

**SIGNIFICADO GEOLÓGICO DE LAS ANOMALÍAS GEOFÍSICAS
DEL SUROESTE DEL MACIZO OFIOLÍTICO MOA-BARACOA
(CUBA ORIENTAL)**

Geologic meaning of the geophysical anomalies of the southwest of the Moa-Baracoa ophiolitic massif (eastern Cuba)

José A. BATISTA-RODRIGUEZ¹, Rafael CHARCHABAL-REYES², Eduardo TERRERO-MATOS³

(1) Departamento de Geología. ISMM email: jabatista@ismm.edu.cu

RESUMEN- A partir del procesamiento e interpretación de la información geofísica y geológica del suroeste del macizo ofiolítico Moa-Baracoa, se delimitaron nuevas áreas de desarrollo de lateritas Fe+Ni+Co, y de otros tipos de rocas, se esclarecieron aspectos relacionados con los procesos que tienen lugar en los diferentes tipos de rocas, tales como grado de meteorización, arcillosidad, contenido organógeno y acidez. También se evidenciaron las principales deformaciones tectónicas en las ofiolitas y rocas asociadas, algunas de ellas ya reportadas y otras propuestas en esta investigación, las cuales deben ser objetos de estudio en futuras investigaciones en el territorio. Con la combinación del comportamiento del campo magnético y las características aerogamma espectrométricas, se delimitaron zonas con predominio en superficie y en la profundidad de rocas serpentinizadas y por ende las variaciones de espesores de las mismas y de los dos niveles fundamentales del corte ofiolítico en esta región. También se definió el basamento de las rocas que afloran.

Palabras clave: Espectrometría aerogamma, Cuba oriental, lateritas Fe+Ni+Co, ofiolitas.

ABSTRACT- From the processing and interpretation of the geophysical and geological information of the south-west of the Moa-Baracoa ophiolitic massif, there were delimited new areas of development of Fe+Ni+Co laterites, and of other types of rocks. In addition, there were clarified aspects related to the processes that take place in the different types of rocks, such as grade of weathering, clay, acidity and organic contents. Also the tectonic deformations principal were demonstrated in the ophiolites and associate rocks, some of them already brought and other proposals in this investigation, which must be objects of study in future investigations in the territory. With the combination of the behavior of the magnetic field and the airborne spectrometric characteristics, zones delimited with predominance in surface and in the depth serpentitized rocks, as well as the changes of thicknesses of the same ones and of two fundamental levels of the ophiolitic cut in this region. In addition, there was defined the basement of the rocks that outcropping.

Key words: Airborne spectrometry, eastern Cuba, Fe+Ni+Co laterites, ophiolites

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los levantamientos magnéticos terrestres apoyados con los aerogamma espectrométricos constituyen una herramienta muy importante en la cartografía geológica y la prospección de yacimientos minerales, por las ventajas que ofrecen cuando se investigan regiones con conocimientos geológicos insuficientes, y cuando se necesitan conocer la distribución de las rocas que se encuentran bajo la cubierta sedimentaria, lo cual es muy útil para localizar cuerpos minerales.

En el área que abarca la presente investigación el 85 % de las rocas que afloran pertenecen a la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa y el 10.12 % a los arcos de islas volcánicas del Cretácico y el Paleógeno, cubiertas las primeras en gran medida por potentes cortezas lateríticas (Cobiella, 2000; Iturralde-Vinent, 1996a, 1996b, 1996c, 1998; Lavaut, 1998). Alrededor del 5 % de la cubierta sedimentaria que afloran yacen sobre las rocas antes mencionadas (Batista y Rodríguez, 2000).

En esta área se han realizado diversas investigaciones geofísicas, que incluyen levantamientos geofísicos aéreos complejos, conformados por datos aerogamma espectrométricos y aeromagnéticos (Chang et al., 1990, 1991), y un levantamiento magnético terrestre (Zamashikov y Tabachkov, 1971). Tales investigaciones se han dirigido a la prospección de cromitas y lateritas Fe+Ni+Co, sin profundizar en las características geológicas y estructurales de dicha área, aspecto imprescindible para una correcta orientación de los trabajos de prospección.

Por las razones antes mencionadas en la presente investigación se realiza el procesamiento e interpretación de los datos magnéticos terrestres y aerogamma espectrométricos del extremo SW del macizo ofiolítico Moa-Baracoa, con el objetivo de revelar nuevas características geológicas y estructurales, que enriquezcan el conocimiento geológico del territorio y permitan orientar con mayor eficiencia los trabajos de prospección. Para ello, la información geológica y geofísica se llevó a formato digital con ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG), luego se calcularon diferentes transformaciones del campo magnético (gradientes horizontales y Continuación Analítica Ascendente) y se realizó la interpretación de los mapas generados al respecto, así como los aerogamma espectrométricos. Posteriormente a los datos aerogamma espectrométricos se le realizó un tratamiento estadístico descriptivo y multivariado. La interpretación de ambos conjuntos de datos aportó nuevos elementos sobre las características geológicas y estructurales de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos magnéticos utilizados pertenecen al levantamiento magnético terrestres 1:50 000 del extremo SW del macizo ofiolítico Moa-Baracoa (Zamashikov y Tabachkov, 1971), mientras que los datos aerogamma espectrométricos fueron tomados del levantamiento aerogeofísico complejo 1:50 000 de Cuba oriental (Chang et al., 1990, 1991).

Primeramente toda la información disponible se llevó a formato digital, con ayuda del sistema de información geográfica MapInfo 6.5 y se procesó la información geofísica, según el siguiente orden: transformaciones del campo magnético, delimitación del comportamiento de las concentraciones de eU, eTh, K y I \square total en cada una de las formaciones geológicas y rocas ofiolíticas, tratamiento estadístico para cada formación y tipo de roca de forma general y en áreas de afloramientos particulares. Por último se realizó la interpretación combinada de la información geológica y geofísica.

Como transformaciones del campo magnético se realizó la Continuación Analítica Ascendente (CAA) y el cálculo de gradientes (horizontales y verticales). La CAA se calculó inicialmente para las alturas de recalculo de 250, 500, 750, 1 000 y 1 250 m, teniendo en cuenta que en el macizo ofiolítico Moa-Baracoa las rocas magnéticas pueden alcanzar profundidades de hasta 2 y 3 Km., según investigaciones geológicas y geofísicas anteriores (Fonseca et al., 1985; Chang et al., 1990, 1991; Batista, 2002; Batista et al., 2002). Por el comportamiento del campo magnético solo se escogieron para su descripción e interpretación las alturas de 500 y 750 m.

También con ayuda del MapInfo 6.5 se generalizó y confeccionó el mapa geológico a utilizar en esta investigación, partiendo de los mapas 1:250 000 (Albear et al., 1988) y 1:100 000 (Gyarmati y Leye O'Conor , 1990).

CONTEXTO GEOLÓGICO

La región de estudio se ubica en la parte oriental de Cuba (Figura 1), en la cual están presentes las secuencias del cinturón plegado cubano y las rocas del "neoautóctono" (Iturralde-Vinent, 1996a, 1996b, 1996c, 1998; Proenza et al., 1999a). Esta región forma parte del macizo ofiolítico Moa-Baracoa, en el cual afloran fundamentalmente unidades oceánicas correspondientes a las ofiolitas septentrionales, y a los arcos de islas volcánicos del Cretácico y del Paleógeno (Cobiella, 2000; Iturralde-Vinent, 1996a, 1996b, 1996c, 1998; Proenza et al., 1999c).

El Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa se ubica en el extremo oriental de la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa, ocupando un área aproximada de 1 500 Km² y presenta un desarrollo considerable de los complejos ultramáfico y de gabros (Proenza et al., 1999a, 1999b, 1999c). Según Fonseca et al. (1985) el espesor aproximado del complejo ultramáfico es de 1 000 metros y el de gabros de 500 metros.

El complejo ultramáfico desde el punto de vista petrológico se caracteriza por un predominio de harzburgitas, y en menor grado dunitas; también se han descrito dunitas plagioclásicas, wehrlitas, lherzolitas, y piroxenitas (Proenza et al., 1999a, 1999b). Sobre el mismo se desarrollan potentes cortezas de lateritas ferroniquelíferas-cobaltíferas.

