

# **NUEVAS REGULARIDADES GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN MAYARÍ-SAGUA-MOA A PARTIR DE LA REINTERPRETACIÓN DEL LEVANTAMIENTO AEROGEOFÍSICO 1:50 000**

**(RESUMEN DE TESIS DOCTORAL / 2002)**

**José Alberto BATISTA-RODRÍGUEZ** / [jabatista@ismm.edu.cu](mailto:jabatista@ismm.edu.cu)

Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico

## **INTRODUCCIÓN**

La demanda de recursos naturales en el territorio nacional ha conllevado desde inicio del siglo XX a una intensificación de las investigaciones geológicas y geofísicas, que cubren el 100 % del territorio, con las que se ha profundizado en el conocimiento geológico regional y se han orientado los trabajos de prospección de minerales, llegando al descubrimiento de nuevos yacimientos.

En la región Mayarí-Sagua-Moa se ubican importantes yacimientos de lateritas ferroniquelíferas y de cromitas, lo que ha traído consigo la creación de una gran infraestructura minero-metalúrgica orientada a la explotación de estos recursos minerales. Desde principio del siglo pasado se han realizado numerosos trabajos dirigidos al aumento del conocimiento geológico del área y a la búsqueda y exploración de estas y otras materias primas, orientados tanto al aumento de las reservas como al hallazgo de nuevas acumulaciones minerales. La mayoría de estos trabajos carecen de investigaciones geofísicas y en los casos en que se han realizado, el uso de la información ha sido insuficiente.

A pesar de que en esta región se han desarrollado levantamientos geológicos a escalas que varían desde 1:250 000 hasta 1:50 000 y mayores en algunas localidades, existen discrepancias e imprecisiones en cuanto a la ubicación, extensión y límites de cuerpos, y estructuras geológicas importantes, lo cual limita la utilización de estos materiales para fines de prospección y exploración de los principales tipos de materias primas minerales que se pueden ubicar en la misma.

Las investigaciones geofísicas realizadas en esta región incluyen diferentes métodos geofísicos, tales como: magnetometría, gravimetría, geoelectricidad, radiometría, así como investigaciones geofísicas de pozos. Con los datos gravimétricos medidos se confeccionó un mapa gravimétrico a escala 1: 50 000, el cual no se utilizó en esta investigación debido a la poca representatividad de la información original en la mayor parte de la región de estudio. Estas investigaciones geofísicas cubren pequeñas áreas a diferencia del levantamiento aerogeofísico complejo a escala 1:50 000 que incluye información aerogamma espectrométrica y aeromagnética, el cual abarca en su totalidad la región investigada, razón por la cual es la información geofísica fundamental que se utiliza en esta investigación. Las investigaciones geofísicas mencionadas han tenido como finalidad la búsqueda de cromita y, en menor grado, de lateritas ferroniquelíferas, sin profundizar en las características geológicas y estructurales de la región, aspecto que denota el uso insuficiente de la información geofísica existente, a pesar de que esta región se caracteriza por una alta complejidad geológica y tectónica, en la cual recientemente han ocurrido eventos sísmicos - que han puesto en peligro las instalaciones que forman parte de la infraestructura minero-metalúrgica -, lo que confirma que algunas de las estructuras geológicas disyuntivas presentes en el área son tectónicamente activas, lo que ha motivado la realización de trabajos orientados a profundizar en las características de estas estructuras.

Por los motivos antes expuestos el problema de esta investigación radica en la necesidad de reinterpretar la información geofísica existente en el territorio para profundizar en el conocimiento geológico, a través del uso más eficiente de esta información, y con ello mejorar el modelo geólogo-geofísico existente y orientar los futuros trabajos de prospección de minerales.

Teniendo en cuenta este problema y que los estudio geofísicos suministran una base para la interpretación de los modelos de emplazamientos y la historia geológica de las fajas ofiolíticas y rocas asociadas, el presente trabajo tiene como objetivo:

- Revelar nuevas regularidades geológicas y geofísicas en el territorio Mayarí-Sagua-Moa a partir de la reinterpretación de datos aerogeofísicos, para enriquecer el conocimiento geológico del territorio, mejorar el modelo geólogo-geofísico existente y orientar los trabajos de prospección.

Para dar cumplimiento al objetivo planteado se realizó la reinterpretación del levantamiento aerogeofísico complejo 1:50 000, de la región Mayarí-Sagua-Moa, el que

está conformado por datos aerogamma espectrométricos y aeromagnéticos, teniendo en cuenta la amplia utilización que tienen en la actualidad estos datos durante la cartografía geológica y la prospección de yacimientos minerales.

El objeto de estudio de esta investigación comprende las secuencias rocosas y las estructuras geológicas enmarcadas dentro de la región Mayarí-Sagua-Moa, la cual ocupa un área aproximada de 3 754 Km<sup>2</sup>, comprendida entre el municipio Cueto al oeste y el poblado de Cayo Güin al este, extendiéndose de norte a sur desde la costa hasta la coordenada 199 500. En la misma aflora la faja ofiolítica Mayarí-Moa-Baracoa, en la cual afloran fundamentalmente unidades oceánicas correspondientes a las ofiolitas septentrionales, y a los arcos de islas volcánicos del Cretácico y del Paleógeno. Además de los tipos de yacimientos mencionados, en esta región aparecen zonas con perspectivas para localizar bauxitas y mineralizaciones asociadas a áreas de alteraciones hidrotermales.

Para lograr el objetivo propuesto se partió de la hipótesis de que si el comportamiento de los datos aerogamma espectrométricos y aeromagnéticos responde a las características geológicas y estructurales del territorio investigado, es posible revelar las regularidades geológicas y geofísicas del territorio y por ende, enriquecer el conocimiento geológico del territorio, mejorar el modelo geólogo-geofísico existente y orientar los trabajos de prospección.

La metodología seguida durante las investigaciones, en esencia no difiere de la que se lleva a cabo durante las investigaciones geológicas en general, desarrollada en tres etapas fundamentales. En la primera etapa se seleccionó el área de trabajo teniendo en cuenta la importancia económica que posee la región y la disponibilidad de la información, además se procedió a la revisión y recopilación de la información bibliográfica, culminando con un estudio petrofísico, particularmente de susceptibilidad magnética ( $\kappa$ ), en rocas ofiolíticas y volcano-sedimentarias.

En la segunda etapa se preparó y procesó la información aerogeofísica y geológica. En la primera parte de esta etapa toda la información disponible se llevó a formato digital, luego se elaboró la información aerogeofísica, según el siguiente orden: organización de la base de datos del levantamiento aerogeofísico, cálculo de las relaciones entre los radioelementos y la reducción al polo del campo magnético total, delimitación del comportamiento de los canales del levantamiento aerogeofísico y las relaciones calculadas entre ellos, en cada una de las formaciones y rocas ofiolíticas,

tratamiento estadístico para cada formación y tipo de roca de forma general y en áreas particulares y por último transformaciones del campo magnético.

El análisis estadístico se desarrolló en tres partes. Inicialmente se hizo el análisis general, durante el cual se procesó estadísticamente el conjunto de datos obtenidos del levantamiento aerogeofísico complejo determinándose la media, desviación estándar y rango de variación de los parámetros medidos y las relaciones calculadas entre ellos, luego se calculó la matriz de correlación. Posteriormente se realizó el tratamiento estadístico por formaciones y rocas ofiolíticas presentes en los sectores Mayarí y Sagua-Moa, cuyo tratamiento tiene características similares al de la etapa anterior e incluye la verificación del tipo de distribución de los parámetros medidos y las relaciones calculadas entre ellos, así como la aplicación del método de análisis de factores basado en las componentes principales. En la última parte del análisis estadístico se siguió el mismo procedimiento anterior pero en este caso, para las áreas de afloramientos de las diferentes formaciones y rocas ofiolíticas.

En función del objetivo de la investigación se realizaron diferentes transformaciones del campo magnético: reducción al polo, gradientes horizontales y verticales y la continuación analítica ascendente, así como su representación en forma de mapas de relieve sombreado, orientadas a resaltar las alineaciones y zonas de contactos, y los cuerpos geológicos que se ubican a diferentes profundidades. En esta etapa también se realizaron trabajos de control de campo.

