



Nuevas características geológicas de la región nororiental de Cuba según datos aerogeofísicos complejos

José Alberto Batista Rodríguez. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Cuba.

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper were reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction, or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of The Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

In the Mayarí-Sagua-Moa region has been carried out diverse geophysical survey dedicated to the chromium search and in smaller degree of Fe-Ni-Co laterites, without deepening in the geologic and structural characteristics.

The data used in this work belong to airborne geophysical survey complex of eastern Cuba, carried out to scale 1:50 000, which includes airborne magnetic and radiometric information data. The same ones are used with the objective of revealing new geologic characteristic in the Mayarí-Sagua-Moa territory, with which gets rich the geologic knowledge of the territory and they are guided with more efficiency the prospecting works.

Starting from the geologist-geophysical interpretation of the airborne geophysical survey you concluded that the Fe-Ni-Co laterites areas are defined with the help of the concentrations of U y Th, and the values of the relationships calculated among these elements, with that which intend new areas perspectives for the development of these crust. The concentrations of these elements allow establishing bigger development, degree of maturity, thickness and time of formation for the laterites of Moa compared with those of Mayarí. In a general way the hydrothermal alterations in the volcanosedimentary and igneous rocks they are defined starting from the high concentrations of K and the high values of the relationship $K.eU/eTh$, as well as the first floor values of the relationships eTh/K and eU/K , and of the intensities of the magnetic field.

The main reported tectonic deformations and other not yet described, in the ofiolites and associate rocks, they are evidenced starting from the behavior of the magnetic field. This behavior combined with the airborne gamma-ray spectrometry characteristic allows defining the areas with prevalence in surface and depth of serpentinized rocks, as well as the variations of the thickness of these rocks, of the two fundamental levels of the ofiolites cut and in occasions of the volcanosedimentary rocks. With the airborne gamma-ray spectrometry characteristic variations can settle down in the weathering degree, clay and in the organic contained.

With the results of the investigation new geologic characteristic were revealed that contribute new elements to the geologist-structural knowledge of the region, with which can be guided with more efficiency the works of prospecting of minerals and to evaluate the potentialities to locate Fe-Ni-Co laterites, chromitites and beautiful metals associated to hydrothermal processes.

Introduction

En las últimas décadas los datos aerogeofísicos han adquirido gran importancia durante la cartografía geológica, y la prospección de yacimientos minerales, motivado por su alcance y por su costo relativamente bajo. Particularmente los datos aerogamma espectrométricos y aeromagnéticos han sido utilizados con mucha frecuencia para estos fines (Chang y otros, 1991; Shives, 1997; Batista, 1998; Gunn y otros, 1998). La región Mayarí-Sagua-Moa (Figura 1) está cubierta por diversos levantamientos geofísicos destinados fundamentalmente a la búsqueda de cromo y lateritas ferroniquelíferas, sin embargo dicha información no ha sido utilizada eficientemente para profundizar en las características geológicas de esta región. Por tal motivo en este trabajo los datos aerogamma espectrométricos y aeromagnéticos pertenecientes al levantamiento aerogeofísico complejo de Cuba Oriental, realizado a escala 1:50 000 (Chang y otros, 1991), se utilizan con el objetivo de revelar nuevas características regularidades geológicas y geofísicas en el territorio Mayarí-Sagua-Moa, con las cuales se enriquece el conocimiento geológico del territorio y se orientan con mayor eficiencia los trabajos de prospección.

Materiales y métodos utilizados

Los datos aerogeofísicos utilizados en esta investigación, se midieron en líneas de vuelo de direcciones norte-sur, separadas cada 500 m y una altura media de 70 m. Estos datos están conformados por los canales de K (%), U (ppm), Th (ppm), la intensidad total ($\mu R/h$) y el campo magnético (ΔT) (nT).

