



Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saiz Montes de Oca"



Nuevas defensas de Doctorado



Título: Criterios geoquímicos para la prospección de mineralización sulfurosa en el Distrito Metalogénico Dora-Francisco.

AUTOR: JOSÉ FRANCISCO LASTRA RIVERO.

En esta investigación se ofrece una metodología para el pronóstico geoquímico de mineralización sulfurosa a escala 1:50 000 sobre la base del procesamiento de datos litogeoquímicos, que incluye la aplicación de sistemas expertos y sistemas de información geográfica. La comprobación de su efectividad se realizó en el Distrito Metalogénico Dora-Francisco con resultados positivos a partir de la

ejecución de un muestreo de sedimentos de fondo en toda la región objeto de estudio; la correspondencia entre ambos resultados permitió valorar como confiable este procedimiento para mostrar áreas metalogénicas favorables, lo cual lo hace extensible al estudio de otras regiones con el mismo objetivo. La interpretación de estos resultados facilitó la ejecución de trabajos de prospección a escala

1:10 000 en dos sectores señalados como prospectivos en esta región, lo que propició un esclarecimiento de las características metalogénicas de la estructura metalífera Francisco-Loma Hierro y de la manifestación Oro Cándida, lo cual debe contribuir a una mejor orientación de las actividades prospectivas que se proyecten con fines evaluativos.



Título: Estructura geológica y pronóstico preliminar para metales básicos más barita en la parte central de las Alturas de Pizarras del Sur Pinar del Río.

AUTOR: DÁMASO CÁCERES GOVEA.

Con la aplicación del presente trabajo, por primera vez en nuestro país se emplean con todo rigor los métodos de la microtectónica a la solución de problemas estructurales, y se establece una metodología al respecto. De esta manera se implanta la ocurrencia de al menos tres fases deformacionales diferentes y la rotación horaria del stress principal en el tiempo, a la vez que se ofrecen los datos necesarios para un nuevo enfoque del metamorfismo que afecta las diferentes secuencias.

La interpretación de la Fm. Arroyo Cangre, como un gran pliegue isoclinal tumbado, duplica la perspectiva para la búsqueda de depósitos tipo SEDEX, mientras la propuesta de la falla Pinar como transcurrente sinistral a partir de una fractura de riedel principal, permite pronosticar depósitos de oro en vetas de cuarzo originadas como fracturas de riedel de segundo o tercer orden a lo largo de esta, así como el desarrollo de los cabalgamientos y zonas de

cizallamientos de orientación Noroeste y Nordeste, las que constituyen estructuras favorables para el emplazamiento de depósitos de oro en planos de fallas. (Estos dos tipos genéticos de depósitos no se habían previsto con anterioridad en el área). Como resultado de este trabajo se confeccionó un mapa pronóstico para metales básicos y barita a partir de datos geológicos y geoquímicos con el empleo de las técnicas más avanzadas.

Los niveles de gabros bandeados en el macizo ofiolítico Moa-Baracoa (Cuba). Gabros característicos de acumulados de ofiolitas de zona de suprasubducción

Joaquín Proenza¹
Joan Carles Melgarejo²
Fernando Gervilla³
Jesús Solé²

¹ Departamento de Geología, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
² Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Depósitos Minerales, Facultad de Geología, Universidad de Barcelona.
³ Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC-Universidad de Granada) y Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada.

INTRODUCCIÓN

El límite superior de la *Moho Transition Zone* (MTZ) en los complejos ofiolíticos viene definido por unos niveles de gabros bandeados, los cuales reflejan la composición y estructura de la base de la corteza oceánica inferior. Estos niveles consisten generalmente en unidades cíclicas de gabros, los cuales muestran un bandeo composicional definido por variaciones en las proporciones modales de los componentes mayoritarios: clinopiroxeno, plagioclasa y olivino (véase Nicolas, 1989). Los gabros con ortopiroxeno no suelen ser muy abundantes, aunque la presencia de gabronoritas es un buen indicador geodinámico ya que tales tipos litológicos son característicos de los niveles corticales inferiores en ofiolitas de zonas de suprasubducción (SSZ), tales como las del Complejo de Troodos en Chipre (Hébert y Laurent, 1990) o las del bloque Haylayn en las ofiolitas de Semail en Omán (Lachize *et al.*, 1996).