En la tercera y última etapa se realizó la interpretación geólogo-geofísica, a partir de la cual se revelaron las regularidades geológicas y geofísicas que sirven como índices de búsqueda en futuros trabajos de prospección en el territorio, entre las que se pueden citar: delimitación de las áreas de desarrollo de lateritas ferroniquelíferas, alteraciones hidrotermales, así como de diferentes tipos de rocas, a partir de las concentraciones de eU, eTh, K y sus relaciones calculadas. También a partir de estas concentraciones se esclarecen aspectos relacionados con la génesis y desarrollo de los diferentes tipos de rocas, tales como grado de meteorización, arcillosidad, cambios de facies, contenido organógeno, enriquecimiento en materia orgánica, predominio en superficie y profundidad de material volcánico o serpentinitico, espesor, tipo de basamento, acidez, ubicación en el corte y alteraciones hidrotermales.

Con la interpretación del levantamiento aeromagnético se corroboró que el mismo constituye una herramienta indispensable durante la exploración de áreas con alta complejidad geológica, conformadas sobre todo por rocas ofiolíticas. También se

evidenciaron las principales deformaciones tectónicas en las ofiolitas y rocas asociadas, algunas de ellas ya reportadas y otras aún no descritas, las que 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 profundidad de rocas serpentinizadas y por ende las variaciones de espesores de las mismas y de las diferentes litologías, de los dos niveles fundamentales del corte ofiolítico y se definió el basamento de las rocas aflorantes. También se delimitaron las zonas donde las rocas volcano-sedimentarias cretácicas yacen sobre peridotitas serpentinizadas, denotando su carácter alóctono.

La aplicabilidad de esta investigación está dirigida hacia la prospección de yacimientos, fundamentalmente de lateritas ferroniquelíferas, cromitas y minerales asociados a las zonas de alteraciones hidrotermales. Además estos resultados sirven de base a los trabajos de cartografía geológica al aportar nuevos elementos geológicos y estructurales en esta región.

#### **Novedad científica**

- La aplicación en el territorio Mayarí-Sagua-Moa, de un conjunto de técnicas especiales para el procesamiento y reinterpretación de la información geológica y geofísica.
- El descubrimiento de nuevas regularidades geológicas y geofísicas, en particular para los yacimientos lateríticos, de la región Mayarí-Sagua-Moa.
- El mejoramiento del modelo geólogo-geofísico existente del territorio Mayarí-Sagua-Moa.

#### **Aportes científico-técnicos y prácticos de la tesis**

- El incremento sustancial del conocimiento geológico sobre el territorio Mayarí-Sagua-Moa, en relación con sus perspectivas para lateritas ferroniquelíferas, cromitas y otros minerales.
- El mejoramiento del modelo geólogo-geofísico existente en el territorio, lo que permite fundamentar científicamente las investigaciones futuras a desarrollar en el mismo.

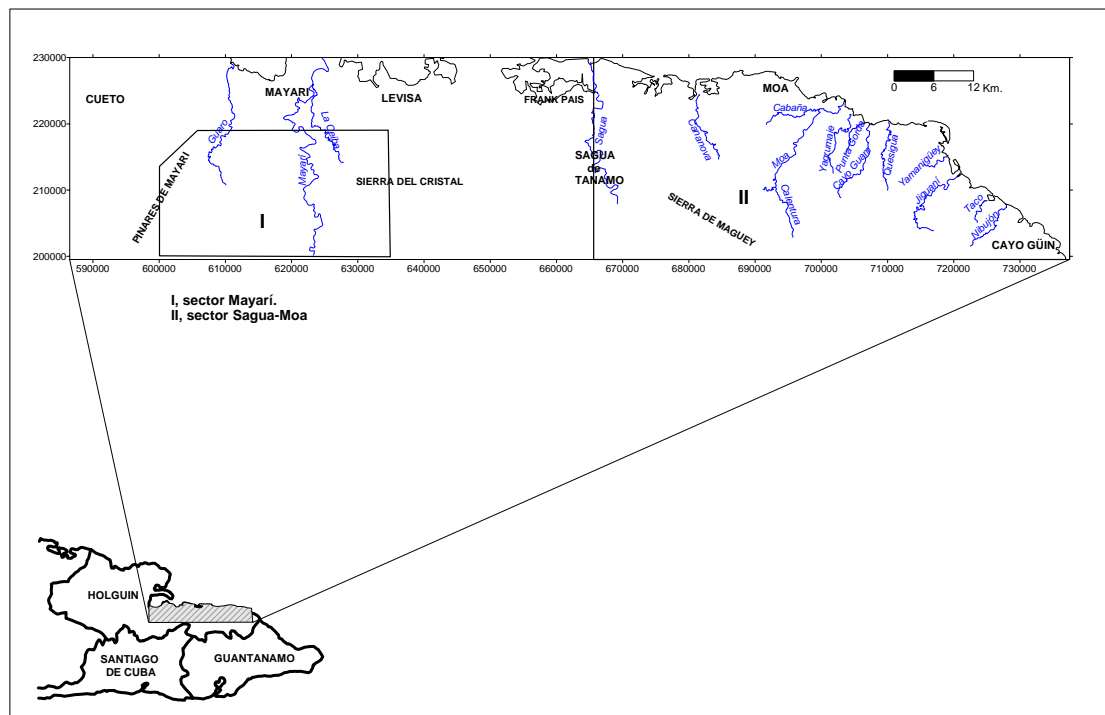
Durante el desarrollo de esta investigación se han confrontado diversas limitaciones dentro de las cuales se destacan por su influencia en la exactitud de los resultados obtenidos, las siguientes:

- Alta complejidad geólogo-tectónica y evolutiva de la región.
- Diferencias en el grado de estudio geológico y geoquímico entre las áreas que conforman la región.
- La ausencia de perforaciones profundas que confirmen los resultados obtenidos.
- La falta de recursos materiales para la ejecución de mediciones geofísicas terrestre en algunas áreas que así lo requieran.

## CAPÍTULO I

### CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL TERRITORIO

En este capítulo se establece la metodología seguida en la investigación, se analizan los trabajos geológicos y geofísicos precedentes, así como las características geológicas y petrofísicas de la región de estudio, que permitirán dar solución al objetivo propuesto. Por último se define el modelo geólogo-geofísico que fundamenta el desarrollo de la investigación.



**FIGURA 1.** Esquema de ubicación geográfica de la región Mayarí-Sagua-Moa

## Metodología de la investigación

La metodología seguida durante las investigaciones se desarrolla en tres etapas, las cuales se explican a continuación:

***Etapas preliminar:*** En esta etapa se estableció el área de trabajo, comprendida entre el municipio Cueto al oeste y el poblado de Cayo Güin al este, extendiéndose de norte a sur desde la costa hasta la coordenada 199 500, abarcando un área aproximada de 3 754 Km<sup>2</sup>, dentro de la región Mayarí-Sagua-Moa. Una vez establecida el área de trabajo, teniendo en cuenta la ubicación de los yacimientos ferroniquelíferos y las diferencias existentes entre Mayarí y Sagua-Moa en cuanto a sus características geológicas, se delimitaron dos sectores - Mayarí y Sagua-Moa -, para una profundización en la interpretación aerogeofísica. El sector Mayarí está comprendido entre Pinares de Mayarí al oeste y Sierra de Cristal al este, y de norte a sur se extiende desde la ciudad de Mayarí hasta la coordenada 200 000, abarcando un área aproximada de 787 Km<sup>2</sup>, mientras que el sector Sagua-Moa está comprendido entre el río Sagua al oeste y el poblado de Cayo Güin al este, extendiéndose de norte a sur desde la costa hasta la coordenada 199 500, abarcando un área aproximada de 1 482 Km<sup>2</sup> (Figura 1).

En esta etapa se procedió además, a la revisión y recopilación de información, durante la cual se consultaron diferentes trabajos geológicos y geofísicos realizados en la región de estudio y otros relacionados con la temática de investigación llevados a cabo en otras regiones del mundo. Culmina esta etapa con un estudio petrofísico, particularmente de susceptibilidad magnética, durante el cual el autor de esta investigación tomó un total de 500 muestras distribuidas en rocas ofiolíticas y volcano-sedimentarias.

