadas proyectadas NAD 27 el área se encuentra en Cuba Sur en las coordenadas que se muestran en la **Tabla 1**.

Vértices	Cuba Sur	
	x	y
1	404800.96	279275.64
2	404905.38	297727.67
3	430840.10	297600.90
4	430764.15	279148.74

Tabla 1: Coordenadas de la hoja 4679-I.

Características geológicas del área de estudio

El área se caracteriza por una estructura geológica constituida por formaciones del Arco Volcánico Cretácico, secuencias sedimentarias, complejos intrusivos y depósitos no consolidados. En cuanto a la tectónica, el área presenta diversas fallas algunas de las cuales coinciden con contactos litológicos entre las unidades geológicas (**Figura 2**).

Las rocas volcánicas, vulcanógeno-sedimentarias y sedimentarias asociadas al Arco Volcánico Cre-

tácico se encuentran representadas por las unidades lito-estratigráficas Camujiro, Guáimaro, La Sierra, Martí y Piragua. Los complejos intrusivos presentes en el territorio son el Gabrosienítico y el Granodiorítico, con rocas ígneas plutónicas de composición ácida, intermedia y básica. Solo se encuentran los depósitos aluviales en representación de los depósitos no consolidados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados fueron:

- 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)
- 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)
- Base de datos de los yacimientos minerales presentes en el área, del Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico de Cuba (IGP-SGC) (Colectivo de Autores, 2015).

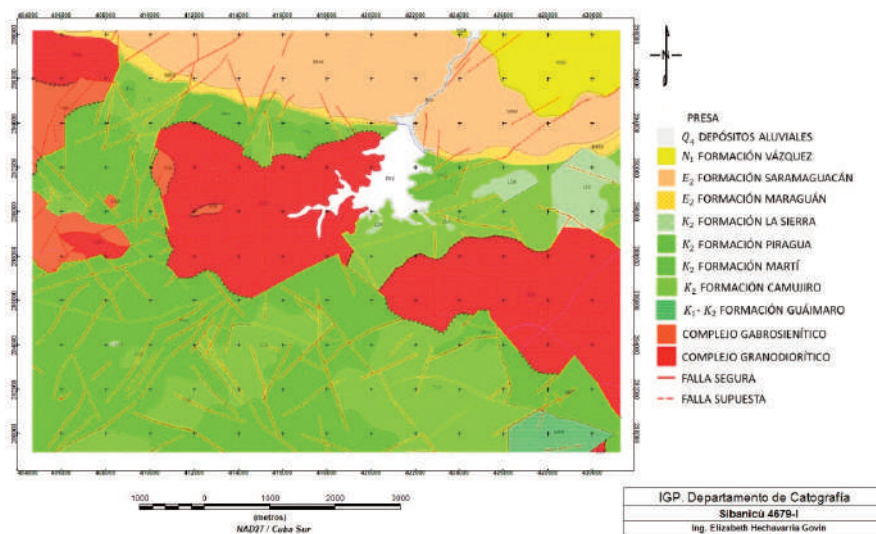


Figura 2: Mapa geológico del área de estudio.

Los métodos utilizados en la investigación fueron:

- Gravimetría (ΔG)
- Aeromagnetometría (ΔT)
- Espectrometría Gamma Aérea (EGA).

Para el análisis de estos datos se empleó el sistema de procesamiento e interpretación de datos geofísico-geológicos (*Oasis Montaj*), y los sistemas de información geográfica *ArcGis* y *QGis*.

Gravimetría

Para la interpretación de datos gravimétricos se utilizó la primera derivada vertical (ΔGDV), equivalente a una residual a 500 m. La derivada horizontal total se empleó para el trazado de los alineamientos tectónicos.

Aeromagnetometría

Para la interpretación de los datos aeromagnéticos se utilizó el mapa de campo aeromagnético reducido al polo (RP_ΔT) al cual se le aplicaron filtros matemáticos como la derivada vertical de primer orden y la derivada horizontal total, para determinar los alineamientos del área asociados a contactos litológicos o tectónicos.

Espectrometría Gamma Aérea

Para la EGA se determinaron las relaciones entre las variables espectrométricas ya que son más expresivas que los valores de las componentes espectrométricas originales para delimitar contactos litológicos. También se confeccionó el mapa ternario RGB (*red, green, blue*) para establecer unidades gamma-espectrométricas a partir de las concentraciones relativas de los radioelementos.