Los cumulados de gabros forman grandes cuerpos incluidos en el complejo ultramáfico. La dimensión de estos cuerpos oscila entre 1 y 3 Km de ancho, por 10 a 15 Km de longitud. El contacto entre los gabros y el complejo ultramáfico generalmente es tectónico. Muchas veces los gabros están cubiertos por mantos de rocas ultramáficas (Fonseca et al., 1985), aunque Andó et al. (1989) plantean que en algunos sectores el contacto es transicional. Los principales tipos petrológicos descritos son: gabros olivínicos, gabronorita, gabros, anortositas y noritas (Ríos y Cobiella, 1984; Fonseca et al., 1985; Proenza et al., 1999a, 1999).

Las secuencias del arco de islas volcánico del Cretácico están representadas por rocas andesitas basálticas y basaltos, principalmente tobas y lavobrechas, areniscas polimícticas e intercalaciones y lentes de calizas metamorfizadas en condiciones de muy bajo grado y alta presión, pertenecientes a las formaciones geológicas Sierra del Purial, Téneme y Santo Domingo, así como al Complejo Cerrajón (Iturralde-Vinent, 1996c, 1998; Millán, 1996; Cobiella, 2000). Estas rocas se encuentran imbricadas tectónicamente con las ofiolitas de la faja Mayarí-Baracoa. En ocasiones los contactos coinciden con zonas de mezcla de volcánicas del arco Cretácico y de ofiolitas (Iturralde-Vinent, 1996a, 1996b, 1996c).

Las unidades estratigráficas representativas del Campaniano Tardío-Daniano se conforman de secuencias flyschoides y olistostrómicas compuestas por fragmentos y bloques procedentes de la secuencia ofiolítica y de las rocas volcánicas cretácicas (Cobiella, 2000; Quintas, 1996; Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990). Estas secuencias pertenecen a las formaciones geológicas La Picota y Gran Tierra.

Las secuencias del arco de islas volcánico del Paleógeno están compuesta por tobas vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, lutitas, margas, gravelitas,

conglomerados volcanomícticos y algunos cuerpos de basaltos, andesitas, y andesitas-basálticas, los cuales alcanzan hasta 6 000 m de espesor. Las mismas conforman las formaciones geológicas Sabaneta y Miranda (Iturralde-Vinent, 1998; Quintas et al., 1995).

Las secuencias estratigráficas del Eoceno Medio-Oligoceno están representadas calizas compactas órgano-detríticas, fosilíferas, de color variable, pertenecientes a la formación geológica Charco Redondo (Quintas, 1996; Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990).

CARACTERIZACIÓN PETROFÍSICA

En la región nororiental de Cuba, donde se encuentra ubicada nuestra área de estudio, se han realizado diversos trabajos petrofísicos durante la ejecución de levantamientos geológicos, geofísicos y geoquímicos, orientados fundamentalmente al estudio de las propiedades magnéticas de las rocas. Entre los trabajos más significativos se encuentran los de Zamashikov y Tobachkov (1971), en el macizo Moa-Baracoa; Rodríguez (1982) en las rocas ultrabásicas de Cuba oriental; Chang et al. (1990, 1991) en la región Mayarí-Sagua-Moa; Batista (2002) en la región de Moa y sus alrededores.

El trabajo más representativo para el área de estudio lo constituye el de Zamashikov y Tobachkov (1971) realizado como parte del levantamiento magnético llevado a cabo en esta área objeto de estudio (Tabla 1). En esta área las peridotitas serpentinizadas poseen el mayor grado de magnetización, siguiéndole en orden las peridotitas no serpentinizadas, luego los gabros y las rocas sedimentarias. Estos dos últimos tipos de rocas se diferencian muy poco desde el punto de vista magnético.

Por los elementos antes expuestos se esperan que las mayores intensidades del campo magnético se relacionen con las rocas ultrabásicas (serpentinizadas o no). El resto de las rocas (los gabros y las rocas sedimentarias) en este contexto son transparentemente magnéticas, es decir, prácticamente no influyen en el comportamiento del campo magnético observado.

Según los trabajos de Chang et al. (1990, 1991) y Batista (2002), los mayores valores de radiactividad dentro de la región de estudio están relacionados con las áreas de desarrollo de cortezas lateríticas Fe+Ni+Co, motivados por las altas concentraciones de eU y eTh. En sentido general las ofiolitas se caracterizan por bajos contenidos de K. Este elemento alcanza altas concentraciones en las rocas volcano-sedimentarias y aumenta considerablemente en zonas de desarrollo de procesos hidrotermales.

INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS GEOFÍSICOS

Campo magnético

Las mayores intensidades positivas del campo magnético (ΔZ) se relacionan con los afloramientos de las rocas ultrabásicas serpentinizadas (Figura 2, sugiriendo grandes espesores de estas rocas, según investigaciones anteriores en esta región (Batista y Rodríguez, 2000; Batista, 2002; Batista et al., 2002) y en otras partes del mundo (Karlsen y Olesen, 1996). Estas intensidades se ubican en el extremo este del mapa, específicamente al NE de Cayo Fortuna.

También existen zonas donde coinciden los valores positivos de ΔZ con afloramientos de rocas de bajas magnetizaciones (sedimentarias y volcano-sedimentarias), destacando que las mismas están infrayacidas por rocas ultrabásicas serpentinizadas con espesores relativamente altos (Karlsen y Olesen, 1996; Batista y Rodríguez, 2000; Batista, 2002). Algunos de los afloramientos de rocas ultrabásicas serpentinizadas se relacionan además con valores negativos del campo magnético, que indican el poco espesor de estas rocas (Batista y Rodríguez, 2000; Batista, 2002; Batista et al., 2002).

El carácter del campo magnético es menos complejo hacia la parte SW de la región (Figuras 2, 3 y 4). Su grado de complejidad aumenta hacia la parte central, este y norte, reflejando una mayor heterogeneidad en las características geológicas y estructurales en estas últimas zonas mencionadas (Batista, 2002; Batista et al., 2002).

Donde afloran rocas volcano-sedimentarias y sedimentarias, ΔZ tiene menor intensidades y gradientes, con la excepción del extremo este, en el cual se observa una anomalía positiva con intensidades de hasta 300 nT, indicando la presencia de rocas ultrabásicas serpentinizadas por debajo de ellas, tal y como ha sido reportado en otras investigaciones (Batista y Rodríguez, 2000; Batista, 2002). En el resto de las áreas de afloramientos de rocas volcano-sedimentarias y sedimentarias, las mismas no deben poseer un basamento ultrabásico serpentinizados y si lo poseen se encuentran a profundidades tales que su efecto no se nota en el mapa de ΔZ .

En el mapa de ΔZ y sus gradientes se observan anomalías alineadas en direcciones NW-SE y NE-SW, algunas de las cuales se relacionan con sistemas de fallas reportados en los mapas geológicos (Albear et al., 1988; Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990). Este análisis permite corroborar las estructuras ya conocidas y proponer otras nuevas, a partir de su reflejo en el comportamiento del campo magnético, aportando nuevos elementos estructurales de esta área investigada.

En el mapa magnético de CAA a los 500 m se observan zonas con anomalías negativas del campo magnético ubicadas en el extremo oeste y en el centro de la región (Figura 5), que deben estar relacionadas con rocas de muy bajo grado de magnetización (Batista, 2002; Batista et al., 2002). A los 750 m continúa manifestándose las anomalías positivas ubicadas en el extremo este del área, donde afloran rocas ultrabásicas serpentinizadas (Figura 6), sugiriendo que en este extremo tales rocas alcanzan sus mayores profundidades en el área de estudio (Gunn et al., 1998; Batista, 2002; Batista et al., 2002).

En la figura 7 se muestra el esquema de interpretación de los datos magnéticos, en el cual se recogen los principales resultados mencionados durante la interpretación del mapa de ΔZ y sus transformaciones.

Espectrometría aerogamma

Las mayores intensidades radiométricas se relacionan con los afloramientos de rocas volcano-sedimentarias ubicados al norte y oeste del área de estudio, aunque en este último las anomalías observadas están próximas a estas rocas pero coinciden con cortezas lateríticas (Figura 8).

Tales intensidades radiométricas en la mayor parte de los afloramientos de rocas volcano-sedimentarias se deben a altos contenidos de K, por encima de 0.4 % y hasta 1.9 % (Figura 9). Estos contenidos están relacionados con la propia naturaleza de estas rocas y con la presencia en ocasiones de alteraciones de carácter hidrotermal (Davis y Guilbert, 1973; Grojek y Prichystal, 1985; Portnov, 1987; Rickard et al., 1998; Batista y Ramayo, 2000). En algunos afloramientos de la Fm. La Picota, de rocas serpentinizadas y melange, se observan pequeñas zonas con estos valores de K, pero no sobrepasan el 0.6 %, sugiriendo la existencia de pequeños cuerpos de rocas volcano-sedimentarias no descritos en el mapa geológico tomado como referencia.