***Etapas experimental:*** Se preparó y procesó la información. En esta etapa también se realizaron trabajos de control de campo. En su primera parte la información disponible se llevó a formato digital, mientras que en la segunda se realiza la elaboración de la información aerogeofísica, según el siguiente orden:

- Organización de la base de datos del levantamiento aerogeofísico.
- Cálculo de índices complejos ( $eU/eTh$ ,  $eU/K$ ,  $eTh/K$  y  $F=K.eU/eTh$ ) y la reducción al polo del campo magnético total (T).
- Delimitación del comportamiento de los canales del levantamiento aerogeofísico y las relaciones calculadas entre ellos, en cada una de las formaciones y rocas ofiolíticas.

- Tratamiento estadístico de forma general, y por formaciones y tipos de rocas ofiolíticas, así como por sus áreas de afloramientos en los sectores Mayarí y Sagua-Moa.
- Transformaciones del campo magnético para toda el área investigada (reducción al polo, cálculos de gradientes y continuación analítica ascendente).

***Etapas de representación e interpretación de la información:*** En la primera parte de esta etapa se representan todas las figuras y anexos recogidos en esta investigación. En la segunda parte, se realiza la interpretación final según el siguiente orden:

- Descripción e interpretación general de los mapas aerogamma espectrométricos y sus productos derivados.
- Interpretación de los resultados del tratamiento estadístico en los sectores Mayarí y Sagua-Moa, así como en las áreas de desarrollo de lateritas en la región de Moa.
- Interpretación del mapa de intensidad total del campo magnético y sus productos derivados.
- Análisis combinado de la información aerogeofísica

### **Trabajos geológicos y geofísicos precedentes**

La mayoría de los trabajos geológicos y geofísicos realizados en la región Mayarí-Sagua-Moa, se han dirigido a evaluar desde el punto de vista geológico y económico las grandes reservas minerales asociadas al cinturón ofiolítico del noreste de Holguín y en menor grado a profundizar en el conocimiento geológico de la región.

Las primeras investigaciones profundas de carácter regional se realizan en la década de los sesenta, donde cabe mencionar los trabajos de los especialistas de la antigua Unión Soviética A. Adamovich y V. Chejovich (1963, 1964), que constituyeron un paso fundamental en el conocimiento geológico del territorio oriental y esencialmente para las zonas de desarrollo de cortezas de intemperismo ferroniquelíferas.

En esta misma década se desarrollan trabajos para la prospección de yacimientos de cromitas en el macizo Moa-Baracoa (Kenarev, 1965; Demen y Kosarieski, 1966), a los cuales se le suma el trabajo de Murashko en 1996.



V.M. Ogarkov en 1967 realiza trabajos de búsqueda de níquel en los yacimientos del macizo Moa-Baracoa, fundamentalmente en la zona del río Moa. En los mismos se calcularon las reservas para níquel.

En 1974 Knipper y Cabrera, plantean que los cuerpos de rocas ultrabásicas serpentinizadas representan fragmentos de litosfera oceánica que se deslizaron por planos de fallas profundas hasta la superficie donde se emplazaron sobre formaciones sedimentarias del Cretácico en forma de mantos tectónicos. Sus investigaciones no aportan información novedosa al esquema estratigráfico regional, pero abren una nueva dirección al indicar la presencia de mantos tectónicos constituidos por rocas ultrabásicas.

En 1972 se inician investigaciones de carácter regional del territorio oriental cubano por especialistas del Departamento de Geología de la Universidad de Oriente, luego Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM). En 1976 se estableció que la tectónica de sobrepunto afecta también a las secuencias sedimentarias fuertemente dislocadas, detectando en numerosas localidades la presencia de mantos alóctonos constituidos por rocas terrígenas y volcánicas del Cretácico Superior yaciendo sobre secuencias terrígenas del Maestrichtiano-Paleoceno Superior, planteando además el carácter alóctono de los conglomerados-brechas de la formación La Picota, demostrándose posteriormente que estas secuencias son típicas de la cuenca superpuesta al arco volcánico del Cretácico. Con estos nuevos elementos es reinterpretada la geología del territorio y se esclarecen aspectos de vital importancia para la acertada valoración de las reservas minerales. Como resultado de estos trabajos en 1978 Cobiella propone un esquema tectónico que resume una nueva interpretación estratigráfica y paleogeográfica de Cuba oriental delimitando cinco zonas estructuro faciales.

En el período 1972-1976 se realiza el levantamiento geológico de la antigua provincia de oriente a escala 1: 250 000 por la brigada cubano-húngara de la Academia de Ciencias de Cuba, siendo el primer trabajo que generaliza la geología de Cuba oriental.

En el periodo 1980-1985 el Departamento de Geomorfología del Centro de Investigaciones Geológicas en colaboración con la Facultad de Geología del ISMMM, desarrolló el tema de investigación Análisis Estructural del Macizo Mayarí-Baracoa donde se analiza por primera vez de forma integral para todo el nordeste de Holguín el

grado de perspectividad de las cortezas de intemperismo ferroniquelíferas en dependencia de las condiciones geólogo-geomorfológicas, a través de la aplicación de métodos morfométricos y de fotointerpretación.

Desde el punto de vista tectónico de carácter regional adquieren importancia relevante las investigaciones realizadas por M. Campos (1983, 1990), en su estudio tectónico de la porción oriental de las provincias Holguín y Guantánamo, donde propone siete unidades tectono-estratigráficas para el territorio, describiendo las características estructurales de cada una de ellas y estableciendo los periodos de evolución tectónica de la región.

En 1989 Quintas realizó el estudio estratigráfico del extremo oriental de Cuba, proponiendo las asociaciones estructuro-formacionales que constituyen ese extenso territorio así como las formaciones que las integran, realizando la reconstrucción paleogeográfica del Cretácico al Paleógeno, intervalo cronológico de mayor complejidad para la geología de la región oriental. En este mismo año (1989) Nekrasov y otros, y Andó y otros, realizan investigaciones en las ofiolitas orientales de Cuba, llegando a establecer divisiones tectónicas de la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa, así como diferentes características geológicas y petrológicas de las mismas.

En 1990 se concluye el levantamiento geológico a escala 1: 50 000 en el polígono CAME Guantánamo por especialistas cubanos y húngaros, el cual constituye uno de los trabajos más integrales sobre la geología de la región, al abordar todas las vertientes del trabajo geológico con un gran volumen de información textual y gráfica.

En estos últimos años se han intensificado las investigaciones geológicas en la región oriental de Cuba efectuadas por el Departamento de Geología del ISMMM. Ejemplos de ellos es la tesis de doctorado de A. Rojas (1995), en la cual se analizan las principales fases minerales portadoras de níquel en los horizontes lateríticos del yacimiento Moa; J. Proenza (1997), dirigida al estudio de la mineralización de cromita en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba), con ejemplo del yacimiento Mercedita; A. Rodríguez (1998a) en la cual se efectúa un estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgo de génesis tectónica. También la tesis de maestría de E. Crespo (1996), en la cual se realiza un análisis estratigráfico del Oligoceno en Cuba oriental; L. Ramayo (1996), donde estudia los flujos de dispersión mecánica de la región de Moa desde el punto de vista mineralógico y geoquímico, describiendo zonas de alteraciones hidrotermales; J. Blanco (1999), en la cual se realiza una profundización en el conocimiento geológico y tectónico de Moa; A. Vila (1999),

estudia la distribución del oro en los depósitos exógenos de la región Sagua-Moa, destacando las principales zonas de alteraciones hidrotermales vinculadas con las cortezas lateríticas. A estas investigaciones se le suman los trabajos de diplomas desarrollados cada año en esta región.

Desde el punto de vista geofísico se han realizado numerosos trabajos, por Zamashikov y Tabachkov, 1971; Dzuena y otros, 1974; Liuby, 1983; Chang y otros, 1990, 1991; Batista, 1998, orientados fundamentalmente a la búsqueda de cromo y áreas de desarrollo de lateritas ferroniquelíferas. El problema principal de estas investigaciones fue la determinación de la efectividad de estos métodos en el descubrimiento y seguimiento de yacimientos de cromitas metalúrgicas fundamentalmente aquellos con reservas de 40 000-100 000 tn.