Base de datos de yacimientos minerales

Fue utilizada para determinar su relación con el comportamiento de los datos aerogamma-espectrométricos. A partir de todo este procesamiento se realizó un mapa de interpretación integrada con las principales unidades gamma-espectrométricas y los alineamientos cartografiados.

RESULTADOS

Gravimetría

La interpretación de los datos gravimétricos se observa en el mapa de la **Figura 3**. Los valores máximos están asociados a algunas áreas dentro de los complejos intrusivos y de las formaciones Camujiro y Piragua. Los valores mínimos se ubican en zonas de las formacio-

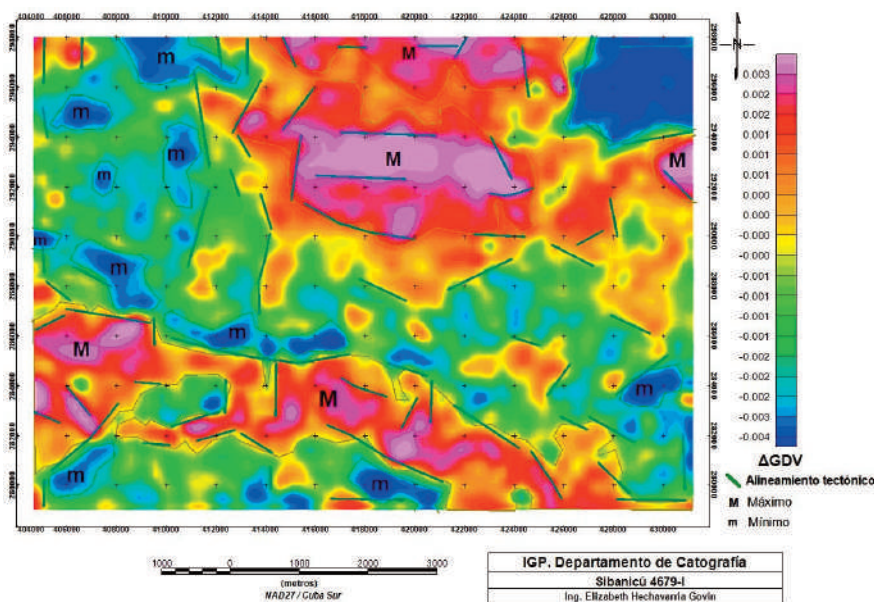


Figura 3: Interpretación geológico-estructural por datos gravimétricos.

nes Saramaguacán y Maraguán, sin embargo, en pequeñas áreas de la Formación Piragua también se encuentran bajos valores.

Aeromagnetometría

Los resultados del procesamiento e interpretación de los datos aeromagnéticos se presentan en la **Figura 4**. Los máximos están asociados a rocas de los complejos intrusivos y a las rocas del Arco Volcánico Cretácico correspondientes a las formaciones Camujiro y Piragua, mientras que los valores mínimos se asocian a rocas de las formaciones Saramaguacán y Vázquez.

Espectrometría Gamma Aérea

Las relaciones que dieron una mejor interpretación fueron eTh/K y eU/K (**Tabla 2**).

En la relación eTh/K (**Figura 5**) 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. Los valores máximos ubicados al norte son delimitados por un alineamiento que coincide en algunas zonas con los contactos litológicos de la Formación Maraguán con las formaciones Saramaguacán, Camujiro y Piragua. El alineamiento ubicado al sur no coincide con contactos litológicos, se encuentra en áreas de la Formación Piragua, esta zona pudiera ser estudiada para comprobar de manera geológica ese resultado espectrométrico.

En el mapa de relación espectrométrica eU/K (**Figura 6**) se vuelve a observar la zona de máximos ubicada al norte, delimitada por un alineamiento que coincide en algunas áreas con el contacto entre rocas de la Formación Maraguán con otras litologías. Los alineamientos que se encuentran hacia el este y sur no coinciden con contactos litológicos, se ubican en zonas de las formaciones Camujiro, Piragua y del Complejo Granodiorítico.

Datos gamma-espectrométricos	<i>X</i>	<i>σ</i>	<i>Um</i>
Intensidad gamma total	3.974	1.765	5.739
Uranio equivalente (eU)	1.719	0.605	2.324
Torio equivalente (eTh)	2.043	0.738	2.781
Potasio (K)	1.505	0.857	2.362

Tabla 2: Principales estadígrafos de los datos gamma-espectrométricos.