La información utilizada también incluyó mapas geológicos y topográficos de la región a distintas escalas, así como datos de trabajos geoquímicos y petrológicos. El procesamiento e interpretación de la información se realizó en cuatro etapas. En la primera etapa toda la información disponible se llevó a formato digital; en la segunda, se calcularon diferentes relaciones entre los datos aerogamma espectrométricos: eU/eTh ; eU/K , eTh/K y F: $K.eU/eTh$ y se llevó a cabo un análisis estadístico de dicha información y la magnética. En la tercera etapa se realizaron transformaciones del campo magnético (reducción al polo, cálculos de gradientes, y

continuación analítica ascendente). En la cuarta y última etapa, se realizó la interpretación geólogo-geofísica.

El análisis estadístico se realizó en tres partes. En la primera, se hizo un análisis general para toda la información aerogeofísica; en la segunda, se realizó este análisis para cada formación y rocas ofiolíticas y por último, para cada una de las áreas de afloramientos de las formaciones y rocas mencionadas.

Características geológicas

Geológicamente el área se caracteriza por la presencia de las secuencias del cinturón plegado cubano y las rocas del "neoaotótono" (Figura 1). En ella afloran fundamentalmente unidades oceánicas correspondientes a las ofiolitas septentrionales, y a los arcos de islas volcánicas del Cretácico y del Paleógeno (Iturralde-Vinent, 1996). Las ofiolitas están representadas por rocas ultrabásicas serpentinizadas, constituidas predominantemente por harzburgitas y subordinadamente dunitas, lherzolitas y piroxenitas. Las rocas básicas están representadas por gabro olivínico, gabro-noritas, anortositas y gabros normales (Quintas, 1989). Las secuencias del arco de islas volcánicas del Cretácico están representadas por las rocas de la Fm. Santo Domingo y Téneme constituidas por tobas, lavas y aglomerados, apareciendo pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas (Iturralde-Vinent, 1996). Las secuencias olistostromáticas de las formaciones La Picota y parte de la Fm. Mícara, son las representantes de los eventos de la colisión y obducción en límite del K/T (Quintas, 1989). Las rocas volcánicas del Paleógeno está representadas por la Fm. Sabaneta constituida por rocas volcanosedimentarias frecuentemente zeolitizadas o montmorillonitizadas (Iturralde-Vinent, 1996). Las secuencias del Eoceno Superior, están compuestas en lo fundamental por areniscas, aleurolitas y margas bien estratificadas con intercalaciones de conglomerados. En la base se localizan olistostromas de bloques de serpentinitas muy alteradas y diabasas (Quintas, 1989). Las rocas del "neoaotótono" constituyen una secuencia terrígeno-carbonatada que aflora en las cercanías de las costas (Quintas, 1989).

Desde el punto vista tectónico en la región están presente estructuras plicativas y disyuntivas, agrupadas fundamentalmente en sistemas de dirección NW-SE y NE-SW (Campo, 1983; Rodríguez, 1998).

Descripción e interpretación de mapas aerogamma espectrométricos

Las principales áreas de desarrollo de lateritas sobre rocas ultrabásicas serpentinizadas, se delimitan con las isolíneas de 2 ppm de contenido de eU y eTh, 1×10^{-3} de eTh/K y 5×10^{-4} de eU/K. Estos contenidos y relaciones también sugieren la presencia de cortezas lateríticas en áreas no reportadas anteriormente.

Los mayores contenidos de eU y eTh están relacionados con los principales yacimientos de lateritas

ferroniquelíferas de la región, es decir, Moa, Punta Gorda y Pinares de Mayarí.

La mayor parte de los afloramientos de rocas volcanosedimentarias se delimitan con contenidos de K iguales o superiores a 0.4 %. Generalmente contenidos inferiores caracterizan las áreas de desarrollo de los niveles de tectonitas y de gabros dentro de la secuencia ofiolítica, así como los afloramientos de rocas sedimentarias y metamórficas.