El contacto entre los niveles de gabros bandeados y la MTZ suele ser paralelo y, localmente, gradual (Nicolas y Prinzofner, 1983; Nicolas, 1989; Boudier *et al.*, 1996). Los gabros bandeados presentan una foliación definida normalmente por la fábrica de la plagioclasa y por agregados de olivino elongado (Boudier *et al.*, 1996). Las estructuras presentes en estos gabros se habrían desarrollado dentro de una cámara magmática (Boudier *et al.*, 1996), aunque Kelemen *et al.* (1997) sugieren que el bandeo modal y la foliación se pueden originar exclusivamente por flujo dúctil a alta temperatura, sin necesidad de que exista una cámara magmática.

No obstante, e independientemente de la naturaleza de la estructura de los gabros bandeados, la secuencia de cristalización de los componentes mayoritarios (piroxenos y plagioclasa) ha sido utilizada como indicador geodinámico (Pearce *et al.*, 1984). Según estos autores, en las ofiolitas de zonas de suprasubducción (SSZ), el clinopiroxeno y algunas veces el ortopiroxeno cristalizan primero que la plagioclasa, mientras que en las ofiolitas tipo MORB relacionadas con zonas de acreción en dorsales mediooceánicas cristaliza primero la plagioclasa. Según Pearce *et al.* (1984) este contraste en el orden de cristalización corresponde al que existe entre una boninita (ol—>opx—>cpx), una toleita de arco de islas (ol—>cpx—>pl) y un MORB (ol—>pl—>cpx) en los contextos oceánicos actuales.

En este trabajo se presenta una caracterización textural, petrológica, de quimismo mineral y composición en elementos trazas de los niveles de gabros bandeados del macizo ofiolítico Moa-Baracoa (Cuba). Estos niveles de gabros son específicamente estudiados en el área del yacimiento Mercedesita, donde existen excelentes afloramientos de ellos.

RESUMEN: En el macizo ofiolítico Moa-Baracoa (Faja ofiolítica Mayarí-Baracoa) existen extensos afloramientos de niveles de gabros, tanto bandeados, como isotrópicos. La secuencia de gabros bandeados está compuesta, principalmente, por gabronoritas y gabros olivínicos con texturas de acumulados y mesocumulados. El orden de cristalización en las láminas estudiadas evidencia la cristalización primaria del clinopiroxeno con respecto a la plagioclasa. La composición mineralógica y de quimismo mineral de los acumulados basales de las ofiolitas del macizo de Moa-Baracoa se diferencia de los derivados de cristalizaciones a bajas presiones de MORBs, y se asemejan a los gabros localizados en una zona de trasera de arco o cuenca de back-arc. Todas estas características son compatibles con los acumulados basales descritos en ofiolitas de zonas de suprasubducción.

Palabras claves: gabro, ofiolitas, MORB, cuenca de back arc, suprasubducción, Cuba.

ABSTRACT: Gabbros outcrop, mainly bedding and isotropic gabbros, are extended into the Moa-Baracoa ophiolite complex (NE Cuba). Sequence of bedding gabbros consists of gabronorites and olivine accumulative-mesocumulative gabbros. Crystallization order on studied laminae makes evident primary crystallization of clinopyroxenes as regards plagioclase. Mineralogical composition of basal cumulates of the Moa-Baracoa ophiolite complex is differs from low-pressure MORBs crystallization derivatives, and is similar to those located in a back-arc. All these features are consistent with basal cumulates located in supra-subduction zone ophiolites.

Keywords: gabbro, ophiolite, MORB, back arc basin, supra-subduction, Cuba.

Contexto geológico

La isla de Cuba contiene los mayores afloramientos de rocas ofiolíticas (más de 6 500 km²) de la región del Caribe (Khudoley y Meyerhoof, 1971). Estas rocas afloran en una franja discontinua de más de 1 000 km de longitud y un ancho que puede llegar a los 30 km, en la parte norte de la isla.