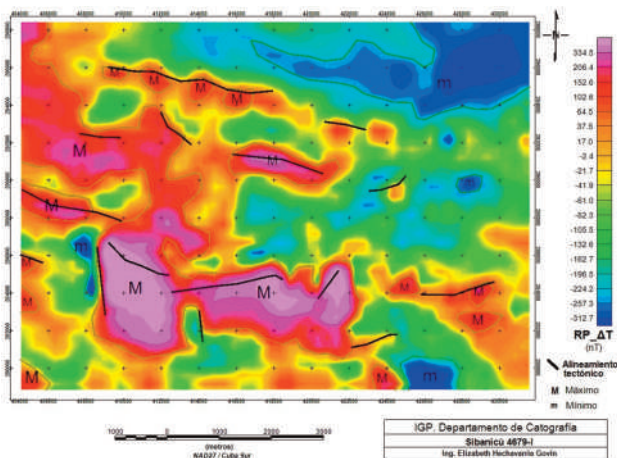


Figura 4: Interpretación geólogo-estructural por datos aeromagnéticos.

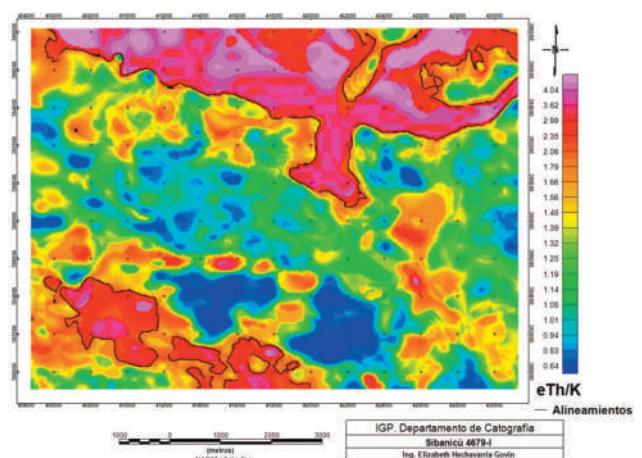


Figura 5: Mapa de relación espectrométrica eTh/K.

Yacimientos minerales y su relación con los datos gamma-espectrométricos

Los puntos de ubicación correspondientes a los yacimientos minerales presentes en el área de estudio, fueron ploteados sobre los mapas de concentración de radioelementos para analizar su vínculo (Figuras 7, 8 y 9). Como los mapas de concentración poseen un comportamiento casi similar el análisis fue realizado de forma general.

En los mapas se muestra cómo los yacimientos minerales se ubican en las áreas de valores máximos de concentración de los radioelementos, en las cuales se encuentran las rocas ígneas de los complejos intru-

sivos, y litologías de las formaciones Camujiro, Piragua, Guáimaro y Martí correspondientes al Arco Volcánico Cretácico. En esas áreas se encuentran yacimientos de tipo metálico y no metálico, donde se tienen manifestaciones y puntos de mineralización de oro en el caso de los metálicos y manifestaciones de piedra, feldspatos, arena y calcedonia, como yacimientos no metálicos.

Mapa de interpretación integrada

A partir del procesamiento e interpretación de los datos geofísicos utilizados se confeccionó un mapa de interpretación integrada (Figura 10) donde han sido

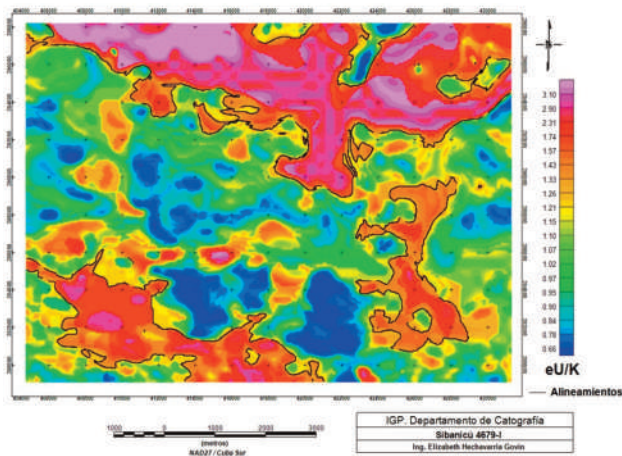


Figura 6: Mapa de relación espectrométrica eU/K.