### **Características geológicas del territorio**

El área de estudio se enmarca dentro de la región oriental de Cuba, la cual desde el punto de vista geológico se caracteriza por la presencia de las secuencias del cinturón plegado cubano y las rocas del “neoa autóctono” (Iturralde-Vinent, 1996a, 1996b, 1996c, 1998; Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999a, 2000a, 2000b) (Anexo 1). En los macizos rocosos de Mayarí y Sagua-Moa-Baracoa afloran fundamentalmente unidades oceánicas correspondientes a las ofiolitas septentrionales, y a los arcos de islas volcánicos del Cretácico y del Paleógeno (Cobiella, 1988, 1997, 2000; Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1995, 1996, 1998; Proenza, 1997, Proenza y otros, 1999c; 2000a, 2000b). Las ofiolitas septentrionales en la región de estudio están enmarcadas dentro de la llamada faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Iturralde-Vinent, 1994, 1996a, 1996b, 1998). Sus principales afloramientos están representados por los Macizo Mayarí-Cristal y Moa-Baracoa (Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999a).

Desde el punto de vista tectónico la región se caracteriza por su gran complejidad, predominando las estructuras disyuntivas de direcciones NW y NE (Rodríguez, 1998a, 1998b).

### Caracterización petrofísica

En la región de estudio las rocas ígneas presentan los mayores valores de susceptibilidad magnética, en orden le siguen las rocas volcano-sedimentarias y sedimentarias (Zamashikov y Tobachkov, 1971; Dzuena y otros, 1974; Rodríguez, 1982; Chang y otros, 1990, 1991) (Tabla 1). Esta propiedad magnética aumenta con el grado de serpentización de las rocas ígneas, de lo cual se infiere que las mayores intensidades positivas del campo magnético deben estar relacionadas con las características geológicas y estructurales de las rocas ultrabásicas serpentizadas, teniendo en cuenta que ocupan la mayor parte del territorio. En áreas muy restringidas pueden estar provocadas por piroxenitas y diabasas.

**TABLA 1.** Susceptibilidad magnética ( $K \times 10^{-6}/4\pi SI$ ) de los principales tipos de rocas que conforman la región Mayarí-Sagua-Moa. Según datos propios y bibliográficos (Zamashikov y Tobachkov, 1971; Dzuena y otros, 1974; Rodríguez, 1982; Chang y otros, 1990, 1991).

Tipos de rocas	Intervalo	Media
Sedimentarias	0 – 600	50
Volcano-sedimentarias	0 – 890	100
Diabasas	4 – 5 025	2 400
Gabros	10 - 900	107
Dunitas	500 – 3 200	1 000
Dunitas serpentizadas	20 - 7200	1440
Harzburgitas	500 – 3 900	1 179
Harzburgitas serpentizadas	10 – 9 150	1423
Piroxenitas	390 – 4 630	2 410
Lateritas	60 000 – 180 000	143 000

Por otro lado, según la bibliografía consultada las mayores concentraciones de eU, eTh y K deben presentarse en las zonas de desarrollo de cortezas de meteorización (Saager y otros, 1987; Taylor y McLennan, 1985; Portnov, 1987; McLennan, 1989; Braun y otros, 1993), así como en aquellas que las rocas poseen mayor grado de arcillosidad y acidez (Galbraith y Saunders, 1983; Saager y otros, 1987; Wellman, 1998b), y contenido de materia orgánica (Watanabe, 1987; Requejo y otros, 1994).

### Conclusiones del capítulo

Se define el modelo geólogo-geofísico que fundamenta el desarrollo posterior de la investigación, cuyas características se resumen a continuación:

- En la región afloran mayoritariamente rocas ofiolíticas sobre las cuales se han desarrollados potentes cortezas de meteorización, sobre todo en las rocas ultrabásicas serpentinizadas, que han dado lugar a la formación de grandes yacimientos de lateritas ferroniquelíferas-cobaltíferas, caracterizados por altos contenidos de eTh. En algunas zonas se reportan lateritas redepositadas sobre rocas sedimentarias con similares características. Vinculados a las rocas ofiolíticas también aparecen yacimientos de cromitas. Estas ofiolitas pertenecen a la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa, la cual tiene una longitud de 170 Km. y un espesor que en ocasiones sobrepasa los 1000 m. Dentro de ella se diferencian dos macizos: Mayarí-Cristal, compuesto por los niveles de tectonitas y diques de diabasas, con un espesor que oscila entre 1 y 1.5 Km. el otro macizo es Moa-Baracoa, compuesto fundamentalmente por los niveles de tectonitas y cumulativo, y en menor grado el complejo efusivo-sedimentario. El primero presenta un espesor de 1 Km., el segundo de 500 m y el último de 1.2 Km. De forma general las áreas de afloramientos de estas rocas se caracterizan por baja radiactividad, sobre todo por bajos contenidos de K.
- En esta región, en menor grado afloran rocas volcano-sedimentarias, sedimentarias y metamórficas. Los mayores valores de K se registran en las ofiolitas, específicamente en las rocas pertenecientes a los niveles de tectonitas, aumentando en la medida que las mismas están más serpentinizadas. En orden le siguen las rocas volcano-sedimentarias, sedimentarias y metamórficas, con valores muy bajos de K comparados con las peridotitas.
- Las ofiolitas se encuentran cabalgando a las rocas volcano-sedimentarias cretácicas, las cuales están cubiertas por las formaciones Mícara y La Picota, compuestas por bloques provenientes de las ofiolitas y los volcánicos cretácicos. Se considera que las rocas cretácicas poseen un basamento metamórfico. Las ofiolitas en algunas partes están cubiertas por formaciones sedimentarias y volcano-sedimentarias paleogénicas, y en ocasiones cretácicas. En estos dos tipos de rocas y algunas sedimentarias (Formaciones Mícara y La Picota), se reportan alteraciones de carácter hidrotermal, las cuales se caracterizan por altos contenidos de K y eU, y valores negativos del campo magnético.
- La región se encuentra afectada por sistemas de fallas de dirección NE y NW fundamentalmente, las cuales tienen su reflejo en el comportamiento del campo

magnético a partir de zonas alineadas en los mapas de relieve sombreados, las cuales en ocasiones sugieren nuevos sistemas de fallas.

- En gran parte de las formaciones sedimentarias están presentes fases arcillosas y altos contenidos fosilíferos, caracterizadas por altas concentraciones de eU.
- En la región Sagua-Moa, con los datos aeromagnéticos se establece la distribución en profundidad y espesores de las rocas ultrabásicas serpentinizadas. Específicamente en Moa, estos datos sugieren profundidades algo superiores a las señaladas en los trabajos geológicos precedentes.
- Por otro lado, según la bibliografía consultada las mayores concentraciones de eU, eTh y K deben presentarse en las zonas de desarrollo de cortezas de meteorización, así como en aquellas que las rocas poseen mayor grado de arcillosidad y acidez, y contenido de materia orgánica.

## **CAPÍTULO II**

### **INTERPRETACIÓN AEROGAMMA ESPECTROMÉTRICA DE LA REGIÓN MAYARÍ-SAGUA-MOA**

En este capítulo se realiza la interpretación de los datos aerogamma espectrométricos de la región, de los resultados del tratamiento estadístico de los datos aerogeofísicos en los sectores Mayarí y Sagua-Moa, y en las lateritas de Moa, concluyendo con el descubrimiento de nuevas regularidades geológicas y geofísicas, con las cuales se perfecciona el modelo geólogo-geofísico de partida.

#### **Interpretación aerogamma espectrométrica de la región Mayarí-Sagua-Moa**

A partir del análisis de los mapas aerogamma espectrométricos se construyó un catálogo de anomalías en el cual se recogen sus principales índices radiométricos y características geológicas. Con el tratamiento estadístico de los datos aerogeofísicos se confeccionaron tablas de matrices de correlación y variaciones de los contenidos de eU, eTh y K, así como de sus relaciones y  $\frac{eU}{K}$ , en cada una de las formaciones y áreas de afloramientos en los sectores Mayarí y Sagua-Moa. Estos materiales permiten orientar futuros trabajos de cartografía geológica y prospección de yacimientos minerales en la región de estudio.