El Macizo Moa-Baracoa se localiza en el extremo oriental de la Faja Ofiolítica Mayari-Baracoa. Ocupa un área aproximada de 1 500 km² y presenta un gran desarrollo de los complejos ultramáfico, de gabros y volcano-sedimentario (Proenza, 1998). Se ha estimado un espesor de aproximadamente 1 000 metros para el complejo ultramáfico y de 500 metros para el de gabros (Fonseca *et al.*, 1985); mientras que para el complejo volcano-sedimentario se ha estimado un espesor de 1 200 metros (Quintas, 1989).

El complejo ultramáfico se caracteriza, petrologicamente, por un predominio de las harzburgitas y, en menor medida, de las dunitas; además, se han descrito dunitas plagioclásicas, wehrlitas, lherzolitas, y piroxenitas (Guild, 1947; Ríos y Cobiella, 1984; Heredia y Terepín, 1984; Fonseca *et al.*, 1985, 1992; Torres, 1987; Andó *et al.*, 1989; García y Fonseca, 1994; Proenza, 1998).

Los gabros de cumulos forman grandes cuerpos incluidos en el complejo ultramáfico. La dimensión de los cuerpos oscila entre 1 y 3 km de ancho, por 10 a 15 km de longitud. El contacto entre el complejo ultramáfico y el de gabros es mayoritariamente 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. La parte inferior del complejo de gabros se caracteriza por presentar un marcado bandeado. Los principales tipos petrologicos descritos son: gabros olivínicos, gabronorita, gabros, anortositas y noritas (Ríos y Cobiella, 1984; Fonseca *et al.*, 1985; Torres, 1987). El contacto entre los diferentes tipos de gabros es siempre transicional.

El complejo de diques de diabasas está muy mal representado. Las diabasas descritas en la región aparecen principalmente en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo (Torres, 1987).

El complejo volcano-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos del corte ofiolítico. Está compuesto por la Formación Quijiván (Irralde-Vinent, 1996), la cual incluye basaltos amigdaloides y porfíricos (algunas veces con estructura de almohadilla), con intercalaciones de hialoclastitas, tobas, capas de cherts y calizas (Quintas, 1989). Desde el punto de vista geoquímico, son basaltos de afinidad toleítica oceánica (Torres y Fonseca, 1990), aunque los estudios realizados son insuficientes.

En el macizo también existen numerosos cuerpos de cromititas y sills de gabros, así como diques de gabros y de pegmatoides gabroicos (Fonseca *et al.*, 1992,

Proenza, 1997; Proenza, 1998). Los sills de gabros y las cromititas se localizan en la parte más alta de la secuencia mantélica, en la zona de transición entre las peridotitas con texturas de tectonitas y los cumulos máficos.

En la Figura 1 se presenta una columna sintética generalizada para las ofiolitas del Macizo Moa-Baracoa. De muro a techo aparece: a) una zona de harzburgitas con texturas de tectonitas; b) una zona de harzburgitas que contiene principalmente cuerpos de dunita, dunitas plagioclásicas, sills de gabros, diques de gabros y pegmatoides gabroicos; así como cuerpos de cromititas (esta zona correspondería a la denominada *Moho Transition Zone*); c) la zona de los cumulos máficos (gabros), los cuales presentan en la base un gran desarrollo de gabros bandeados (gabros olivínicos, gabronoritas), transicionando hacia la parte alta a gabros isotrópicos; d) la zona del complejo de diques de diabasas y e) el complejo efusivo-sedimentario.

Las ofiolitas del Macizo Moa-Baracoa han sido interpretadas como «restos de la corteza protocaribeña» la cual fue modificada en un ambiente de arco de islas volcánico durante el Aptiense-Campaniense Medio (véase Irralde-Vinent, 1996). Estas ofiolitas son comparables a las descritas por Pearce *et al.* (1984) como típicas de zona de suprasubducción (SSZ) (Proenza, 1998).