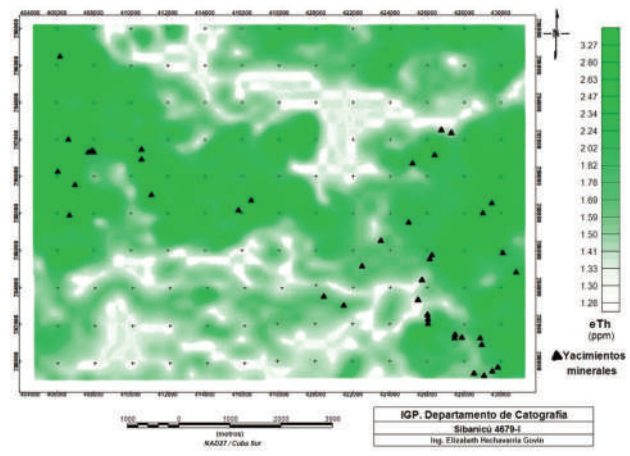


Figura 8: Mapa de concentración de torio con puntos de ubicación de yacimientos minerales.

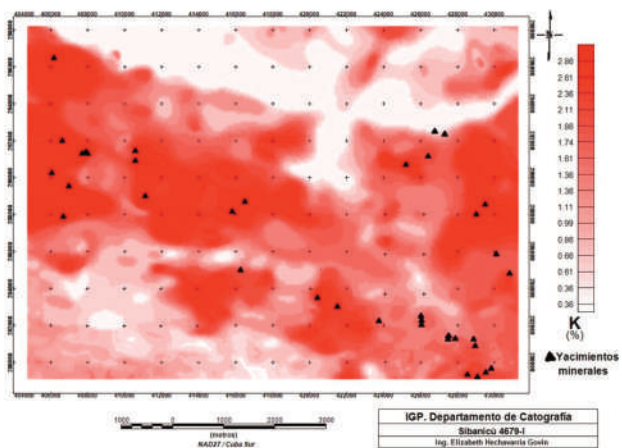


Figura 7: Mapa de contenido de potasio con puntos de ubicación de yacimientos minerales.

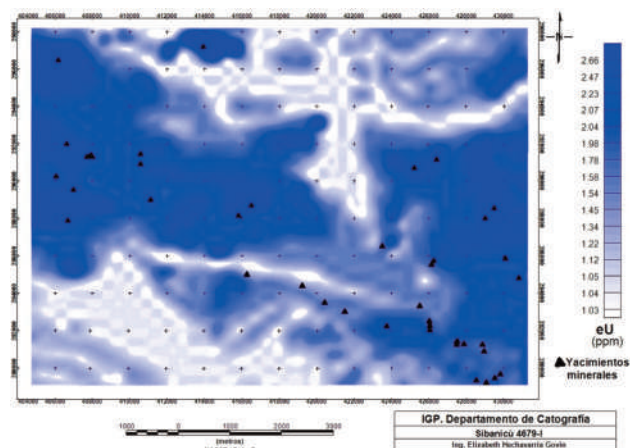


Figura 9: Mapa de concentración de uranio con puntos de ubicación de yacimientos minerales.

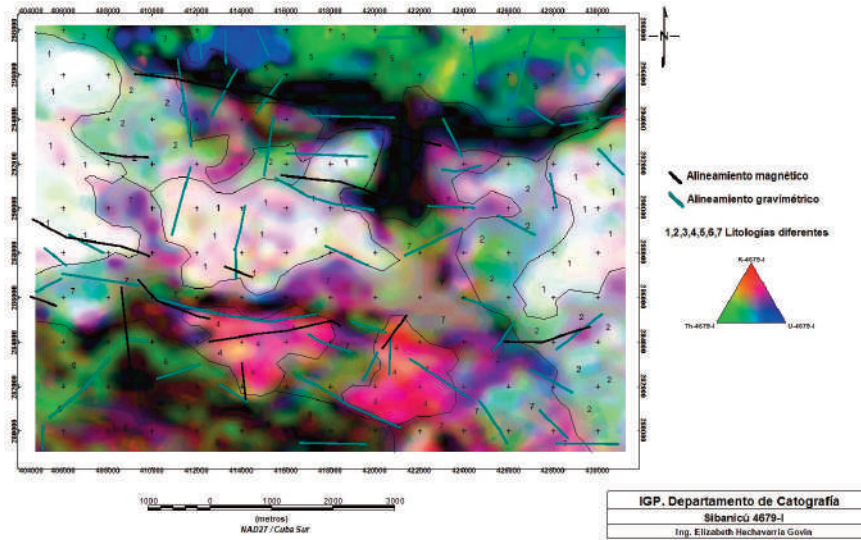


Figura 10: Mapa de interpretación integrada.