También con este análisis se revelan nuevas regularidades geológicas y geofísicas en el territorio, que enriquecen y mejoran el modelo geólogo-geofísico

definido inicialmente a partir de los trabajos precedentes. Las mismas se mencionan a continuación y a su vez están recogidas en las figuras, anexos y tablas (Ver Anexo 11).

Las áreas de afloramientos de rocas volcano-sedimentarias, fundamentalmente las paleogénicas, se delimitan generalmente con valores de  $I_{\alpha}$  por encima de 3  $\alpha$ r/h, lo cual se logra con mayor exactitud utilizando las concentraciones de 0.4 % de K.

Los afloramientos de rocas ofiolíticas sin desarrollo apreciables de cortezas de meteorización se caracterizan por baja radiactividad.

La mayor parte de las áreas de desarrollo de lateritas ferroniquelíferas se delimitan con las isolíneas de 2 ppm de eTh y eU,  $1 \times 10^{-3}$  de eTh/K y  $5 \times 10^{-4}$  de eU/K. Con ayuda de estos parámetros se delimitan zonas de lateritas no señaladas en los mapas geológicos tomados como base para este análisis.

En la región de estudio las mayores concentraciones de K aparecen en rocas volcano-sedimentarias cretácicas al sur de Sagua de Tánamo, asociadas a sistemas de fallas, sugiriendo un origen hidrotermal de estas concentraciones. Los altos contenidos de K en las rocas volcánicas e ígneas indican la posible existencia de alteraciones hidrotermales. En ocasiones se manifiesta en algunas formaciones sedimentarias como la Fm. Mícara lo que evidencia este fenómeno, además de un predominio en superficie de material volcánico y posiblemente el afloramiento de su basamento de rocas volcánicas cretácicas.

Las áreas en las cuales se desarrollan procesos hidrotermales se identifican por anomalías de K y F, bajos valores de las relaciones eTh/K y eU/K y elevados valores de la relación eU/eTh. De forma general estos procesos en las rocas volcano-sedimentarias y la Fm. Mícara, se delimitan con las isolíneas de 1.2 % de contenido de K,  $2 \times 10^{-2}$  de K.eU/eTh, de valores iguales o menores de  $2 \times 10^{-4}$  de eTh/K y eU/K. En las rocas ofiolíticas se delimitan con las isolíneas de valores iguales o mayores de 0.4 % de K y  $2 \times 10^{-4}$  de eU/K.

Las mayores concentraciones de eU y eTh en la región se asocian a áreas de desarrollo de lateritas ferroniquelíferas en las que se ubican los principales yacimientos. Las mayores concentraciones de estos elementos en las lateritas de Moa, corroboran que estas poseen un mayor tiempo de formación, desarrollo, espesor y grado de madurez que las desarrolladas en Mayarí. En ellas los contenidos de eU y eTh varían en correspondencia con su génesis, tipo, tiempo de formación y potencias, según los

resultados del análisis de las lateritas de Moa. Los contenidos de K también señalan la presencia de alteraciones hidrotermales.

Es posible utilizar el factor F y las relaciones  $eU/K$  y  $eTh/K$  para delimitar las áreas de desarrollo de alteraciones hidrotermales y las áreas de cortezas de meteorización.

Del análisis de las matrices de correlación se manifiestan las diferentes características de las rocas que se desarrollan en la región y las relaciones entre ellas. Con ayuda de los mapas de factores calculados se establecen las variaciones laterales de las características geológicas de las diferentes formaciones, tales como meteorización, arcillosidad, cambios de facies, contenidos organógeno, predominio en superficie y profundidad de material volcánico o serpentinitico, espesor, tipo de basamento, acidez, ubicación en el corte, alteraciones hidrotermales y la presencia de lateritas redepositadas sobre formaciones sedimentarias y volcano-sedimentarias.

### **CAPÍTULO III**

#### **INTERPRETACIÓN AEROMAGNÉTICA Y ANÁLISIS COMBINADO DE LA INFORMACIÓN AEROGEOFÍSICA DE LA REGIÓN MAYARÍ- SAGUA-MOA**

En este capítulo se realiza la interpretación cualitativa y cuantitativa de los datos aeromagnéticos, el análisis combinado de la información aerogeofísica, se resumen las principales regularidades geológicas y geofísicas reveladas a partir de la interpretación de los datos aerogeofísicos, se concreta la aplicabilidad de este levantamiento en la región objeto de estudio, culminando con los aspectos metodológicos a tener en cuenta durante la ejecución de los trabajos de comprobaciones de campo.

##### **Interpretación aeromagnética y análisis combinado de los datos aerogeofísicos**

Con este análisis se corroboró que el levantamiento aeromagnético constituye una herramienta muy importante durante la exploración de áreas con alta complejidad geológica conformadas sobre todo por rocas ofiolíticas. Con el mismo se revelan nuevas regularidades geológicas y geofísicas en el territorio investigado, que sirven como índices de búsqueda para las futuras investigaciones, teniendo en cuenta que las



anomalías geofísicas cuya existencia esté condicionada por la presencia de acumulaciones minerales en el subsuelo pueden servir como índices de búsqueda directos, mientras que las relacionadas con la heterogeneidad del medio pueden constituir índices de búsqueda indirectos (Vladimirovich y Ariosa, 1986). Los elementos de estas regularidades enriquecen y mejoran el modelo geólogo-geofísico definido inicialmente, ya enriquecido con los resultados de la interpretación aerogamma espectrométrica y del tratamiento estadístico. Tales elementos se mencionan a continuación y se recogen en las tablas y anexos, sobre todo en el esquema de interpretación final (Anexo 19).

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 espesores de las mismas y de las diferentes litologías, de los dos niveles fundamentales del corte ofiolítico y se definió el basamento de las rocas aflorantes, coincidiendo con investigaciones realizadas anteriormente en el territorio (Chang y otros, 1990, 1991; Batista, 1998; Batista y Rodríguez, 2000) y en otras regiones del mundo (Papayannopoulou-Economidou y Zaigham y Mallick, 1994, 2000; Chernicoff y Paterlini, 1998; Gunn y otros, 1998; Chernicoff y Zapata, 1998). También se delimitaron las zonas donde las rocas volcano-sedimentarias cretácicas yacen sobre peridotitas serpentinizadas. Este análisis también permite suponer que al sur de la Sierra Cristal las rocas serpentinizadas deben alcanzar sus mayores espesores o presentar un basamento metamórfico muy magnético próximo a la superficie. Para corroborar lo mismo serían necesario estudios más detallados o perforaciones profundas en la región.

Generalmente en las áreas de los yacimientos lateríticos el campo magnético presenta valores negativos, sugiriendo poco espesor de los cuerpos serpentiniticos sobre los cuales se desarrollan, motivado tal vez por su ubicación en zonas periféricas del macizo ofiolítico o donde existe un horts tectónico en el cual ha ocurrido la erosión de las litologías más superficiales, o ambas condiciones a la vez.

Las principales estructuras disyuntivas y circulares presentes en la región se reflejan en el campo magnético, en el primer caso, a partir de zonas anómalas alargadas, anomalías alineadas y altos gradientes, coincidiendo con investigaciones anteriores en otras regiones del mundo por Naidu y Mathew (1998), Demanet y otros (2000), Grauch y Millegan (2000), Belocky y otros, (2001) y Grauch y otros (2001). Este último elemento, pero de forma circular, caracteriza al segundo tipo de estructuras

mencionadas, por lo que, se puede establecer la presencia y principales características de estas estructuras a partir de la morfología del campo magnético, la que muestra también otras zonas que pudieran constituir contactos tectónicos o litológicos no reportados hasta el momento. Por otro lado es posible determinar la profundidad hasta donde estas estructuras poseen un comportamiento magnético. Estos elementos constituyen una herramienta durante la aclaración del carácter supuesto o probado de determinadas estructuras disyuntivas.