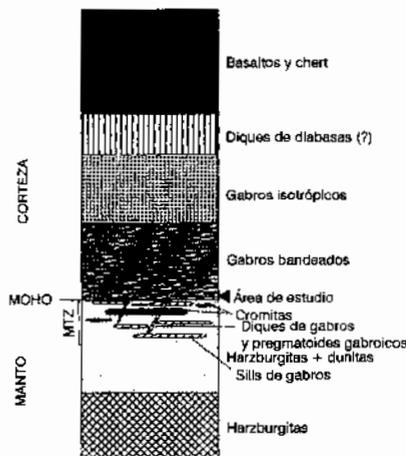


FIGURA 1. Columna sintética ideal de las ofiolitas del Macizo Moa-Baracoa. Reconstruida a partir de datos propios y bibliográficos (Thayer, 1942; Guild, 1947; Ríos y Cobiella, 1984; Fonseca *et al.*, 1985, 1992; Torres, 1987; Torres y Fonseca, 1990; Heredia y Terepín, 1984; Quintas, 1989; Irralde-Vinent, 1996). La dimensión vertical no está a escala.

Métodos analíticos

Los análisis químicos de los minerales presentes en las muestras de gabros se han efectuado mediante una microsonda electrónica CAMECA SX50, en los Ser-

vicios Científico-Técnicos de la Universidad de Barcelona. Se ha utilizado una tensión de aceleración de 20 kv y una corriente sobre la muestra de 20 nA. Se ha medido sobre las líneas espectrales K α del Fe, Mn y Ni con un cristal LiF; las K α del Mg, Si, Al, Na con un TAP₁ y las K α del Ca, Cr, Ti y K con un PET. Los patrones utilizados han sido ortoclasa (Si, Al, K), Fe₂O₃ (Fe), periclase (Mg), wollastonita (Ca), rodonita (Mn), NiO (Ni), rutilo (Ti), albita (Na), Cr₂O₃ (Cr).

Todos los elementos traza han sido medidos con un ICP-MS Perkin Elmer Elan 6000 de los Servicios Científico-Técnicos de la Universidad de Barcelona, usando rodio como estándar interno. Las muestras de roca total mineral se han triturado en un mortero de carburo de tungsteno. Las muestras se han atacado por duplicado junto a 9 blancos.

Asociación mineral y orden de cristalización

La secuencia de gabros bandeados está compuesta, principalmente, por gabronoritas y gabros olivínicos con texturas de acumulados y mesocumulados. El bandeado es debido a variaciones modales de los minerales mayoritarios. Las gabronoritas presentan una composición bastante homogénea, con: a) 45 a 50 % de plagioclase cálcica con tamaño de grano entre 0.6 y 2.5 mm de diámetro, b) 35 a 40 % de clinopiroxeno con un tamaño de grano entre 0.6 y 2.2 mm, c) 10 a 15 % de ortopiroxeno (0.3 y 0.4 mm) en posición intercumulus. Los gabros olivínicos contienen hasta un 20 % de olivino con tamaño de grano entre 0.7 y 1.7 mm, 35 a 50 % de clinopiroxeno y 35 a 60 % de plagioclase.

El orden de cristalización que se observa en las distintas láminas estudiadas es: olivino-clinopiroxeno-plagioclase-ortopiroxeno. Los minerales secundarios presentes en estas rocas son serpentina, anfíbol y magnetita.

Química general

Los cristales de olivino no muestran zonación composicional de centro a borde de grano y presentan una composición bastante uniforme a la escala de muestra. Los contenidos en forsterita varían entre 85 y 85.8, los cuales son menores que los del olivino de las rocas descritas en la *Moho Transition Zone* (MTZ) (Proenza, 1998). Los contenidos de Ni oscilan entre unas 900 y 1 400 ppm, y están positivamente correlacionados con el contenido de Fo. El MnO puede alcanzar valores hasta de 0.28 % en peso.

Los valores del #Mg del olivino de estos cumulos máficos son semejantes a los de las ofiolitas de Troodos, Chipre (Hébert y Laurent, 1990), Bay of Island, Terranova (Elthon *et al.*, 1982), del complejo Tonsina, Alaska (DeBari y Coleman, 1989) y del complejo de Mersin, Turquía

(Pariak *et al.*, 1996). Todas estas ofiolitas han sido formadas en un ambiente de arco de islas volcánicas.