Unidades geológicas	Principales características geológicas	Principales características geofísicas
1- Complejos intrusivos y Formación La Sierra	Predominan los complejos intrusivos (Gabrosienítico y Granodiorítico) constituidos por rocas ígneas plutónicas. Además presenta rocas de la Formación La Sierra: lava y lavobrecha, fluidal, riolítica, riodacítica y dacítica, calcoalcalina con tendencias alcalina potásico.	Presenta concentración de los tres radioelementos lo que responde a las rocas ígneas de composición media y ácida presente en esas áreas. Los valores gravimétricos y magnéticos van de medios a altos.
2- Formaciones del Arco Volcánico Cretácico, Complejo Granodiorítico	Presenta rocas de las formaciones Camujiro, Piragua, Martí y La Sierra correspondientes al Arco Volcánico Cretácico. En algunas zonas se manifiesta el gabro, la gabro diorita, diorita, diorita cuarcífera, granodiorita y granito del Complejo Granodiorítico.	Se caracteriza por tener valores medios de concentración de uranio equivalente y de contenido de potasio, mientras que los valores de concentración de torio equivalente van de medios a altos. Es característico de la unidad los valores gravimétricos medios y bajos, mientras que los magnéticos son valores medios.
3- Formaciones sedimentarias, Presa	Constituida por las rocas de las formaciones Maraguán y Saramaguacán, y el contacto litológico entre ellas. Gran parte de esa unidad está cubierta por la presa.	Caracterizada por valores bajos de concentración de los tres radioelementos. Con bajos valores gravimétricos y magnéticos.
4- Formación Camujiro	Presenta rocas de la Formación Camujiro: lavobrecha, lava, clastolava, toba, toba aglomerática de composición andesítica y andesitobasáltica, con alcalinidad potásica, roca alcalina dominante y calcoalcalina, caliza arenosa y detrítica.	Presenta un alto contenido de potasio lo que responde a la alcalinidad potásica en algunas de sus rocas. Posee baja concentración de torio equivalente mientras que su concentración de uranio va de media a baja. Se caracteriza por altos valores magnéticos y gravimétricos.

<p>5- Formaciones sedimentarias</p>	<p>Ubicada al norte-noreste presenta rocas de las formaciones Saramaguacán y Vázquez.</p>	<p>Caracterizada por una alta concentración de torio equivalente y baja concentración de los otros dos radioelementos. Estos valores de Th responden a la presencia de arcillas en esas formaciones. Hacia el este se encuentra una pequeña zona con altos valores de concentración de uranio equivalente lo que responde al contenido orgánico en rocas de la formación Saramaguacán. Posee valores gravimétricos bajos, mientras que los magnéticos son valores medios.</p>
<p>6- Formaciones Piragua y Camujiro</p>	<p>Constituida por dos formaciones del Arco Volcánico Cretácico en este caso son las unidades Piragua y Camujiro.</p>	<p>Posee una baja concentración de uranio equivalente y contenido de potasio, sin embargo, presenta zonas con concentración media de torio equivalente. Se caracteriza por altos valores magnéticos y gravimétricos.</p>
<p>7- Formaciones del Arco Volcánico Cretácico</p>	<p>Conformada por las formaciones Martí, Camujiro, Guáimaro correspondientes al Arco Volcánico Cretácico constituidas por rocas ígneas.</p>	<p>Presenta valores medios de los tres radioelementos. Los valores gravimétricos y magnéticos van de medios a altos.</p>

Tabla 3: Tabla resumen con las principales características geofísicas y geológicas de las unidades cartografiadas.

trazados los principales alineamientos tectónicos que responden al cuadro geológico más superficial, así como los principales campos litológicos con expresión radioactiva (verde-naturaleza torífera-presencia de arcillas en las formaciones Saramaguacán y Vázquez, hacia el norte y presencia de rocas del Arco Volcánico Cretácico de composición intermedia a ácida, hacia el suroeste; rojo-naturaleza potásica-presencia de otra facie de magmatismo cuya naturaleza es potásica, en la Formación Camujiro y azul-naturaleza uranífera-contenido orgánico en rocas carbonatadas, en zonas de la Formación Saramaguacán y negro-ausencia de radioelementos-zona en la que se ubica la presa y áreas de la Formación Maraguán).

Con este mapa se confeccionó la **Tabla 2** con las principales características geofísicas y geológicas de esas unidades. Al referirse a valores medios, bajos

o altos es con respecto a la media de los datos gamma-espectrométricos, gravimétricos o magnéticos.