Finalmente con las características aerogamma espectrométricas y aeromagnéticas, estas últimas definidas por anomalías negativas, alargadas, vinculadas con sistemas de fallas, se delimitaron zonas de probables alteraciones hidrotermales siempre que en las mismas se encuentren las litologías apropiadas, lo cual orienta los trabajos de prospección de metales preciosos y los de explotación en los yacimientos de lateritas ferroniquelíferas. Tales resultados coinciden con trabajos realizados anteriormente en esta región (Batista, 1998; Batista y Rodríguez, 2000) y en otras partes del mundo (Rystrom y otros, 2001). De la misma manera se delimitan las ventanas tectónicas. También se definieron los sectores con aumento de la serpentización a lo largo de las zonas de fallas, así como la cercanía a la superficie y el afloramiento de rocas ultrabásicas en aquellos lugares donde se describen otras litologías.

Con el modelaje interactivo se corroboró que las principales anomalías positivas del campo magnético se deben a la presencia en superficie y profundidad de rocas ultrabásicas, fundamentalmente serpentizadas, las cuales poseen profundidades de hasta 3 Km. También se corroboró que las anomalías magnéticas negativas están relacionadas con el poco espesor de las rocas ultrabásicas aflorantes y con la presencia en superficie y profundidad de rocas sedimentarias, volcano-sedimentarias y cuerpos de gabros. Con este modelaje también se conoce que los cuerpos de gabros aflorantes en los perfiles modelados, no sobrepasan los 100 m de profundidad.

Como resultado de la interpretación geólogo-geofísica en el territorio se muestra una tabla en la cual se recogen las principales regularidades geológicas y geofísicas reveladas (Tabla 20), con lo cual se enriquece el conocimiento geológico de esta región y se orientan con mayor eficiencia los trabajos de prospección. Por último se propone un modelo geólogo-geofísico perfeccionado a partir de las nuevas regularidades geológicas y geofísicas reveladas, así como aquellos elementos a tener en cuenta durante la ejecución de los trabajos de comprobaciones de campo.

## CONCLUSIONES

1. Con los resultados de la investigación se revelaron nuevas regularidades geológicas y geofísicas, y se construyó un modelo geólogo-geofísico del territorio, con el cual se pueden planificar con mayor eficiencia los trabajos de prospección de minerales, así como evaluar las potencialidades para localizar lateritas ferroniquelíferas, cromititas y metales preciosos asociados a procesos hidrotermales. Dentro de las principales regularidades geológicas aparecen las variaciones laterales del grado de meteorización, arcillosidad, contenido organógeno, acidez, predominio en superficie y profundidad de material volcánico y serpentinitico, espesores y basamento de las formaciones y rocas ofiolíticas, así como del tiempo de formación, espesores, grado de desarrollo y madurez de las lateritas. También se delimitan nuevas áreas de desarrollo de lateritas, alteraciones hidrotermales y de posibles estructuras disyuntivas.
2. Para la región investigada los afloramientos de rocas volcano-sedimentarias, fundamentalmente paleogénicas, se delimitan con las isolíneas de  $3 \text{ } \mu\text{r/h}$  de  $I_{\square}$ , lo cual se logra con mayor exactitud utilizando las isolíneas de  $0.4 \%$  de K. El mayor porcentaje de las áreas de desarrollo de lateritas ferroniquelíferas se delimitan con las isolíneas de  $2 \text{ ppm}$  de eTh y eU,  $1 \times 10^{-3}$  de eTh/K y  $5 \times 10^{-4}$  de eU/K. Con ayuda de estos parámetros se delimitan zonas de lateritas no señaladas en los mapas geológicos tomados como base para este análisis. Las áreas de desarrollo de procesos hidrotermales se identifican por anomalías de K y F, bajos valores de las relaciones eTh/K y eU/K, elevados valores de la relación eU/eTh y valores negativos del campo magnético, por debajo de  $-25 \text{ nT}$ , asociados a zonas de fallas. De forma general estos procesos en las rocas volcano-sedimentarias y la Fm. Mícará, se delimitan con las isolíneas de  $1.2 \%$  de contenido de K,  $2 \times 10^{-2}$  de  $K \cdot eU/eTh$ , de valores iguales o menores de  $2 \times 10^{-4}$  de eTh/K y eU/K. En las rocas ofiolíticas se delimitan con las isolíneas de valores iguales o mayores de  $0.4 \%$  de K y  $2 \times 10^{-4}$  de eU/K.
3. En la región investigada las relaciones entre los elementos radiactivos en las rocas sedimentarias demuestran la presencia de diferentes grados de meteorización, arcillosidad y enriquecimiento en materia orgánica de los suelos desarrollados sobre ellas, así como determinados cambios faciales. En las rocas volcano-sedimentarias estas relaciones indican variaciones en el grado de meteorización, arcillosidad, acidez y espesor, así como su ubicación en el corte de la formación, tipo de

basamento y la presencia de zonas de posibles alteraciones hidrotermales. En las ofiolitas estas relaciones destacan diferentes grados de meteorización, variaciones de los espesores y del nivel del corte ofiolítico aflorante. También se ubican zonas de probables alteraciones hidrotermales. Por último, en las rocas metamórficas ubicadas en el sector Sagua-Moa se establecen las variaciones laterales de su grado de meteorización y acidez. Las características mencionadas se muestran en los mapas de factores.

4. Las concentraciones de eU y eTh corroboran que las cortezas lateríticas de la región de Moa poseen mayor desarrollo, espesor y grado de madurez que las existentes en Mayarí, sugiriendo además que las de Moa son más antiguas, teniendo en cuenta que tales concentraciones en las lateritas varían en correspondencia con su génesis, tipo, tiempo de formación y potencias. A partir de las concentraciones de eU, eTh y K se revelan variaciones laterales en el tiempo de formación, desarrollo y espesor de las lateritas y rocas subyacentes, así como las características geomorfológicas y la posible presencia de alteraciones hidrotermales en las mismas. Esto último es muy importante para orientar los trabajos de explotación minera y buscar metales preciosos asociados a dichas lateritas. Las zonas de lateritas redepositadas presentan mayor contenido de eU y eTh que las in situ. Estos contenidos también son mayores en aquellas que tienen mayores espesores, así como las desarrolladas o redepositadas sobre serpentinitas, con respecto a las que aparecen sobre gabros y rocas volcano-sedimentarias. La mayor radiactividad de las rocas que afloran en el sector Sagua-Moa con respecto a las de Mayarí, refleja un mayor grado de meteorización, arcillosidad y acidez de las mismas, así como un predominio de las rocas de los niveles superiores del corte ofiolítico.
5. En el campo magnético de la región investigada se reflejan las principales deformaciones tectónicas reportadas, en las ofiolitas y rocas asociadas, así como las profundidades probables hasta las cuales se extienden las mismas. También se manifiestan zonas de posibles estructuras disyuntivas no descritas hasta el momento. La combinación del comportamiento del campo magnético y las características aerogamma espectrométricas, permitieron delimitar las zonas con predominio en superficie y profundidad de rocas serpentinizadas y por ende las variaciones de espesores de las mismas y de las diferentes litologías, de los dos niveles fundamentales del corte ofiolítico. También se define el basamento de las rocas

aflorantes y las zonas donde las rocas volcano-sedimentarias cretácicas yacen sobre rocas ultrabásicas serpentinizadas.

6. Con todos los elementos anteriormente expuestos se profundiza en el conocimiento geológico del territorio, se mejora el modelo geólogo-geofísico existente y se orientan los trabajos de prospección.
7. En la región Mayarí-Sagua-Moa los datos aerogeofísicos se pueden utilizar en el cartografiado geológico y la prospección de yacimientos minerales, específicamente para delimitar y caracterizar las áreas de desarrollo de alteraciones hidrotermales y cortezas de meteorización, sobre todo ferroniquelíferas, lo cual tiene gran importancia económica por las altas concentraciones de Fe, Ni y Co asociados a estas cortezas, y la presencia en ocasiones de metales preciosos en las zonas alteradas hidrotermalmente. En las ofiolitas se pueden delimitar las variaciones de los espesores de los dos niveles fundamentales del corte ofiolítico en esta región, cobrando gran importancia para la ubicación de los depósitos de cromitas. De forma general se pueden revelar variaciones laterales de las características geológicas y estructurales, sirviendo de base para futuros trabajos sismológicos teniendo en cuenta la gran inestabilidad sísmica de esta zona.