La composición química del clinopiroxeno muestra un escaso rango de variación respecto a los porcentajes de enstatita y ferrosilita, aunque la proporción de wollastonita es algo más variable. En conjunto, la composición de los clinopiroxenos está comprendida entre los siguientes valores: En_{87.45-92.26}Wo_{81.99-45.36}Fs_{5.15-5.08} con porcentajes de Al₂O₃ que oscilan entre 1.86 y 2.61 % en peso (media=2.29) y de Na₂O entre 0.27 y 0.34 % en peso. Este mineral coexiste con un ortopiroxeno intercumulus cuya composición varía entre En_{80.77-88.67}Fs_{11.28-17.79} y Wo_{1-2.05} (Figura 2), con un #Mg relativamente alto (85 a 87). En el ortopiroxeno, los contenidos de Cr₂O₃ son muy bajos (0.17 a 0.21 % en peso) y los de Al₂O₃ (1.18 a 1.39 % en peso) son inferiores a los de los clinopiroxenos coexistentes.

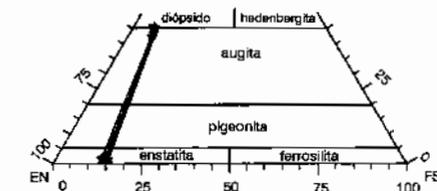


FIGURA 2. Quimismo de los piroxenos de los gabros bandeados (cumulos máficos) en el área del yacimiento Mercadita. A: Proyección de la composición de los piroxenos coexistentes en el diagrama de Morimoto *et al.* (1989). Términos extremos: En (Mg), Wo (Ca) y Fs (Fe²⁺+Fe³⁺+Mn).

El clinopiroxeno presenta valores altos de #Mg (87-90) (Figura 3A). En esta figura se observa que los gabros bandeados estudiados en este trabajo se proyectan en un área solapada con la del campo de las rocas ígneas de altas presiones definido por Elthon *et al.* (1982) y, parcialmente, con las de los campos de los cumulos máficos y ultramáficos oceánicos y de los cumulos máficos de las ofiolitas de Bay of Island. Los contenidos de Cr₂O₃ alcanzan valores de hasta 0.37 % en peso y se proyectan alejados del campo de los clinopiroxenos de bajas presiones definido por Elthon (1987) (Figura 3B). Las relaciones entre el contenido de TiO₂ y el #Mg (Figura 3C) muestran que los clinopiroxenos de los gabros bandeados estudiados presentan contenidos de TiO₂ menores que los del complejo de Bay of Island y mayores que los de las ofiolitas Mersin. El contenido de TiO₂ en los clinopiroxenos se ha relacionado, por un lado, con la tasa de enfriamiento, considerando que tasas de enfriamiento rápidas hacen aumentar el coeficiente de distribución (D_{Ti₂Fe₂Si₂Al₂O₆}) del Ti (Coish y Taylor, 1979; Gamble y Taylor, 1980; Elthon, 1987), y por otro, Pearce y Norry (1979) relacionan el contenido de Ti en los clinopiroxenos con el grado de empobrecimiento (*depletion*) del manto

y la actividad del Ti en el magma parental a partir del cual se genera la unidad de cumulados. Según esta última interpretación, el magma a partir del cual cristalizaron los

clinopiroxenos de los gabros basales de la secuencia de cumulados máficos del macizo de Moa-Baracoa debió ser relativamente pobre en Ti.