En los afloramientos de la Fm. Santo Domingo ubicados al sur de Sagua de Tánamo, se registran los máximos contenidos de K (2.75 %), en una zona anómala que posee forma alargada en la dirección de los principales sistemas de fallas allí presentes, señalando la presencia de procesos de alteraciones hidrotermales (Rodríguez-Vega, 1998).

Dentro de las ofiolitas se observan algunas áreas con contenidos K > 0.4 %, vinculadas espacialmente con sistemas de fallas, lo que hace considerarlas como posibles zonas de alteraciones hidrotermales.

Bajos valores de eTh/K y eU/K, y altos valores de K.eU/eTh (F) se observan en afloramientos de gabros y peridotitas serpentinizadas, relacionadas con sistemas de fallas, sugiriendo la presencia de procesos hidrotermales, lo cual corrobora que es posible utilizar estas relaciones para delimitar áreas hidrotermalmente alteradas con altos contenidos de K, tal y como ha sido reportado en trabajos realizados en esta región (Batista y Ramayo, 2000) y en otras partes del mundo (Shives y otros, 1997).

Los principales resultados de los datos aerogamma espectrométricos se muestran en la figura 2.

Análisis de los resultados del tratamiento estadístico de los datos aerogeofísicos

A partir de las características geológicas de la región y su importancia económica se realiza el análisis estadístico y la interpretación aerogeofísica en los sectores: Mayarí y Sagua-Moa, donde a cada una de las formaciones y niveles de la Asociación Ofiolítica presentes en ellos, se le analizó el comportamiento de los parámetros aerogeofísicos.

El análisis estadístico arrojó como resultados que las rocas más radiactivas se localizan en el sector Sagua-Moa. La formación sedimentaria de mayor radiactividad es la Fm. Jaimanita, en las rocas volcanosedimentarias la Fm. Sabaneta, y en las ígneas las serpentinitas sobre las cuales se han desarrollado cortezas lateríticas, todas ellas con mayor radiactividad en los afloramientos del sector Sagua-Moa.

Las formaciones que afloran en ambos sectores poseen un comportamiento radiométrico diferente, evidenciando diferencias en su grado de acidez, meteorización, arcillosidad y contenidos organógenos, así como la existencia de cortezas lateríticas redepositadas sobre formaciones sedimentarias, el predominio en superficie y profundidad de material volcánico o serpentinitico para

las formaciones Mícara y La Picota. En las formaciones volcanosedimentarias también se evidencian variaciones en la ubicación en el corte, espesor y tipo de basamento de las rocas que conforman las mismas.

A partir del análisis de los factores calculados para las distintas formaciones y rocas de ambos sectores se muestran las variaciones laterales de los fenómenos citados. En las rocas ultrabásicas serpentinizadas se delimitan nuevas zonas con características radiométricas similares a las áreas de desarrollo de lateritas, las cuales no aparecen recogidas en el mapa geológico tomado como referencia. Estos factores también ponen de manifiesto la presencia de alteraciones hidrotermales fundamentalmente en las formaciones volcanosedimentarias y las ofiolitas.

Interpretación de datos aeromagnéticos

Mapa de ΔT reducido al polo (ΔT_{rp})

En la región de estudio las rocas ofiolíticas poseen los mayores valores de susceptibilidad magnética. Por lo tanto el comportamiento del campo magnético está ligado fundamentalmente con las características geológicas y estructurales de estas rocas y en menor grado con las volcanosedimentarias (Batista, 1998; Batista y Rodríguez, 2000).

La mayoría de las anomalías con altas intensidades positivas y negativas coinciden con afloramientos de peridotitas serpentinizadas. Estas anomalías negativas se relacionan con estructuras disyuntivas, sugiriendo que las mismas se deben a la disminución de la magnetización a través de esas estructuras o por la existencia en profundidad de rocas con menor magnetización. Las altas intensidades positivas del campo magnético evidencian grandes profundidades de las rocas altamente magnéticas, y en el caso de las peridotitas serpentinizadas estas intensidades deben aumentar en la medida que se incrementa el grado de serpentización de las mismas (Batista, 1998; Gunn y otros, 1998; Batista y Rodríguez, 2000).