DISCUSIÓN

La interpretación geofísica 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 gravimétrica y magnética donde se reconocen límites tectónicos, presencia de rocas volcánicas, complejos intrusivos y carbonatos.
- Establecer y cartografiar la composición litológica superficial a partir de la natura-

leza radioactiva de los suelos residuales, donde se reconoce la presencia de rocas con contenidos de arcillas, con naturaleza potásica, de carbonatos con materia orgánica y de rocas volcánicas.

CONCLUSIONES

- La interpretación de los mapas de datos espectrométricos permitió determinar unidades gamma-espectrométricas con diferentes características que responden a la litología presente.
- A partir de la interpretación de los datos de los campos potenciales se definió alineamientos tectónicos de interés para la cartografía geológica.
- El análisis de los datos de yacimientos junto a los datos gamma-espectrométricos arrojó que en esta área de estudio las zonas de mínimos valores asociadas a formaciones carbonatadas presentan yacimientos no metálicos, mientras que las zonas de valores máximos con presencia de rocas intrusivas presentan yacimientos de tipo metálico o no metálico.
- El mapa de interpretación integrada se obtuvo a partir del procesamiento e interpretación de los datos geofísicos analizados y fue conformado con las unidades y los alineamientos, el mapa mostró la efectividad de los métodos geofísicos en la cartografía geológica que aportan información sobre la constitución geológica del terreno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Báez, R.**, 2019, Contribución de los métodos geofísicos, espaciales y la minería de datos a la cartografía geológica del sector Vidot-Camagüey: La Habana, Cuba, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Tesis en opción al grado de Ingeniero Geofísico, 73 pp.
- Batista, J.C.**, 2017, Interpretación geofísica integrada para identificar el control estructural metalogénico de la zona favorable aurífera La Unión-La Botija, provincias Camagüey-Las Tunas, Cuba: La Habana, Cuba, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Tesis en opción al grado de Ingeniero Geofísico.
- Carrino, T.A., Filho, C.S., Leite, E.P.**, 2007, Avaliação do uso de dados aerogeofísicos para mapeamento geológico e prospecção mineral em terrenos intemperizados: o exemplo de Serra Leste, provincia mineral de Carajás: Revista Brasileira de Geofísica, 25 (3), 307-320.
- Colectivo de autores**, 2010, Mapa Geológico Digital de Cuba, escala 1:100000, Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico de Cuba, La Habana, Cuba.
- Colectivo de autores**, 2015, Base de datos de los yacimientos minerales de Camagüey, Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico de Cuba, La Habana, Cuba.
- Duval, J.S.**, 1983, Composite color images of aerial gamma-ray spectrometric data: Geophysics, 48, 722-735.
- Mero, J.L.**, 1960, Uses of the Gamma-Ray Spectrometer in Mineral Exploration: Geophysics, XXV (5), 1054-1076.
- Mondelo, F., Sánchez, R., et. al.**, 2011, Mapas geofísicos regionales de gravimetría, magnetometría, intensidad y espectrometría gamma de la República de Cuba, 1: 2 000 000 hasta 1: 50 000, La Habana, Cuba.
- Pardo, M.E., Bello, V., Amador, H., Taba, S., Soussin, O., Matamoros I., Moya I.D.**, 1989, Interpretación de los datos geofísicos con fines de la cartografía geólogo-estructural de la República de Cuba, Instituto de Geología y Paleontología, La Habana.
- Pujalte, E.**, 2010, Introducción a la Teledetección. Diplomado Evaluación de Riesgo, Ecológicos y Climáticos e Impacto Ambiental, La Habana.
- Russell, W.L., Steinhoff, R.O.**, 1961, Radioactivity

of Volcanic Sediments in Brazos County, Texas. *Geophysics*, XXVI (5), 618-625.

Serrano, K., 2015, Cartografía geólogo-estructural del área de Rodas-Fomento en Cuba Central a partir de datos geofísicos: La Habana, Cuba, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Tesis en opción al grado de Ingeniero Geofísico.

Shives, R.B., Charbonneau, B.W., Ford, K.L., 2000,

The detection of potassic alteration by gamma-ray spectrometry. Recognition of alteration related to mineralization: *Geophysics*, 65 (6), 2001–2011.

Sousa, C., Lacerda, M., 2009, A importância da aerogeofísica de alta resolução no mapeamento geológico: exemplo Domínio Erepecuru-Trombetas noroeste do estado do Pará: Sociedade Brasileira de Geofísica.