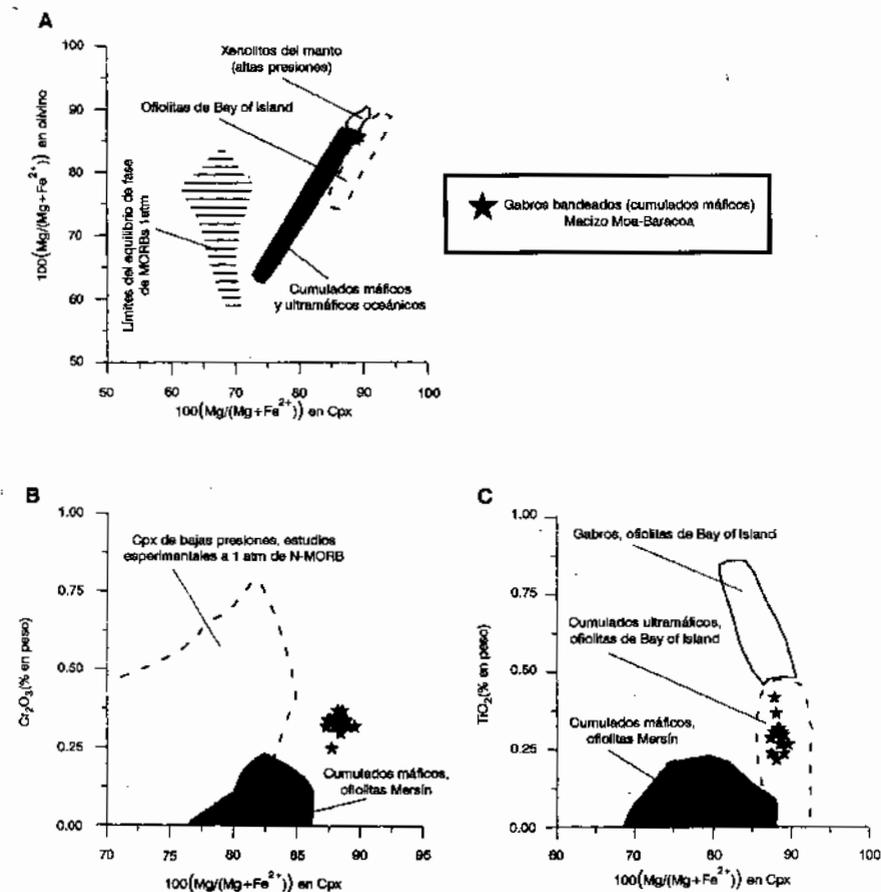


FIGURA 3. A: representación de la relación $100\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$ del olivino frente a la del clinopiroxeno coexistente. Los campos composicionales representados proceden de Elthon *et al.* (1982). B: Porcentaje de Cr_2O_3 frente a la relación $100\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$ de los clinopiroxenos. El área sombreada representa el campo composicional de los clinopiroxenos de los cumulados máficos de las ophiolitas de Mersin en Turquía, las cuales se han formado en un ambiente de arco volcánico (Parlak *et al.*, 1996). El campo de los clinopiroxenos de bajas presiones (estudios experimentales con N-MORB) procede de Elthon (1987). C: Porcentaje de TiO_2 frente a la relación $100\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$ de los clinopiroxenos. Los campos composicionales de los gabros y de los cumulados ultramáficos de las ophiolitas de Bay of Island proceden de Elthon (1987), y el de los cumulados máficos de las ophiolitas de Mersin, de Parlak *et al.* (1996).

La plagioclasa presenta un limitado rango composicional ($\text{An}_{70-90-78-50}$) con contenidos en Or extremadamente bajos (< 0.9). Los contenidos en An de la plagioclasa frente al #Mg del clinopiroxeno (Figura 4) muestran que los cumulados máficos basales del maci-

zo de Moa-Baracoa se sitúan fuera de los campos establecidos para los gabros tipo MORB y para los existentes en regiones de arcos volcánicos (Burns, 1985). El contenido en An es inferior al descrito en las secuencias basales de cumulados máficos en otros complejos

ofiolíticos relacionados con arcos volcánicos: Troodos (Hébert y Laurent, 1990); Mersin (Parlak *et al.*, 1996), lo que sugiere que la secuencia de gabros bandeados del macizo de Moa-Baracoa se pudo formar en un ambiente geodinámico transicional entre un arco de isla y una zona de *ridge* generadora de magmas tipo MORB.

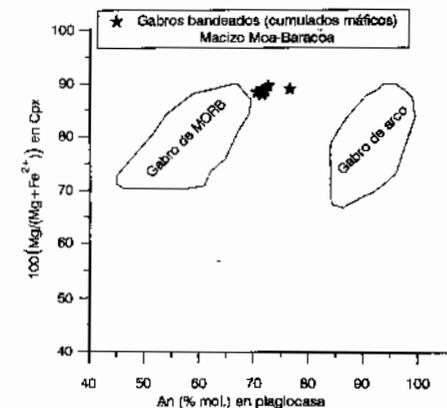


FIGURA 4. Relación $100\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$ del clinopiroxeno frente al contenido en anortita de la plagioclasa coexistente en los gabros bandeados. Los campos composicionales de los gabros generados a partir de basaltos tipo MORB y a partir de basaltos de arco de isla proceden de Burns (1985).