### **RECOMENDACIONES**

1. Utilizar las regularidades geológicas y geofísicas reveladas, y el modelo geólogo-geofísico perfeccionado, en futuros trabajos de prospección de minerales en el territorio.
2. Llevar a cabo un trabajo detallado en las zonas donde se presentan las principales anomalías aerogamma espectrométricas, destinado a realizar mediciones terrestres de los contenidos de los radioelementos analizados, tomar muestras y realizar análisis químicos y mineralógicos, y determinar con ayuda de la información acumulada la naturaleza de tales anomalías aerogamma espectrométricas observadas. De la misma manera realizar un levantamiento geológico al sur de la Sierra Cristal, donde se observan las anomalías magnéticas de mayores intensidades.
3. Tener presente durante la explotación de los yacimientos ferroniquelíferos de la región Mayarí y Moa, la ubicación de las áreas de alteraciones hidrotermales, delimitadas a partir de la interpretación de los datos aerogeofísicos y algunas verificaciones de campo.

4. Aplicar otros métodos geofísicos en la región que corroboren los resultados obtenidos y aporten nuevos elementos a considerar desde el punto de vista geológico.
5. Validar la metodología seguida en esta investigación en estudios más detallados para determinar su aplicación durante la prospección.
6. Confeccionar un Sistema de Información Geográfica con la información incluida en esta investigación.
7. Extender este tipo de trabajo, capaz de detectar nuevas regularidades geológicas a otras regiones del país, aprovechando la información aerogamma espectral que lo cubre.

#### **PUBLICACIONES DEL AUTOR VINCULADAS CON EL TEMA**

**BATISTA, J.** Características geológicas y estructurales de la región de Moa a partir de la interpretación del levantamiento aeromagnético 1:50 000. Tesis de Maestría. Centro de Información. ISMMM, 1998. 79 p.

----- Estadística aplicada a la interpretación del levantamiento aerogeofísico complejo de la región Mayarí-Sagua-Moa (Cuba oriental). En: III Conferencia Internacional sobre la geología de Cuba, El Golfo de México y El Caribe noroccidental. Universidad de Pinar del Río, 2000a.

----- Características geológicas de la región de Mayarí según datos aerogeofísicos. En: III Conferencia internacional de Geología y Minería (GEOMIN 2000). ISMMM, 2000b.

----- Metodología para la recuperación de la matriz digital de las observaciones de un levantamiento geofísico. *Minería y Geología*, 17(2) :23-26, 2000c.

**BATISTA, J. y J. BLANCO.** Características aerogamma espectrométricas de la región Mayarí-Moa (Cuba oriental). En: I Congreso cubano de Geofísica. La Habana, 2000.

----- Características aerogeofísicas de las zonas de desarrollo de lateritas ferroniquelíferas y áreas adyacentes en la región Mayarí-Moa. En: X Simposio de las Investigaciones del Níquel. Moa. 2001.

**BATISTA, J. y L. RAMAYO.** 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), 2000a, p. 424-431.

**BATISTA, J. y L. RAMAYO.** 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, 2000b.

**BATISTA, J. y A. RODRÍGUEZ.** Particularidades geológicas del complejo ofiolítico de Moa a partir de los datos aeromagnéticos 1:50 000. *Minería y Geología*, 17(1):17-25, 2000.

**DÍAZ, R., J. BATISTA, J. BLANCO, R. GONZÁLEZ.** Caracterización geológica del Placer Mejías mediante el estudio fotogeológico y la interpretación de anomalías magnéticas. *Revista Minería y Geología (Cuba)*. (XIV)1, 13-17, 1997.

### **BIBLIOGRAFÍA BÁSICA FUNDAMENTAL**

**ADAMOVICH A. y V.D. CHEJOVICH.** Estructuras geológicas y minerales útiles de la región Nipe - Cristal, provincia de Oriente. O.N.R.M., 1963.

----- Principales características de la geología y de los minerales útiles de la región nordeste de la provincia de Oriente. *Revista Tecnológica*, 2:14-20, 1964.

**ALBEAR, J.; I. BOYANOV; K. BREZSNYANSZKY; R. CABRERA; V. CHEJOVICH; B. ECHEVARRÍA; R. FLORES; F. FORMELL; G. FRANCO; I. HAYDUTOV; M. ITURRALDE-VINENT; I. KANTCHEV; I. KARTASHOV; V. KOSTADINOV; G. MILLÁN; R. MYCZYNSKI; E. NAGY; J. ORO; L. PEÑALVER; K. PIOTROWSKA; A. PSZCZOLKOWSKI; J. RADOZJ; RUDNICKI; M.L. SOMIN.** Mapa geológico de Cuba. Escala 1:250 000, 1988.

**ANDÓ, J.; M. KOZÁK, Y. RÍOS.** 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, 1989.

**BELOCKY, R.; G. HEISS; F. SALZER.** Structural analysis and lithological classification in humid areas using satellite remote sensing and airborne geophysics - a case study from the Bohemian Massif / Lower Austria. <http://www.icg.tu-graz.ac.at/Mission/Publikationen/Neotektonik1>. 20-11-2001.

**BLANCO, J.L.** Profundización en el estudio geológico y tectónico de Moa. Tesis de Maestría. Centro de Información ISMMM, 1999. 72 p.

- BRAUN, J.J.; M. PAGEL; A. HERBILLON, C. ROCIN.** Mobilization and redistribution of REEs and thorium in a syenitic lateritic profile: A mass balance study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57: 4419-4434, 1993.
- CAMPOS, M.** Rasgos principales de la tectónica de la porción oriental de Holguín y Guantánamo. *Minería y Geología*, 2: 51-76, 1983.
- . Tectónica y minerales útiles de la asociación ofiolítica y de los complejos vulcanógenos del arco insular Cretácico de Cuba oriental. Inédito, 1990.
- CHANG, J.L., L. CORBEA ; F. PRIETO ; J. HERNÁNDEZ ; G. BRITO.** Informe sobre los resultados del levantamiento aerogeofísico complejo en el territorio de las provincias Guantánamo y Holguín (Sector Guantánamo sur). O.N.R.M., 1991. 260p.
- CHANG, J.L.; G. GRIBNIOV; A. BRODOBOI.** 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). O.N.R.M., 1990, 314p.
- CHERNICOFF, C.J. Y C.M. PATERLINI.** Interpretación geológica de la anomalía magnética del Departamento Mártires, provincia del Chubut (Argentina). En: X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de geología económica. Simposio: Geofísica aérea y geoquímica en la prospección geológica-minera, 1998, p. 31-42.
- CHERNICOFF, C.J. Y M.C. ZAPATA.** Estudio preliminar de interpretación geológica del levantamiento aeromagnético del área Las Petas, república de Bolivia. En: X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de geología económica. Simposio: Geofísica aérea y geoquímica en la prospección geológica-minera, 1998, p. 81-85.
- COBIELLA, J.L.** Estratigrafía y paleogeografía del Paleógeno de Cuba oriental. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMMM, 1978. 210 p.
- . El vulcanismo paleogénico cubano. Apuntes para un nuevo enfoque. *Revista Tecnológica*, 18(4): 25-32, 1988.
- . Zonación estructural facial del corte Paleoceno Eoceno Medio de Cuba. *Minería y Geología*, 14(1): 3-12, 1997.
- . Jurassic and Cretaceous geological history of Cuba. *International Geology Review*, 42: 594-616, 2000.