Las altas intensidades radiométricas relacionadas con las áreas de desarrollo de cortezas lateríticas Fe+Ni+Co, se deben a los altos contenidos de eTh (Figura 10) y en gran parte también a los de eU (Figura 11), coincidiendo con reportes de investigaciones anteriores (Braun et al., 1993; Batista y Ramayo, 2000; Batista, 2002), que plantean una relación directa entre los procesos que han dado lugar a estas cortezas y el enriquecimiento de dichos elementos radiactivos. También se muestra una pequeña zona al norte donde afloran rocas volcano-sedimentarias, indicando la presencia de cortezas de meteorización en la misma, las cuales probablemente se originaron en las rocas serpentinizadas adyacentes y luego se

redepositaron encima de estas rocas volcano-sedimentarias (Chang et al., 1990; Batista, 2002).

Otras áreas de rocas sedimentarias y ultrabásicas, ubicadas en la parte norte y central del área investigada (Figura 11), también poseen altos contenidos de eU, indicando la existencia de suelos enriquecidos en materia orgánica, en los cuales se concentra este elemento radiactivo (Watanabe, 1987; Requejo et al., 1994; Batista, 2002).

Para tener una visión más integral sobre las características geológicas y estructurales, tanto superficiales como profundas, de la región investigada, se combinaron los resultados de la interpretación de ambos conjuntos de datos geofísicos, teniendo en cuenta determinadas regularidades geológicas y geofísica que ponen de manifiesto las características geológicas de la región investigada (Batista, 2002).

Con el análisis combinado de la información geofísica se delimitaron las áreas donde coinciden valores de eU y eTh superiores a sus medias, y estos mismos valores y el K (Figura 12). Las áreas de coincidencia de eU y eTh están relacionadas con zonas de desarrollo de cortezas lateríticas. También se relacionan con afloramientos de rocas ultrabásicas serpentinizadas, volcano-sedimentarias paleogénicas y la Fm. Charco Redondo, indicando la presencia de cortezas lateríticas en las mismas (Batista, 2002), las cuales en el caso de las rocas sedimentarias y volcano-sedimentarias se acumulan a partir de procesos de redeposición (Chang et al., 1990; Eliopoulos y Economou-Eliopoulos, 2000; Batista, 2002). En las áreas de desarrollo de cortezas lateríticas los mayores valores de este par de elementos combinados, muestran las zonas de mayores espesores (Batista, 2002).

Las zonas de altos contenidos de los tres radioelementos analizados (eU, eTh y K) están vinculadas con afloramientos de la Fm. Sabaneta y Charco Redondo, denotando el carácter arcilloso de las rocas que conforman estas formaciones en estas áreas según investigaciones realizadas en esta y otras regiones del mundo (Davis y Guilbert, 1973; Galbraith y Saunders, 1983; Batista, 2002).

Análisis estadístico por formaciones geológicas y áreas de afloramientos

A partir del análisis estadístico realizado para cada una de las formaciones geológicas y sus áreas de afloramientos, se muestran sus características geológicas, algunas de ellas no descritas anteriormente. Por un problema de espacio no se muestran las tablas donde se recoge el tratamiento estadístico realizado.

Formaciones sedimentarias:

Dentro de las formaciones sedimentarias la Fm. Charco Redondo posee la mayor radiactividad, caracterizada por altos contenidos de K, eU y eTh. Junto con esta formación los mayores contenidos de K se manifiestan en la Fm. La Picota, motivados por la presencia de suelos enriquecidos en material volcano-sedimentario, los cuales se generan en las rocas volcano-sedimentarias ubicadas en los alrededores de los afloramientos de ambas formaciones, y luego se redepositan en las zonas bajas del relieve, donde se encuentran dichos afloramientos.

Los mayores contenidos de eU de forma general se manifiestan en la Fm. Charco Redondo y un área de las lateritas Fe+Ni+Co, evidenciando un mayor desarrollo de suelos enriquecidos en materia orgánica en estas áreas de afloramientos (Watanabe, 1987; Requejo et al., 1994; Batista, 2002).

Los contenidos de eTh alcanzan sus máximos valores en las áreas de desarrollo de cortezas lateríticas ferroniquelíferas y en un área de afloramiento de la Fm. Charco Redondo, indicando la presencia de estas cortezas redepositada encima de esta formación geológica.

Formaciones volcano-sedimentarias:

Dentro de las formaciones volcano-sedimentarias la Fm. Sabaneta posee los mayores valores de radiactividad, debido a las concentraciones de K, las cuales en se deben en gran medida a la presencia de alteraciones hidrotermales (Batista y Ramayo, 2000). Dentro de esta misma formación se registran los mayores contenidos de eU de la región de estudio, los cuales juntos con los altos contenidos de K y eTh indican alto grado de acidez y arcillosidad en estas rocas (Davis y Guilbert, 1973; Galbraith y Saunders, 1983).

Los máximos contenidos de eTh de la región se registran en la Fm. Santo Domingo, indicando la posible presencia de cortezas lateríticas redepositas sobre estas rocas teniendo en cuenta la presencia en sus alrededores de rocas ultrabásicas serpentinizadas.

Formaciones metamórficas:

Estas formaciones se caracterizan por bajos contenidos de K (0.35 %), con la excepción de algunos afloramientos de rocas ultrabásicas serpentinizadas, en los cuales deben existir suelos muy enriquecidos en materiales volcano-sedimentarios, derivados de las rocas volcano-sedimentarias que se encuentran en sus alrededores. Altos contenidos de eTh en algunas áreas de las rocas serpentinizadas se asemejan a los observados en las lateritas Fe+Ni+Co,

indicando la presencia de tales cortezas en estas rocas, lo cual no aparece reportado en el mapa geológico tomado como base.

A partir de los resultados de la aplicación del método de Análisis de Factores en las diferentes formaciones geológicas y niveles de la Asociación Ofiolítica (Batista, 2002), se establecen las variaciones laterales de algunos de los procesos geológicos citados anteriormente. Por un problema de espacio no se muestran las tablas con los resultados de este procesamiento.

El factor de eU, eTh y K destaca variaciones en el grado de arcillosidad y acidez de las rocas (Davis y Guilbert, 1973; Galbraith y Saunders, 1983). En la región investigada este factor se describe en dos afloramientos de las formaciones Sabaneta y Santo Domingo, en las proximidades de Calentura (Figura 13). En el caso de la Fm. Sabaneta las rocas que la conforman poseen un mayor grado de arcillosidad y/o acidez hacia el sur. Por otro lado, en la Fm. Santo Domingo, estas características son más variables, destacándose la parte central y septentrional como las zonas donde afloran las rocas más ácidas y/o arcillosas de esta formación. El factor de eU y eTh, muestra variaciones en el grado de arcillosidad de las rocas, considerando que ambos elementos son típicos de fases arcillosas (Galbraith y Saunders, 1983; Ayres y Theilen, 2001), además permite la delimitación de cortezas lateríticas y el revelamiento de las variaciones laterales de sus espesores (Batista, 2002).

En la región de estudio este factor se pone de manifiesto en las áreas de desarrollo de cortezas lateríticas (Figura 14), destacando que hacia el extremo occidental, específicamente al norte de la Fangosa, se revelan los mayores espesores de estas cortezas. Este mismo factor se observa en rocas ultrabásicas serpentinizadas y zonas de melange, indicando la existencia y variaciones de espesores de cortezas lateríticas no declaradas en los mapas geológicos tomados como base.

El reporte de lateritas redepositadas sobre formaciones sedimentarias y volcano-sedimentarias en esta región (Chang et al., 1990), permite inferir la presencia de estas cortezas redepositadas en algunas áreas de las formaciones Gran Tierra, Miranda, Téneme y Sierra del Purial. En el área de afloramiento de Miranda más al este las variables del factor (eU y eTh) se relacionan de forma negativa, indicando que no existen tales cortezas redepositadas y sí variaciones en el grado de meteorización de las rocas que conforman esta formación geológica (Braun et al., 1993; Ayres y Theilen, 2001), el cual aumenta hacia el oeste. Por otra parte, en la Fm. Sierra Purial, el factor incluye además al K de forma negativo, enfatizando la presencia de dichas cortezas redepositadas.