Caracterización a partir de elementos traza

El patrón normalizado a los valores condriticos de una muestra de gabros bandeados de la secuencia de cumulados se caracteriza por presentar una morfología ligeramente convexa debido a un enriquecimiento relativo en REE Intermedias (MREE), un valor moderado de la relación MREE/LREE, y una anomalía positiva de Eu (Figura 5A). Tal y como se ve en esta figura, el patrón descrito es análogo al que presentan los gabros de los cumulados basales de otros complejos ofiolíticos, aunque con mayores abundancias absolutas de REE.

En la Figura 5B se compara el patrón de REE de los gabros de cumulados con el de los sill de gabros de la MTZ (Proenza, 1998). Se puede observar la similitud entre el patrón de los sill de gabros y el de los gabros de cumulados. Esta similitud sugiere, en una primera instancia, que los gabros de cumulados pudieron cristalizar a partir de un fundido de composición análoga al de los sill de gabro. Los valores inferiores de REE en la muestra de gabros bandeados pueden estar relacionados con el menor (< 1.0 ; Arth, 1976) coeficiente de partición de los REE entre la asociación clinopiroxeno-ortopiroxeno-plagioclasa y el fundido

basáltico. Los sill presentan una composición más rica en clinopiroxenos, los cuales son los principales portadores de REE.

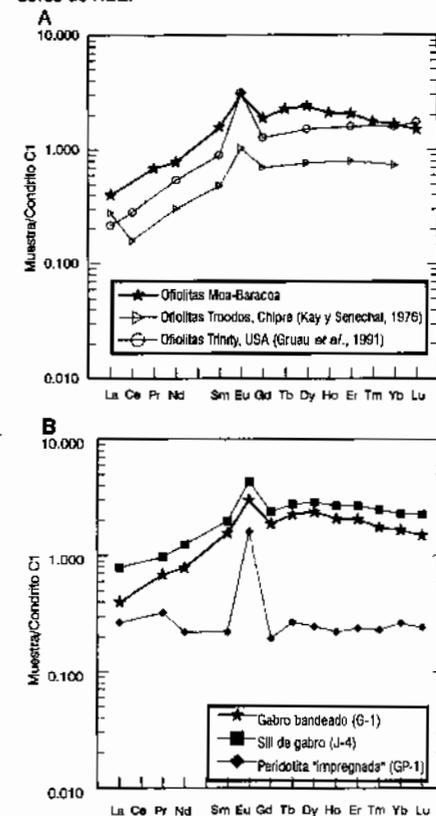


FIGURA 5. A: Patrón de REE normalizado a los valores condriticos de los gabros bandeados (cumulados máficos). A manera de comparación se muestran los patrones de los cumulados máficos de las ophiolitas de Troodos, (Kay y Senechal, 1976) y de Trinity (Gruau *et al.*, 1991). B: Comparación entre el patrón de REE de los gabros bandeados (cumulados máficos), el de los sill de gabros y el de las peridotitas impregnadas en la MTZ.

Geotermometría catiónica

Las temperaturas en los gabros bandeados han sido estimadas a partir de tres geotermómetros diferentes:

a) Clinopiroxeno-ortopiroxeno

Se han utilizado las calibraciones de Wood y Banno (1973) y la de Brey y Köhler (1990).

TABLA 1. Temperaturas calculadas basadas en el par clinopiroxeno-ortopiroxeno en los gabros bandeados, de acuerdo con dos calibraciones diferentes.

Muestras	Puntos	Wood y Banno (1973). T(°C)	Brey y Köhler (1990). T(°C)
G1	1	1 058	930
	2	1 072	921
G1a	1	1 109	1 015
	2	1 128	1 045

Las temperaturas calculadas por el geotermómetro de Wood y Banno (1973) son mayores que las obtenidas por el geotermómetro de Brey y Köhler (1990). El máximo térmico estimado (1 128 °C) podría ser considerado como un valor próximo al de la temperatura de cristalización de los gabros. Los valores restantes reflejarían diferentes estadios de reequilibrio subsolidus.

b) Clinopiroxeno-olivino

Se ha utilizado la calibración de Powell y Powell (1974), basada en el intercambio Fe^{2+} -Mg entre estos dos minerales.