En muchas zonas donde no afloran rocas ofiolíticas se registran valores positivos del campo magnético y en ocasiones con altas intensidades, evidenciando la presencia en profundidad de las mismas, sobre todo de rocas ultrabásicas (Batista, 1998; Batista y Rodríguez, 2000), por tanto, es posible delimitar la extensión lateral de estas rocas en aquellos lugares donde no afloran.

Las altas intensidades negativas del campo magnético sobre rocas ultrabásicas sugieren pocos espesores para las mismas, yaciendo sobre rocas volcanosedimentarias, sedimentarias o quizás rocas más ácidas no reportadas hasta el momento (Campo, 1983; Chang y otros, 1991; Batista, 1998; Batista y Rodríguez, 2000). De forma general se puede concluir que en las áreas con valores negativos donde no afloran rocas ultrabásicas, estas no se extienden lateralmente o por lo menos no poseen un espesor capaz de reflejarse en dicho campo, por lo que en estas áreas alcanzan sus mayores espesores las rocas volcanosedimentarias y sedimentarias, sin descartar la posibilidad de que en profundidad estén

presentes rocas carbonatadas del paleomargen de Bahamas, según ha sido reportado en otras regiones de Cuba por Iturralde-Vinent (1996).

Dentro de las rocas ofiolíticas también se establecen las variaciones en los espesores de los niveles fundamentales del corte ofiolítico presente en la región de estudio (cumulativo y de tectonitas) (Iturralde, 1996), lo cual es muy importante durante la prospección de yacimientos de cromititas, al considerar que estos depósitos suelen estar encajados en dunitas y harzburgitas en la parte superior de las tectonitas basales de las secuencias ofiolíticas, incluyendo la denominada zona de transición (Proenza, 1997).

En las rocas sedimentarias y volcanosedimentarias aflorantes los valores negativos son un reflejo de su gran espesor y con ello de la ausencia en profundidad de rocas serpentiniticas. Por otro lado valores positivos del campo en afloramientos de rocas volcanosedimentarias cretácicas indican pequeños espesores yacentes sobre rocas ultrabásicas, evidenciando el carácter alóctono de las mismas.

En las diferentes áreas en las que se reportan alteraciones hidrotermales (Rodríguez-Vega, 1998; Batista y Ramayo, 2000) el campo magnético posee intensidades negativas menores de -25 nT y anomalías alineadas, relacionadas con sistemas de fallas, evidenciando que es posible a partir del comportamiento del campo magnético, proponer nuevas zonas hidrotermales. La delimitación de esas áreas es muy importante porque a ellas se pueden asociar mineralizaciones secundarias ricas en metales preciosos. También su delimitación en los yacimientos lateríticos permite orientar los trabajos de explotación minera tomando en cuenta el gran perjuicio que causa al proceso metalúrgico la presencia de material silíceo en las lateritas.

Mapas de relieve sombreado de ΔT_{rp} y sus gradientes horizontales

En los mapas de contorno y de relieve de ΔT_{rp} y de los gradientes horizontales, están presente anomalías alargadas y zonas anómalas con dirección NE y NW, las cuales en la mayoría de los casos están relacionadas con los principales sistemas de fallas presentes en la región (Campo, 1983; Rodríguez, 1998). Los altos gradientes que se aprecian en zonas de cambio de polaridad del campo, evidencian contactos abruptos entre los cuerpos geológicos. Las zonas alineadas que presentan valores positivos del campo son indicadoras de un incremento de la magnetización, provocado en el caso de las rocas ultrabásicas, por un aumento de la serpentización (Chang y otros, 1991; Batista, 1998; Batista y Rodríguez, 2000).