CONCLUSIONES

Las zonas de valores positivos del campo magnético se relacionan con las rocas ultrabásicas serpentinizadas de grandes espesores que afloran o se encuentran infrayaciendo los paquetes de rocas sedimentarias y volcano-sedimentarias. Por otra parte los valores negativos indican zonas de pocos espesores de las rocas ultrabásicas serpentinizadas aflorantes.

En aquellos casos que estas rocas no afloran sustentan la idea de grandes espesores de las rocas poco magnéticas. Algunas zonas de fallas reportadas se reflejan en el comportamiento del campo magnético. De esta misma manera existen alineaciones en el campo magnético que indican la posible existencia de zonas de fallas no reportadas hasta el momento. Según la CAA el extremo este del área de estudio las rocas ultrabásicas serpentinizadas poseen sus mayores espesores. El extremo SW se caracteriza por poseer menor heterogeneidad en el campo magnético, reflejo de características geológicas menos complejas en dicho extremo.

Con la interpretación de los datos aerogamma espectrométricos se conoce la naturaleza de las anomalías radiactivas y los procesos que han dado lugar a la aparición de las mismas. De esta misma manera se logra establecer una diferenciación litológica a partir de su naturaleza radiactiva, vinculada con la composición e historia geológica de los diferentes tipos de rocas presentes en la región investigada.

Las mayores radiaciones del área se relacionan con afloramientos de rocas volcano-sedimentarias y zonas de desarrollo de cortezas lateríticas. Altos contenidos de K en zonas de melange, de afloramientos de rocas ultrabásicas serpentinizadas y la Fm. La Picota, sugieren la presencia en las mismas de pequeños cuerpos de rocas volcano-sedimentarias o suelos de este material, no reportados en los mapas geológicos tomados como base. En las zonas de desarrollo de lateritas se observan los mayores contenidos de eTh. También altos contenidos de este elemento en zonas de afloramientos de rocas volcano-sedimentarias indica que existen cortezas de meteorización que en algunos casos pueden ser de tipos lateríticas redepositadas. En las áreas de desarrollo de cortezas lateríticas se muestran las variaciones de sus espesores a partir de los contenidos de eU y eTh. Altos valores de ambos elementos indican la existencia de este tipo de cortezas redepositadas sobre rocas sedimentarias y volcano-sedimentarias, no reportadas en trabajos anteriores. De esta misma manera también muestra nuevas zonas de estas cortezas en rocas ultrabásicas serpentinizadas. Los altos contenidos de eTh también muestran nuevas áreas cortezas lateríticas en rocas serpentinizadas, no declaradas en los

mapas geológicos tomados como referencias. En las rocas volcano-sedimentarias se pone de manifiesto su carácter arcilloso y grado de acidez a través de los altos contenidos de eU, eTh y K, y la correlación estadística directa entre ellos. Con la aplicación del método de Análisis de Factores se muestran las variaciones laterales de las características antes mencionadas.

AGRADECIMIENTOS

A la Oficina Nacional de Recursos Minerales de Cuba por facilitar el acceso a los principales levantamientos geofísicos realizados en la región oriental de Cuba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albear, J.; Boyanov, I.; Brezsnianszky, K.; Cabrera, R.; Chejovich, V.; Echevarría, B.; Flores, R.; Formell, F.; Franco, G.; Haydutov, I.; Iturralde-Vinent, M.; Kantchev, I.; Kartashov, I.; Kostadinov, V.; Millán, G.; Myczynski, R.; Nagy, E.; Oro, J.; Peñalver, L.; Piotrowska, K.; Pszczolkowski, A.; Radocz, J.; Rudnicki, J.; Somin, M.L. 1988. Mapa geológico de Cuba. Escala 1:250 000.
- Andó, J.; Kozák, M.; Ríos, Y. 1989. Caracterización general de la asociación ofiolítica de la zona Holguín-Moa y el papel de las ofiolitas en el desarrollo estructural de Cuba. *Minería y Geología*, 1: 15-33.
- Ayres, A.; Theilen, F. 2001. Natural gamma-ray activity compared to geotechnical and environmental characteristics of near surface marine sediments. *Journal of Applied Geophysics*, 48(1) : 1-10.
- Batista, J. 2002. Nuevas regularidades geológicas de la región Mayarí-Sagua-Moa a partir de la reinterpretación del levantamiento aerogeofísico 1:50 000. Tesis doctoral (No publicada). *Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa*, 115 p.
- Batista, J.; Ramayo, L. 2000. Utilización de datos aerogamma espectrométricos para la localización de zonas de alteración hidrotermal en la región Sagua-Moa, Cuba oriental. *Minería y Geología*, 17 (3-4) : 3-10.
- Batista, J.; Rodríguez, A. 2000. Particularidades geológicas del complejo ofiolítico de Moa a partir de los datos aeromagnéticos 1:50 000. *Minería y Geología*, 17 (1) : 17-25.
- Batista, J.; Rodríguez, A.; Blanco, J.; Proenza, J. 2002. Estructura del macizo ofiolítico de Moa (NE de Cuba) según la interpretación del levantamiento aeromagnético 1:50 000. *Acta Geológica Hispánica*, 37(4) : 369-387.
- Braun, J.J.; Pagel, M.; Herbillon, A.; Rocin, C. 1993. Mobilization and redistribution of REEs and thorium in a syenitic lateritic profile: A mass balance study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57: 4419-4434.
- Chang, J.L.; Corbea, L.; Prieto, F.; Hernández, J.; Brito, G. 1991. Informe sobre los resultados del levantamiento aerogeofísico complejo en el territorio de las provincias Guantánamo y Holguín, Sector Guantánamo sur (INÉDITO). *Oficina Nacional de Recursos Minerales*. 260 p.
- Chang, J.L.; Gribnirov, G.; Brodoboï, A. 1990. Informe sobre resultados del levantamiento aerogeofísico complejo en el territorio de las provincias de Santiago de Cuba, Holguín, Granma y Guantánamo, Sector Pinares de Mayarí (No publicado). *Oficina Nacional de Recursos Minerales*. 314 p.
- Cobiella, J.L. 2000. Jurassic and Cretaceous geological history of Cuba. *International Geology Review*, 42 :594-616.

- Davis, J.D.; Guilbert, J.M. 1973. Distribution of the radioelements potassium, uranium and thorium in selected porphyry copper deposits. *Economic Geologic*, 68(2) :145-160.
- Eliopoulos, D.G.; Economou-Eliopoulos, M. 2000. Geochemical and mineralogical characteristics of Fe-Ni- and bauxitic-laterite deposits of Greece. *Ore Geology Review*, 16, : 41-58.
- Fonseca, E.; Zelepugin, V.N.; Heredia, M. 1985. Structure of the ophiolite association of Cuba. *Geotectonic*, 19 :321-329.
- Galbraith, J.H.; Saunders, D.F. 1983. Rock classification by characteristics of aerial gamma-ray measurements. *Journal of Geochemical Exploration*, 18 :49-73.
- Grojek, I.; Prichystal, A. 1985. A new Zinc mineralization detected by airborne Gamma-ray spectrometry in northern Moravia (Czechoslovakia). *Geoexploration*, 23, : 491-502.
- Gunn, P.J.; Mackey, T.; Meixner, T.J. 1998. Magnetic, radiometric and gravity signatures of localities of epithermal gold deposits in Fiji. In *X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de geología económica. Simposio: Geofísica aérea y geoquímica en la prospección geológica-minera*, p. 43-51. Buenos Aires, Argentina.
- Gyarmati, P.; Leyé O'Conor, J. 1990. Informe final sobre los trabajos de levantamiento geológico en escala 1:50 000 y búsqueda acompañante en el polígono CAME V, Guantánamo. *Oficina Nacional de Recursos Minerales*. 360 p.
- Iturralde-Vinent, M.A. 1996a. Geología de las ofiolitas de Cuba. In *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP project 364. Special contribution*(Iturralde-Vinent, M. ; Editor). No. 1, p. 83-120.
- Iturralde-Vinent, M.A. 1996b. Introduction to Cuban Geology and Tectonics. In *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP project 364. Special contribution* (Iturralde-Vinent, M., Editor). No. 1, p. 3-35.
- Iturralde-Vinent, M.A. 1996c. Cuba: el arco de islas volcánicas del Cretácico. In *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP project 364. Special contribution* (Iturralde-Vinent, M., Editor). No. 1, p. 179-189.
- Iturralde-Vinent, M.A. 1998. Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. *Acta Geológica Hispana*, 33 (1-4) : 9-56.
- Karlsen, T.A.; Olesen, O. 1996. Airborne geophysical prospecting for ultramafite associated talc, Altermark, northern Norway. *Journal of Applied Geophysics*, 35 (4) : 215-236.
- Lavaut, W. 1998. Tendencias geológicas del intemperismo de las rocas ultramáficas en Cuba oriental. *Minería y Geología*, 15(1) : 9-16.
- Millán, G. 1996. Metamorfitas de la Asociación Ofiolítica de Cuba. In *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP Project 364. Special Contribution* (Iturralde-Vinent, M.A.; Editor), No. 1, p. 131-153.
- Portnov, A.M. 1987. Specialization of rocks toward potassium and thorium in relation to mineralization. *International Geology Review*, 29 :326-344.
- Proenza, J.; Gervilla, F.; Melgarejo, J.C.; Bodinier, J.L. 1999a. Al- and Cr-rich chromitites from the Mayarí-Baracoa ophiolitic belt (Eastern Cuba): Consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle. *Economic Geology*, 94 :547-566.
- Proenza, J.; Gervilla, F.; Melgarejo, J.C. 1999b. La Moho Transition Zone en el Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa: un ejemplo de interacción magma/peridotita. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 12 (3-4) : 309-327.
- Proenza, J.; Melgarejo, J.C.; Gervilla, F.; Solé, J. 1999c. Los niveles de gabros bandeados en el macizo ofiolítico