- CRESPO, E.** Análisis estratigráfico del Oligoceno en Cuba oriental. Tesis de Maestría ISMMM, 1996. 79 p.
- DEMANET, D., F. RENARDY, K. VANNESTE, D. JONGMANS, THIERRY CAMELBEECK, AND MUSTAPHA MEGHRAOUI.** The use of geophysical prospecting for imaging active faults in the Roer Graben, Belgium. Geophysics Online, julio 11, 2000. <http://www.geo-online.org>.
- DEMEN, A.G .y A.S. KOSARIESKI.** Informe sobre los trabajos de búsqueda en los yacimientos de Merceditas y Yarey. O.N.R.M., 1966.
- DZUENA, A. y OTROS.** Trabajos geológicos y búsqueda de cromitas entre los ríos de la región Moa - Jiguaní - Baracoa. O.N.R.M. 1974.
- GALBRAITH, J.H. y D.F. SAUNDERS.** Rock classification by characteristics of aerial gamma-ray measurements. Journal of Geochemical Exploration, 18: 49-73, 1983.
- GRAUCH, V.J.S. y P.S. MILLEGAN.** Mapping intra-basinal faults from high-resolution aeromagnetic data. <http://rockyweb.cr.usgs.gov/public/mrgb/article.html>. 31-5-2000
- GRAUCH, V.J.S.; M.R. HUDSON; S.A. Minor.** Aeromagnetic Expression of Faults that Offset Basin Fill, Albuquerque Basin, New Mexico. Geophysics Online, enero 15, 2001. <http://www.geo-online.org>.
- GUNN, P.J.; T. MACKEY; T.J. MEIXNER.** Magnetic, radiometric and gravity signatures of localities of epithermal gold deposits in Fiji. En: X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de geología económica. Simposio: Geofísica aérea y geoquímica en la prospección geológica-minera, 1998, p. 43-51.
- GYARMATI, P. y J. LEYÉ O'CONOR.** Informe final sobre los trabajos de levantamiento geológico en escala 1:50 000 y búsqueda acompañante en el polígono CAME V, Guantánamo. O.N.R.M., 1990.
- ITURRALDE-VINENT, M.A.** Cuba Geology: a new plate-tectonic synthesis. Journal of Petroleum Geology, 17: 39-70, 1994.
- Geología de las ofiolitas de Cuba. En: Iturralde-Vinent, M. (ed.). Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP project 364. Special contribution n.1, 1996a, p. 83-120.

- Introduction to Cuban Geology and Tectonics. En: Iturralde-Vinent, M. (ed.). Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP project 364. Special contribution n.1, 1996b, p. 3-35.
- Cuba: el arco de islas volcánicas del Cretácico. En: M. Iturralde-Vinent (ed.). Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP project 364. 1996c, p. 179-189.
- Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. Acta Geológica Hispana, 33(1-4): 9-56, 1998.
- LIUBY, L.I.** Informe sobre los resultados del levantamiento aerogeofísico complejo realizado en el territorio de las provincias de Holguín y Guantánamo. O.N.R.M., 1983.
- KENAREV, V.** Informe sobre los trabajos de prospección, revisión y exploración en el yacimiento de cromitas Delta II, Narcizo I -II en la región de Moa. O.N.R.M., 1965.
- KNIPPER, A. y R. CABRERA.** Tectónica y geología histórica de la zona de articulación entre el mio y el eugeosinclinal de Cuba y del cinturón hiperbasítico de Cuba. En: Contribución a la geología de Cuba, Academia de Ciencias de Cuba, 1974, p. 15-77.
- MCLENNAN, S.M.** Rare earth elements sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. In: Lipin, B.R and G.A. McKay ed Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements. Rev. Mineral, 21, 1989. p. 169-196.
- MURASHKO, V.I.** Cromititas de la isla de Cuba. La Habana. C.N.E.G, 1996.
- NAIDU, P.S. Y M.P. MATHEW.** Digital analysis of aeromagnetic maps: detection of a fault. Journal of Applied Geophysics, 38(3): 169-179, 1998.
- NEKRASOV, G.YE.; J. ORO; S.D. SOKOLOV; R. FLORES; M.V. SHAVYRINA.** Ophiolites of Eastern Cuba. Geotectonic, 23: 60-71, 1989.
- OGARKO, V.M.** Informe sobre los trabajos geológicos de búsqueda de minerales de Níquel realizados en el 1965 en el área de Moa-Baracoa. O.N.R.M., 1967.
- PORTNOV, A.M.** Specialization of rocks toward potassium and thorium in relation to mineralization. International Geology Review, 29: 326-344, 1987.
- PROENZA F.J.** Mineralización de cromita en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba): Ejemplo del yacimiento Mercedita. Tesis Doctoral. Centro de Información ISMMM, 1997. 227p.

- PROENZA, J.; F. GERVILLA; J.C. MELGAREJO; J.L. BODINIER.** 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, 1999a.
- PROENZA, J.; J.C. MELGAREJO; F. GERVILLA; J. SOLÉ.** 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, 1999c.
- PROENZA, J.; F. GERVILLA; J.C. MELGAREJO.** Los depósitos de cromita de la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba oriental): un resultado de procesos de zona de suprasubducción. Implicaciones en la prospección de cromititas. En: Tercera conferencia internacional sobre geología de Cuba, el Golfo de México y el Caribe Noroccidental, 2000a.
- PROENZA, J.; J.C. MELGAREJO; F. GERVILLA.** La faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba oriental): una litosfera oceánica modificada en una zona de suprasubducción cretácica. En: Tercera Conferencia Internacional sobre Geología de Cuba, el Golfo de México y el Caribe Noroccidental, 2000b.
- QUINTAS, F.** Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis Doctoral. Centro de Información ISMMM, 1989. 161p.
- REQUEJO, A.G.; C.C. WIELCHOWSKY; M.J. KLOSTERMAN; R. SASSEN.** Geochemical characterization of lithofacies and organic facies in Cretaceous organic-rich rocks from Trinidad, East Venezuela Basin. *Organic Geochemistry*, 22(3-5): 441-459, 1994.
- RODRÍGUEZ, A.** Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgo de génesis tectónica. Tesis Doctoral. Centro de Información ISMMM, 1998a. 124p.
- . Estilo tectónico y geodinámico de la región de Moa. *Minería y Geología*, 15(2): 37-41, 1998b.
- ROJAS, A.L.** Principales fases minerales portadoras de níquel en los horizontes lateríticos del yacimiento Moa. Tesis Doctoral. Centro de Información ISMMM, 1995.

- RAMAYO, L.** Mineralogía y geoquímica de los flujos mecánicos de dispersión en la región de Moa. Trabajo de Diploma. Centro de Información ISMMM, 1996. 63p.
- RYSTROM, V.L.; C.A. FINN; M. DESCZ-PAN.** High Resolution, Low Altitude Aeromagnetic and Electromagnetic Survey of Mt Rainier. U.S. Geological Survey Open-File Report 00-0027. <http://greenwood.cr.usgs.gov/pub/open-file-reports/ofr-00-0027/Rainierwebpage.html>. 26-11-2001.
- SAAGER, R.; H.D. STUPP; R. VORWERK; K. THIEL; G.J. HENNIG.** Interpretation of Alpha and Gamma-Spectrometric conglomerates: A case study from the Denny Dalton uranium prospect, northern Zululand, South Africa. Monograph Series on Mineral Deposits 27, Berlín-Stuttgart, Gebrüder Borntraeger, 1987. p. 175-188.
- TAYLOR, S.R. y M. MCLENNAN.** The continental crust . Its composition and evolution. An examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Blackwell, 1985.
- VILA, A.** Principales rasgos de la distribución del oro en los depósitos exógenos de la región Sagua-Moa. Trabajo de Maestría. Centro de Información ISMMM, 1999. 76p.
- VLADIMIROVICH, O. y J.D. ARIOS.** Búsqueda, exploración y evaluación geólogo-económica de yacimientos minerales sólidos. La Habana, Editorial Pueblo y Educación, 1986. 348p.
- WATANABE, K.** Geochemical behaviour of iron and manganese ions in the Ningyo-Toge uranium deposits district, southwest Japan. Chemical Geology, 60: 229-307, 1987.
- WELLMAN, P.** Gamma-ray spectrometric data: modelling to map primary lithology and later chemical mobilization. AGSO Research Newsletter, 28, 1998a, 2p.
- ZAIGHAM, N.A. y K.A. MALLICK.** Subsurface continuation of the ophiolites in the Bela Plain of Balochistan, Pakistan: Ophiolite, 19: 269-278, 1994.
- Bela ophiolite zone of southern Pakistan: Tectonic setting and associated mineral deposits. GSA Bulletin, 112(3): 478-489, 2000.
- ZAMASHIKOV, M.E. y V. TOBACHKOV.** Informe sobre los resultados de los trabajos de búsqueda a escala 1:50 000 en la parte suroeste del macizo hiperbasítico Moa - Baracoa. O.N.R.M., 1971.