Algunas de las zonas anómalas observadas no coinciden con los sistemas de fallas reportados en la región, pero no se descarta la posibilidad de que estén relacionadas con estructuras tectónicas no descritas hasta el momento, por el hecho de que sean estructuras profundas sin reflejo apreciable en superficie o estructuras antiguas pasivas, teniendo en cuenta que

tales estructuras evolucionan en el tiempo y la profundidad.

Las características de los mapas analizados aportan elementos a considerar durante el esclarecimiento del carácter supuesto o probado de las estructuras disyuntivas.

Mapas de Continuación Analítica Ascendente (CAA) de ΔTrp

El mapa de ΔTrp se recalculó para diferentes niveles en el semiespacio superior (Continuación Analítica Ascendente). Inicialmente las variaciones más importantes se producen para las alturas de 250, 500 y 750 m, en las cuales se atenúan las señales de gran parte de las pequeñas anomalías, indicando el carácter relativamente somero y la poca dimensión de los cuerpos que las producen.

Las otras variaciones se manifiestan en el intervalo 1500-1800 m y el de 2200 a 4000 m, indicando que gran parte de los cuerpos de peridotitas se extienden hasta profundidades comprendidas por lo menos en este último intervalo o que los mismos poseen un basamento metamórfico rico en minerales magnético, lo cual se ha puesto de manifiesto en otras regiones del mundo.

Interpretación aeromagnética cuantitativa

Durante la modelación de los datos magnético se utilizó el software Geomodel 1.3 de modelación 2.5 D, considerando que los cuerpos geológicos están magnetizados según la dirección del campo magnético actual. Además se emplearon los siguientes parámetros del campo magnético: $I = 90^\circ$, $D = 5.25^\circ$ y $T_0 = 43500$ nT.

El modelaje interactivo permitió arribar a las siguientes conclusiones:

- Las anomalías magnéticas positivas presentes en cada uno de los perfiles de interpretación se producen por rocas ultrabásicas, fundamentalmente harzburgitas serpentinizadas. Las anomalías magnéticas negativas se deben al poco espesor de las rocas ultrabásicas aflorantes y a la presencia en superficie y profundidad de rocas sedimentarias, volcanosedimentarias y cuerpos de gabros.
- Los cuerpos magnéticos causantes de las anomalías observadas en los perfiles de interpretación, poseen profundidades que oscilan entre 0-3 Km.

Los principales resultados de la interpretación de los datos aeromagnéticos se muestran en la figura 3.

Conclusiones

Como resultado de la interpretación geólogo-geofísica en el territorio se revelan nuevas características geológicas con las cuales se enriquece el conocimiento geológico de esta región y se orientan con mayor eficiencia los trabajos de prospección.

Las principales áreas de desarrollo de lateritas ferroniquelíferas, se delimitan con valores de 2 ppm de Th y U, 1×10^{-3} de eTh/K y 5×10^{-4} de eU/K. Con los

mismos también se delimitan zonas de lateritas no reportadas anteriormente.

Las altas concentraciones de K en conjunto con altos valores de F y bajos de eTh/K y eU/K, relacionados con sistemas de fallas que cortan rocas volcanosedimentarias e ígneas, revelan la presencia de procesos hidrotermales.

Con ayuda de los mapas de factores calculados se muestran las variaciones laterales de las características geológicas de las diferentes formaciones y rocas (meteorización, arcillosidad, contenidos organógeno, predominio en superficie y profundidad de material volcánico o serpentinitico, espesor, tipo de basamento, acidez, ubicación en el corte, alteraciones hidrotermales).

Con el comportamiento del campo magnético y en ocasiones combinado con las características aerogamma espectrométricas, se delimitaron las zonas con predominio en superficie y profundidad de rocas serpentinizadas y por ende las variaciones de los espesores de los diferentes litologías y los dos niveles fundamentales del corte ofiolítico. También se definió el basamento de las rocas aflorantes y se delimitaron las zonas donde las rocas volcanosedimentarias cretácicas no yacen sobre peridotitas serpentinizadas. Finalmente se delimitaron zonas de probables alteraciones hidrotermales, lo cual orienta los trabajos de prospección de metales preciosos y de explotación en los yacimientos lateríticos. El modelaje interactivo de los datos magnéticos corrobora gran parte de los aspectos mencionados durante la interpretación cualitativa y sugiere que las rocas ultrabásicas poseen profundidades de hasta 3 Km.