- Moa-Baracoa (Cuba). Gabros característicos de cumulos de ofiolitas de zonas de suprasubducción. *Minería y Geología*, 16 (2) :5-12.
- Quintas, F. 1996. Bioestratigrafía del corte Meso-Cenozoico del extremo oriental de Cuba. *Minería y Geología*, 13 (1) : 3-8.
- Quintas, F.; Proenza, J.; Castillo, J.L. 1995. Análisis tectono-sedimentario de la paleocuenca Sabaneta. *Minería y Geología*, 12 (1) : 3-8.
- Requejo, A.G.; Wielchowsky, C.C.; Klosterman, M.J.; Sassen, R. 1994. Geochemical characterization of lithofacies and organic facies in Cretaceous organic-rich rocks from Trinidad, East Venezuela Basin. *Organic Geochemistry*, 22 (3-5) : 441-459.
- Rickard, J.H.; Lentz, D.R.; Ford, K.L.; Taylor, R.P. 1998. Gamma-ray spectrometric applications to volcanogenic massive sulfide exploration in the Heath Steele Mines Area, Bathurst camp, New Brunswick. *Explor. Mining Geol.*, 7 (4) : 287-297.
- Ríos, Y.I.; Cobiella, J.L. 1984. Estudio preliminar del macizo de gabroides Quesigua de las ofiolitas del este de la provincia de Holguín. *Minería y Geología*, 2 (2) :109-132.
- Rodríguez, J. 1982. Estructura geológica profunda de Cuba oriental en base a datos geofísicos. . Tesis doctoral (No publicada). *Instituto de Minas de Leningrado*, 246 p.
- Watanabe, K. 1987. Geochemical behaviour of iron and manganese ions in the Ningyo-Toge uranium deposits district, southwest Japan. *Chemical Geology*, 60 :229-307.
- Zamashikov, M.E.; Tobachkov, V. 1971. Informe sobre los resultados de los trabajos de búsqueda a escala 1:50 000 en la parte suroeste del macizo hiperbasáltico Moa - Baracoa. *Oficina Nacional de Recursos Minerales*. 243 p.

FIGURAS Y TABLAS

Tabla 1. Susceptibilidad magnética ($\mathbf{K \times 10^{-6}/4\pi \text{ SI}}$) de los principales tipos de rocas que conforman el extremo suroeste del macizo ofiolítico Moa-Baracoa (tomada de Zamashikov y Tobachkov, 1971).

Tipos de rocas	Media	Máximo	ΔZ esperado (nT)
Sedimentarias			
Calizas	10	250	50-100
Margas	50	560	100-150
Areniscas tobaceas	100	690	150-200
Argilitas y tobas	10	26	50-100
Rocas intrusivas			
Dunitas	1 000	3 200	(220-300)-(600-700)
Dunitas serpentinizadas	1 000-2 500	7 200	(300-600)-1 500
Harzburgitas	1 000	3 900	(200-300)-(770-800)
Harzburgitas serpentinizadas	1 000	2 500-3 000	(200-300)-(500-600)
Serpentinitas intemperizadas	1 000	-	300-600
Gabros	50-200	900	400-300

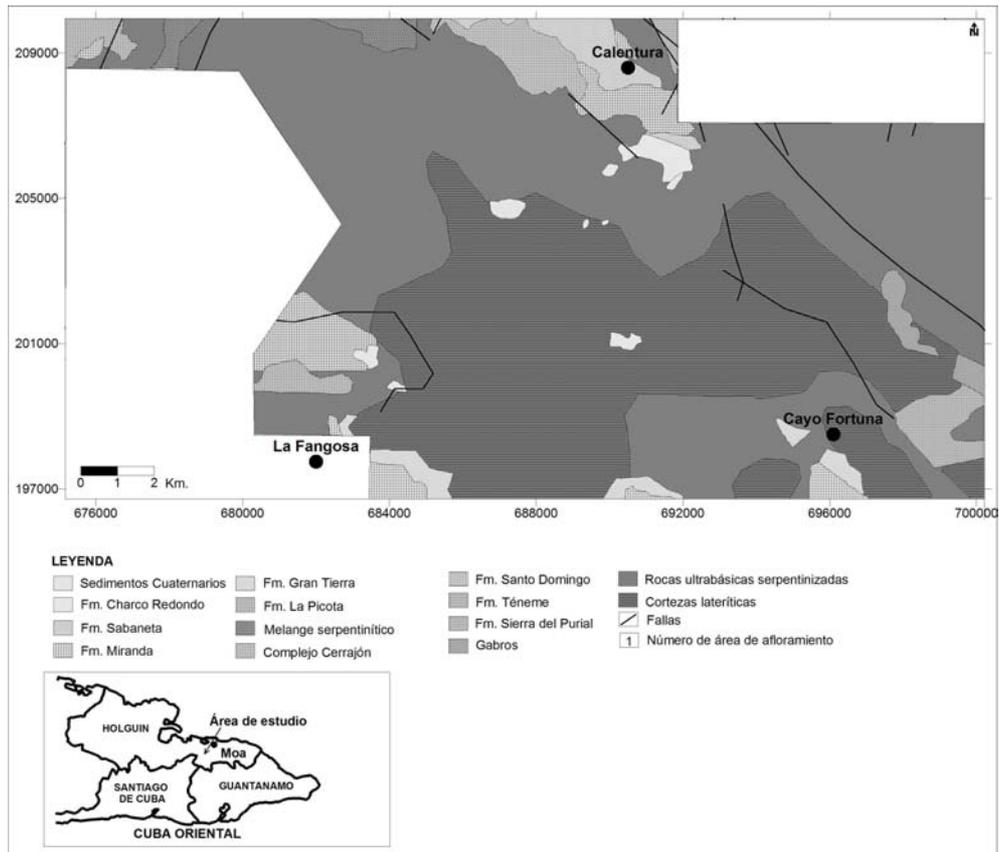


Figura 1. Mapa geológico del extremo suroeste del macizo ofiolítico Moa-Baracoa (modificado de Albear y otros, 1988; Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990).

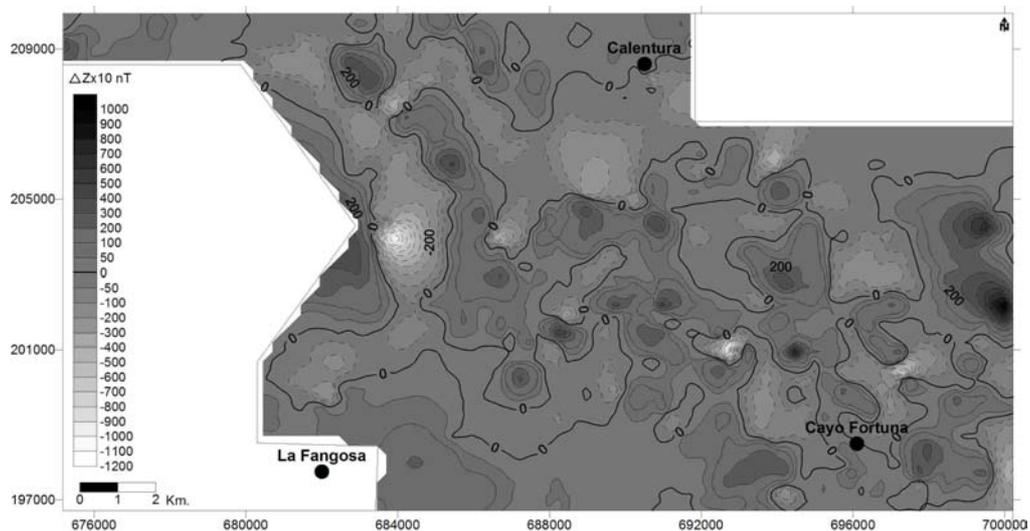


Figura 2. Mapa de isodínamas ΔZ del extremo suroeste del macizo ofiolítico Moa-Baracoa.

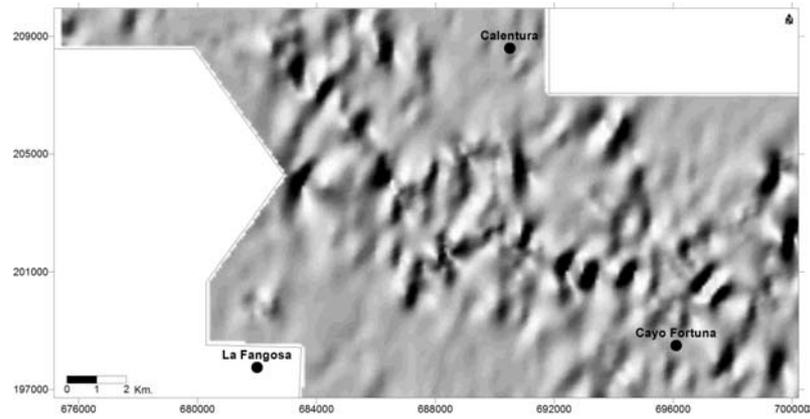


Figura 3. Mapa de gradiente horizontal de ΔZ en la dirección de X del extremo suroeste del macizo ofiolítico Moa-Baracoa.

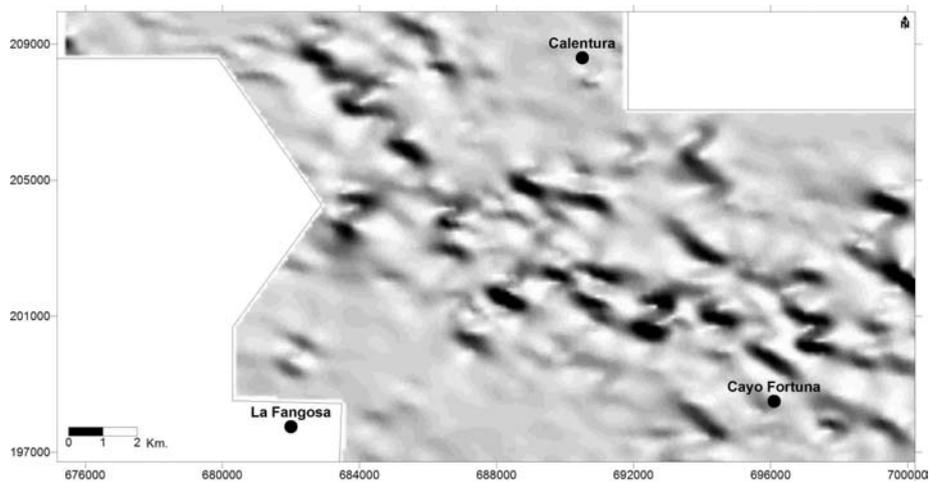


Figura 4. Mapa de gradiente horizontal de ΔZ en la dirección de Y del extremo suroeste del macizo ofiolítico Moa-Baracoa.

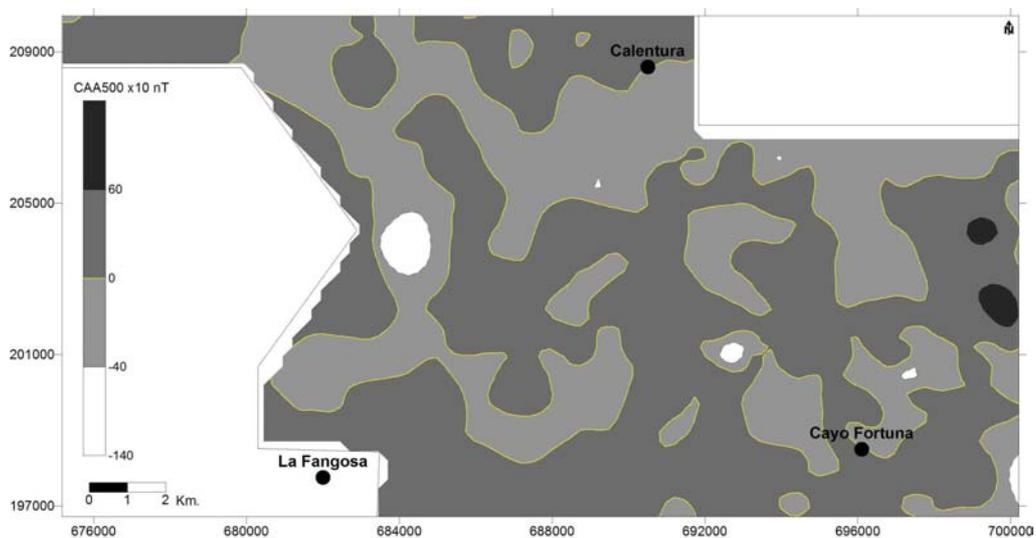


Figura 5. Mapa de CAA a 500 m del extremo suroeste del macizo ofiolítico Moa-Baracoa.

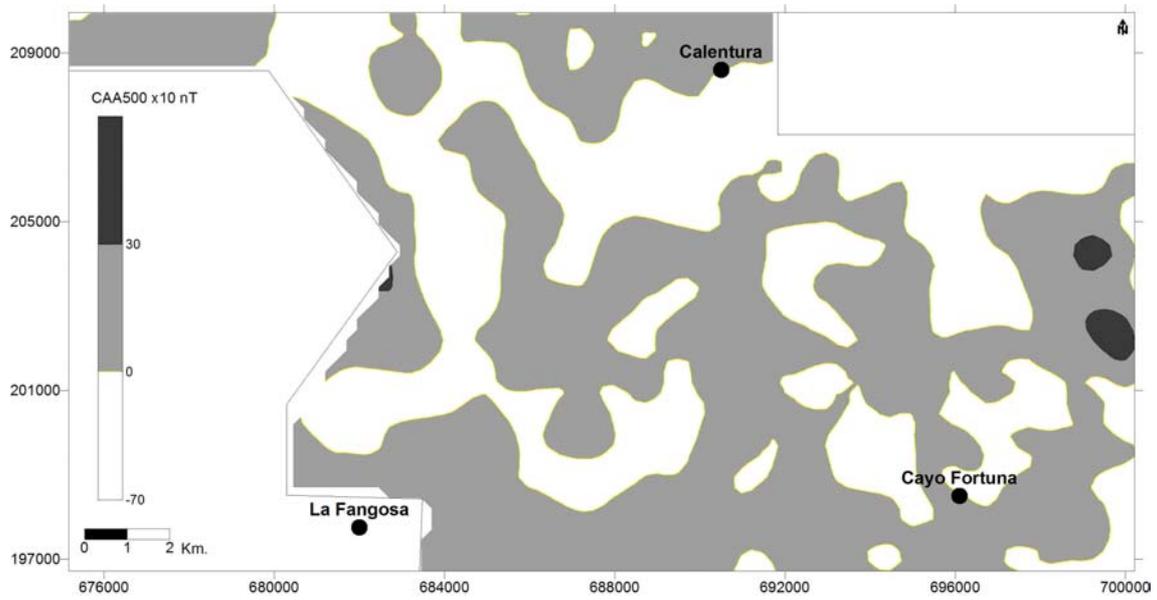


Figura 6. Mapa de CAA a 750 m del extremo suroeste del macizo ofiolítico Moa-Baracoa.