Agradecimientos

A la dirección del Instituto de Geología y Paleontología de Cuba, particularmente al Departamento de Geofísica, por facilitar los datos aerogeofísicos utilizados en este trabajo. A los doctores Alina Rodríguez, Jesús Blanco y Antonio Rodríguez, por las sugerencias que permitieron enriquecer el trabajo.

Referencias

- Batista, J. (1998): Caracterización geológica y estructural de la región de Moa a partir de la interpretación del levantamiento aeromagnético 1:50 000. [Tesis de maestría], ISMM de Moa, ICT, 80 p.
- Batista, J. y L. Ramayo. (2000): Características aerogamma espectrométricas de las zonas de alteraciones hidrotermales de la región de Moa (Cuba oriental). En: V Congreso de Mineralogía y Metalogenia. Argentina (La Plata), 424-431.
- Batista, J. y A. Rodríguez (2000): Particularidades geológicas del complejo ofiolítico de Moa a partir de los datos aeromagnéticos 1:50 000. *Minería y Geología*, XVII(1), 17-25.
- Campo, M. (1983): Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de Holguín y Guantánamo. *Minería y Geología*, 2, 51-76.

Chang, J.L., L. Corbea, F. Prieto, J. Hernández, G. Brito. (1991): Informe sobre los resultados del levantamiento aerogeofísico complejo en el territorio de las provincias Guantánamo y Holguín (Sector Guantánamo sur). O.N.R.M., 260p.

Gunn, P., T., Mackey, y T., Meixner. (1998): Magnetic, radiometric and gravity signatures of localities of epithermal gold deposits in Fiji. X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de geología económica. Simposio: Geofísica aérea y geoquímica en la prospección geológica-minera, 43-52.

Iturralde-Vinent, M.A. (1996): Geología de las ofiolitas de Cuba. Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP project 364. Special contribution n.1, 83-120.

Proenza F.J., (1997): Mineralización de cromita en la faja ofiolítica Mayarí – Baracoa (Cuba). Ejemplo del yacimiento Mercedita. [Tesis Doctoral]. ISMM de Moa, ICT, 227p.

Quintas, F., (1989): Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. [Tesis doctoral]. ISMM de Moa, ICT, 161p.

Rodríguez, I.A. (1998): Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgo de génesis tectónica. [Tesis doctoral]. ISMM de Moa, ICT, 124p.

Rodríguez-Vega, A. (1998): Epitermalismo en la región de Sagua-Moa-Baracoa. Conferencia Internacional de Aprovechamiento Racional de los Recursos Minerales. Libro de resúmenes CINAREM 98, 12.

Shives, R.B.K., B.W., Charbonneau, K.L., Ford. (1997): The detection of potassic alteration by gamma-ray spectrometry -recognition of alteration related to mineralization. In: A.G. Gubins (Ed.), Geophysics and Geochemistry at the Millenium, Proceedings of Exploration '97: Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration, 741-752.