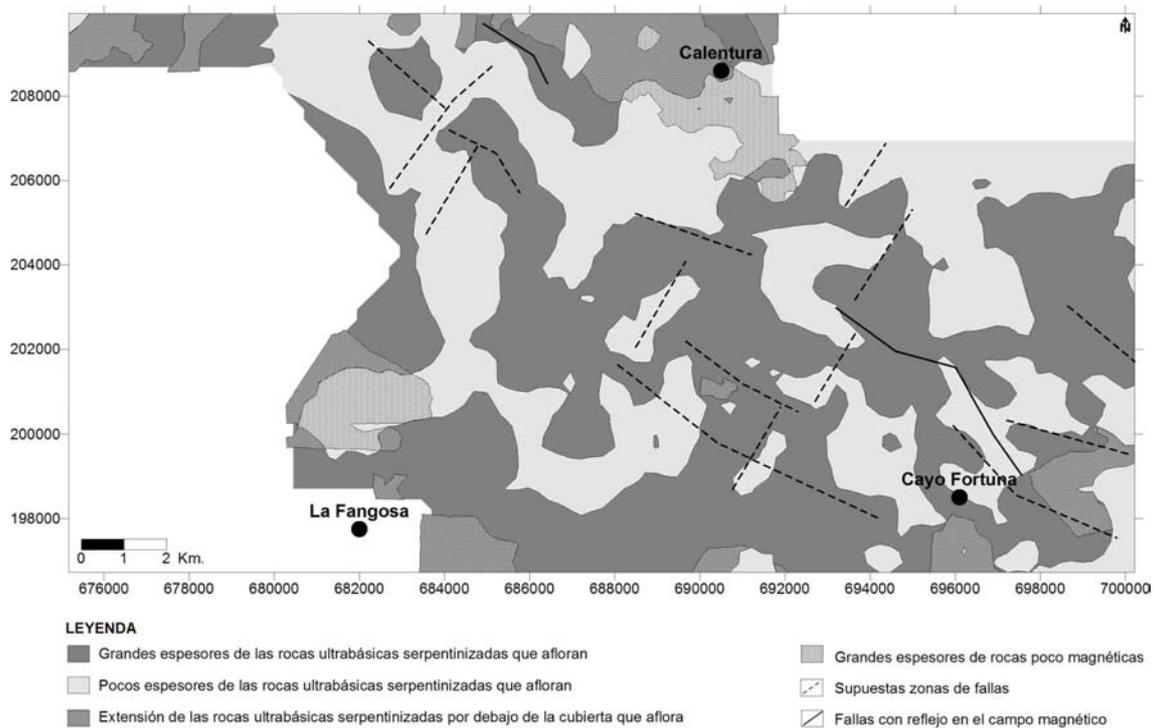


Figura 7. Esquema de interpretación aeromagnético del extremo suroeste del macizo ofiolítico Moa-Baracoa.

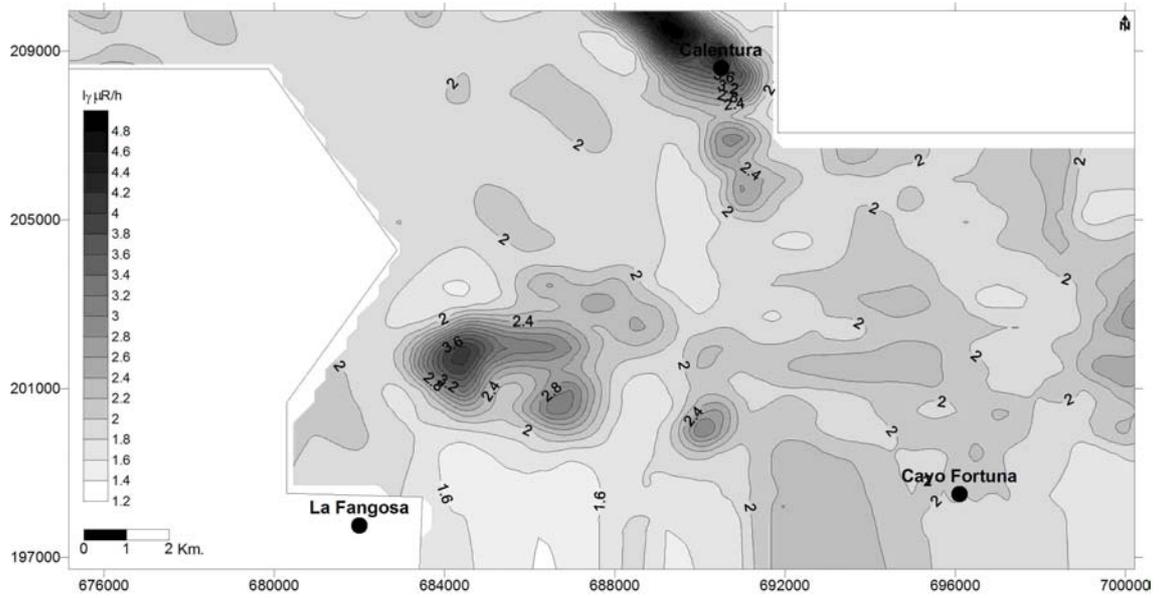


Figura 8. Mapa de $I_{\gamma total}$ del extremo suroeste del macizo ofiolítico Moa-Baracoa.

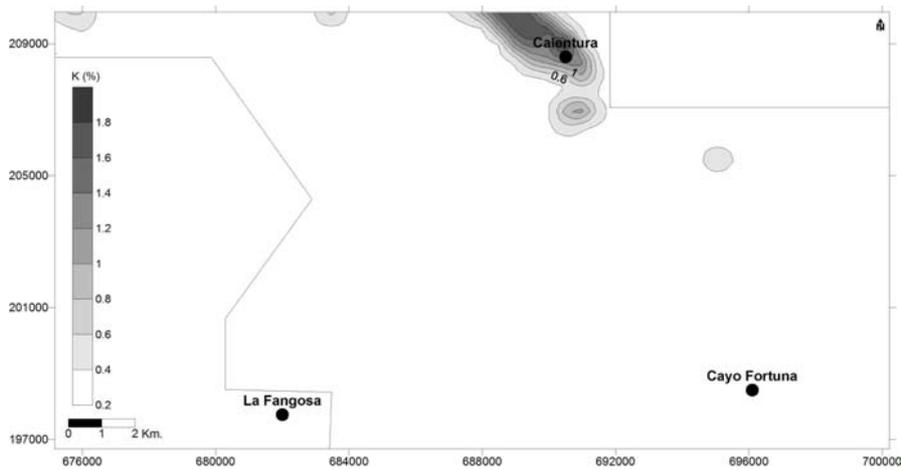


Figura 9. Mapa de contenido de K (%) del extremo suroeste del macizo ofiolítico Moa-Baracoa

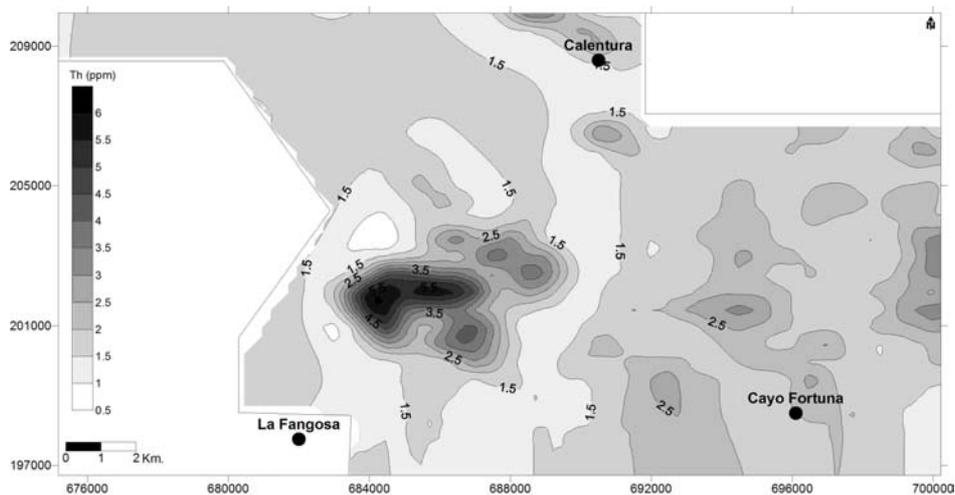


Figura 10. Mapa de contenido de eTh (ppm) del extremo suroeste del macizo ofiolítico Moa-Baracoa.

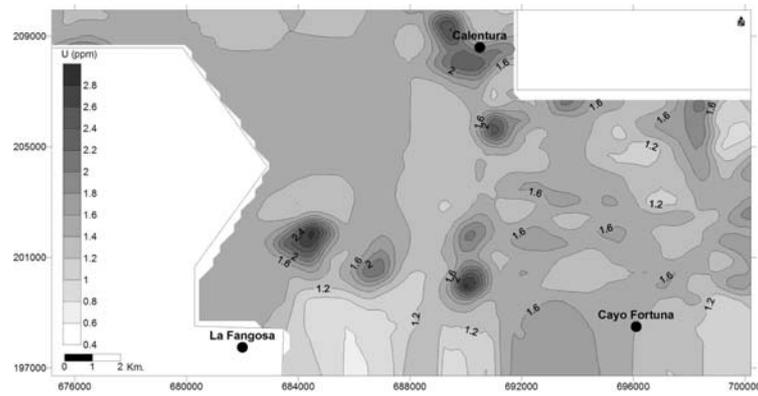


Figura 11. Mapa de contenido de eU (ppm) del extremo suroeste del macizo ofiolítico Moa-Baracoa.

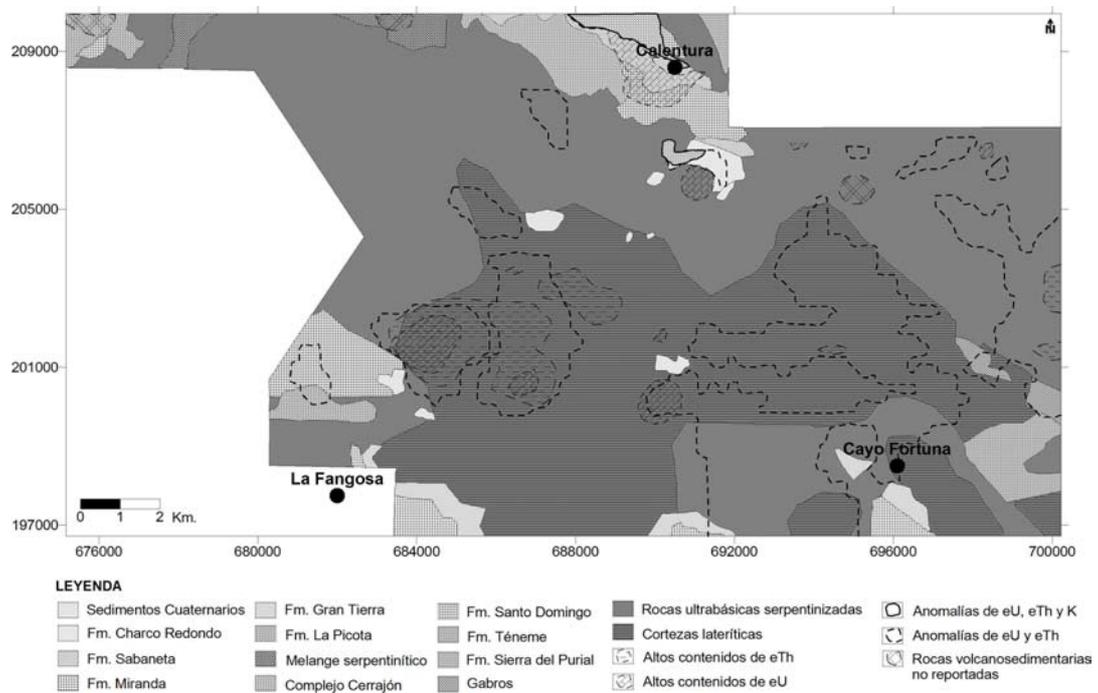


Figura 12. Esquema de interpretación de los datos aerogamma espectrométrico del extremo suroeste del macizo ofiolítico Moa-Baracoa..

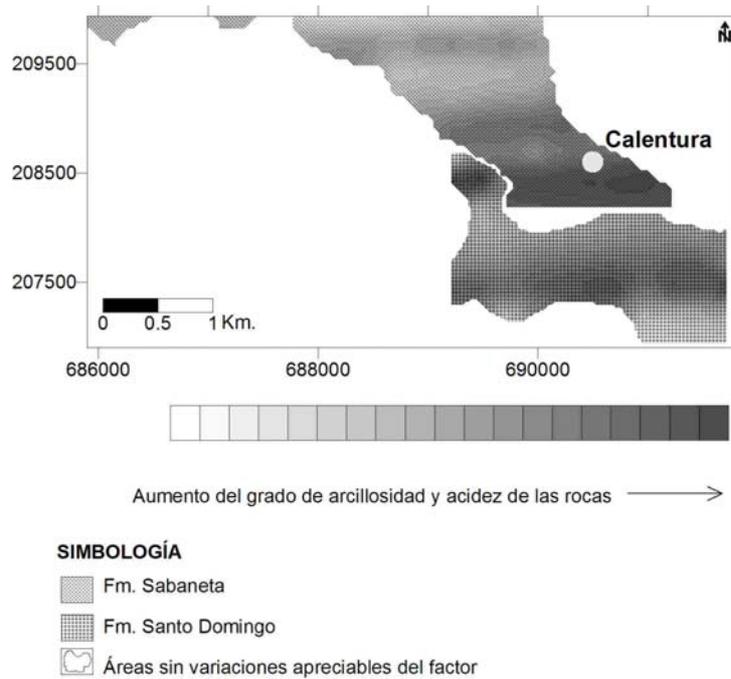


Figura 13. Variaciones en el grado de arcillosidad y acidez de las rocas volcanosedimentarias del extremo suroeste del macizo ofiolítico Moa-Baracoa según el factor de eU, eTh y K.

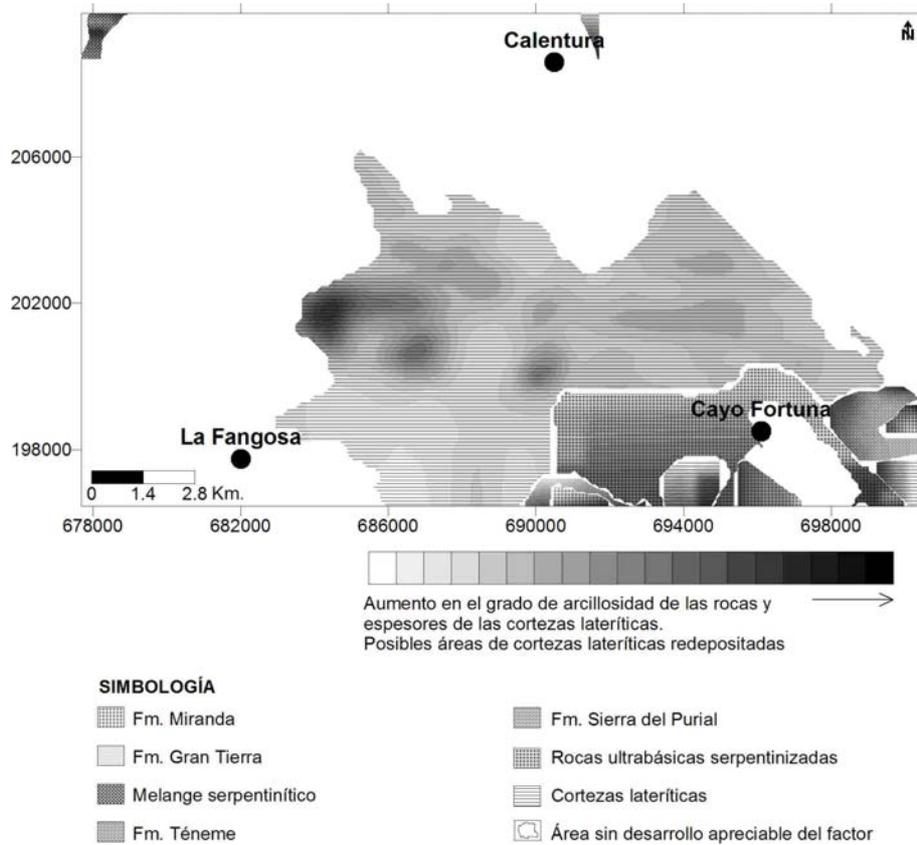


Figura 14. Variaciones en el grado de arcillosidad de las rocas, en los espesores de las cortezas lateríticas y delimitación de posibles áreas de cortezas lateríticas redepositadas del extremo suroeste del macizo ofiolítico Moa-Baracoa según el factor de eU y eTh.