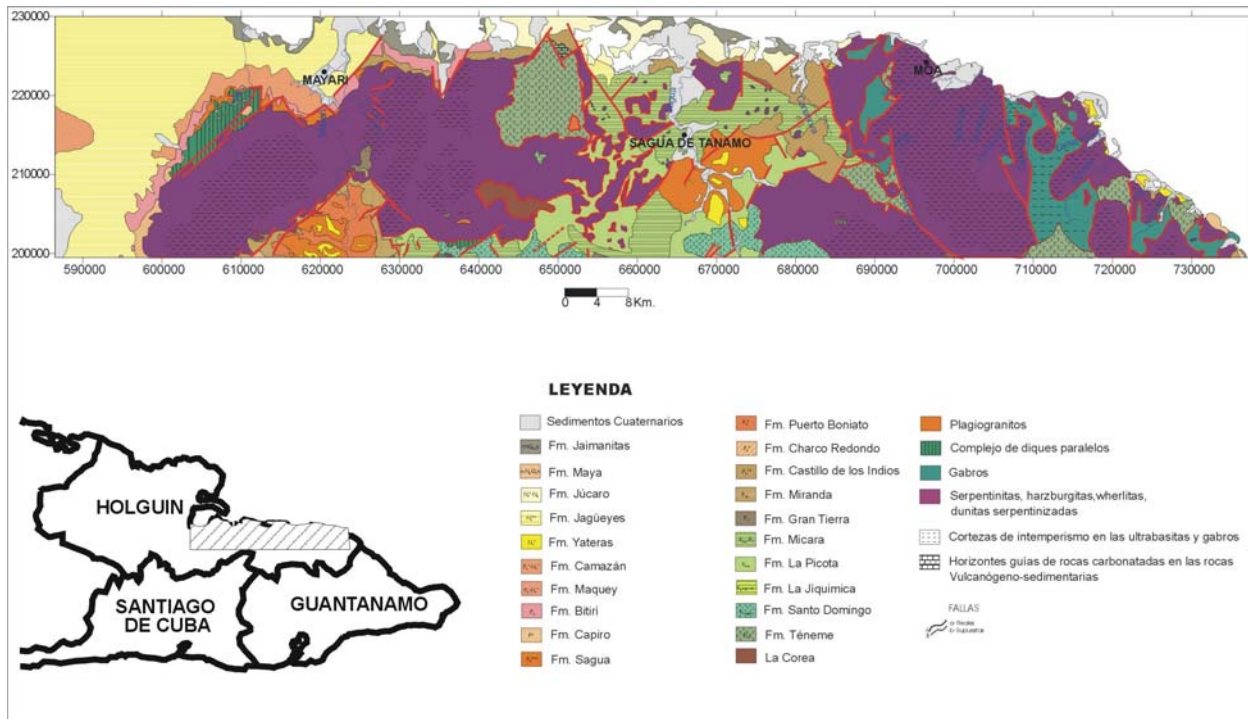


Figura 1- Mapa geológico de la región Mayarí-Sagua-Moa.

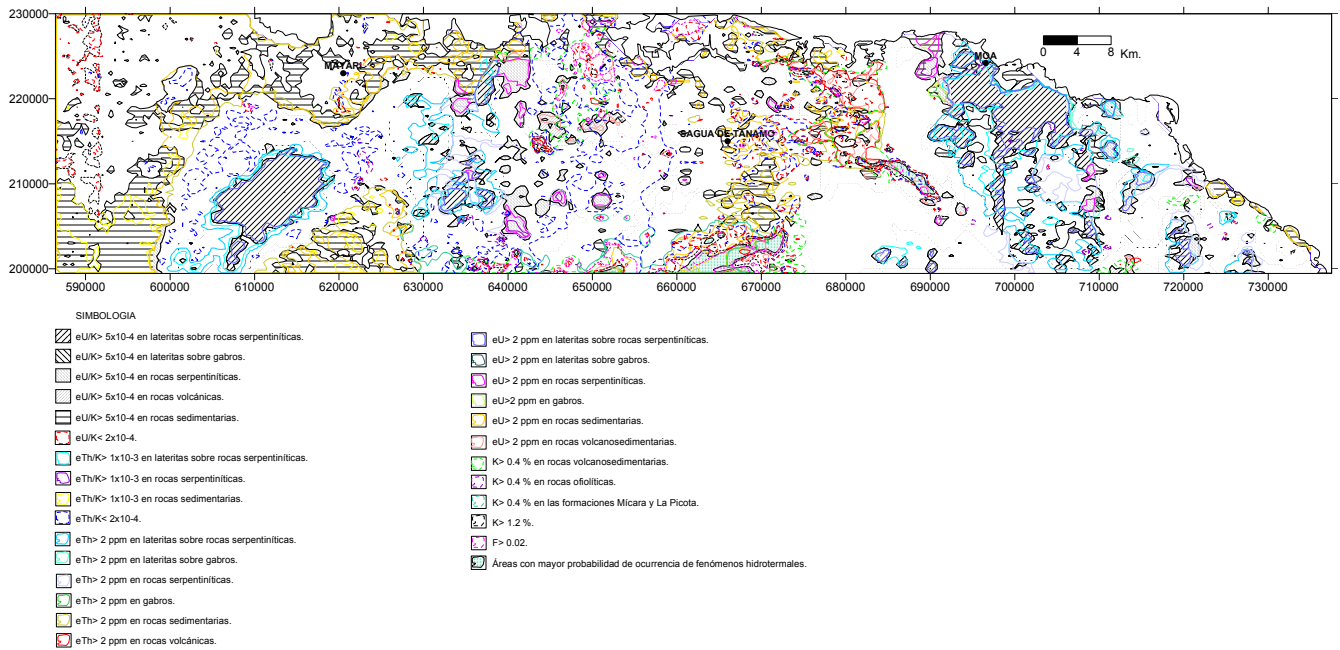


Figura 2- Esquema de interpretación combinada de los datos aerogamma espectrométricos de la región Mayarí-Sagua-Moa.

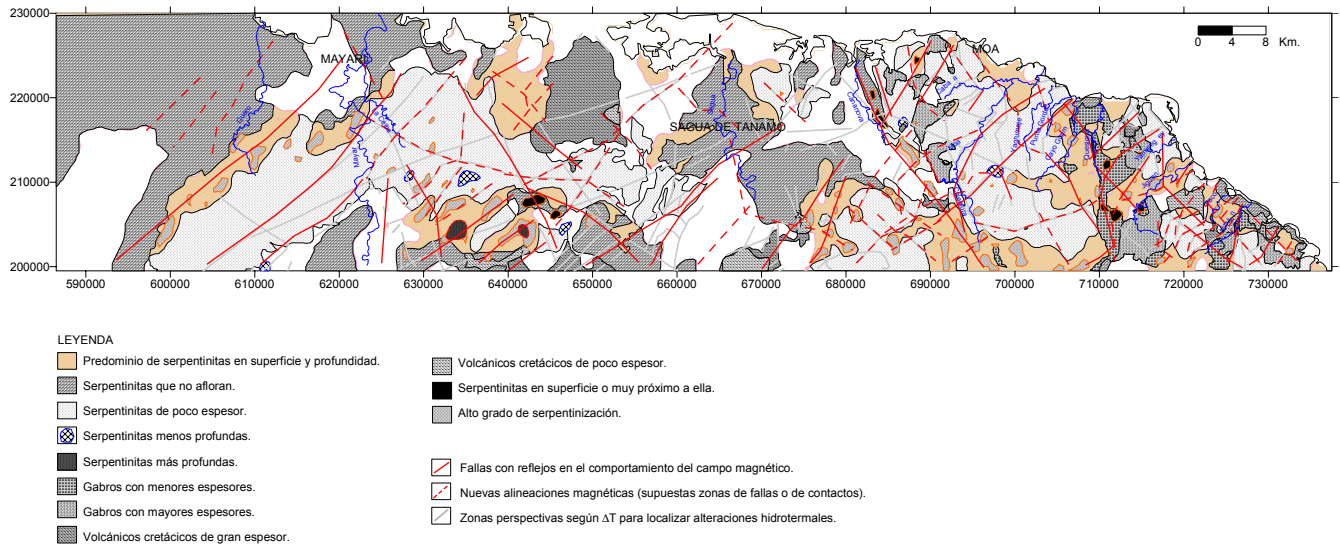


Figura 3- Esquema de interpretación de los datos aeromagnéticos.