TABLA 2. Temperaturas calculadas basadas en el par clinopiroxeno-olivino en gabros bandeados, de acuerdo con la calibración de Powell y Powell (1974).

Muestras	Puntos	Powell y Powell (1974) T(°C)
G1	1	1 000
	2	1 003
	1	1 001
G1a	2	1 001
	3	993

Las temperaturas obtenidas mediante esta calibración (entre 993 y 1 003 °C) están incluidas en el intervalo obtenido a partir del geotermómetro clinopiroxeno-ortopiroxeno y, por tanto, reflejarían procesos de reequilibrio subsolidus.

c) Ortopiroxeno

Se han utilizado las calibraciones de Brey y Köhler (1990) y la de Witt-Eickschen y Seck (1991), basadas en la solubilidad de los pares Ca-Al y Cr-Al en el piroxeno.

El geotermómetro de Witt-Eickschen y Seck (1991) da temperaturas muy bajas. Los valores calculados por el geotermómetro de Brey y Köhler (1990) indican una temperatura para los gabros de la parte basal de los cumulos comprendida entre 972 y 1 043 °C, de nuevo dentro del rango térmico definido mediante el geotermómetro clinopiroxeno-ortopiroxeno de Wood y Banno (1973).

TABLA 3. Temperaturas calculadas a partir de la solubilidad de Ca-Al y Cr-Al en el ortopiroxeno en los gabros bandeados, de acuerdo con dos calibraciones diferentes.

Muestras	Puntos	Brey y Köhler (1990). T(°C)	Witt-Eickschen y Seck (1990). T(°C)
G1	1	1 058	930
	2	1 072	921
G1a	1	1 109	1 015
	2	1 128	1 045

Condiciones de cristalización de los gabros bandeados y posibles implicaciones tectónicas

La composición mineralógica de los cumulos basales de las ofiolitas del macizo de Moa-Baracoa se diferencia de los derivados de cristalizaciones a bajas presiones de MORBs. Trabajos experimentales (Elthon, 1982) demuestran que las relaciones de fases a bajas presiones se caracterizan por un #Mg generalmente bajo para el olivino y el clinopiroxeno coexistente (#Mg < 82), así como para el ortopiroxeno (#Mg < 74). En consecuencia, los altos #Mg del olivino (85-86), clinopiroxeno (87-90) y ortopiroxeno (85-87) de los gabros bandeados del macizo de Moa-Baracoa son incompatibles con una cristalización a bajas presiones.

La ausencia de cristales zonados en los piroxenos y la relativa homogeneidad composicional de los clinopiroxenos parecen indicar bajas tasas de enfriamiento y un régimen controlado por procesos de reequilibrio subsolidus (Burns, 1985; Parlak et al., 1996). Esta última característica, junto a las relaciones mostradas en la Figura 3A, sugieren que la formación de los gabros bandeados en el Macizo Moa-Baracoa tuvo lugar a presiones relativamente altas (alrededor de 8-10 Kb).

Por otro lado, los contenidos de An (70-77) en la plagioclasa, aunque son inferiores a los descritos para algunos cumulos ofiolíticos de ambiente de arco de islas: Troodos (Hébert y Laurent, 1990); Mersin (Parlak et al., 1996), son generalmente superiores a los de las rocas gabroicas de dorsales medio-oceánicas. No obstante, estos contenidos están comprendidos en el intervalo composicional de los gabros cumulíticos del complejo de Border Ranges (Alaska), los cuales se han interpretado como generados en un ambiente de arco de islas volcánicas (Burns, 1985). Este ambiente transicional entre gabros tipo arco de islas volcánicas y tipo MORB podría localizarse en una zona de trasera de arco o cuenca de back-arc.

Por otra parte, la cristalización primaria del clinopiroxeno con respecto a la plagioclasa en los gabros bandeados está de acuerdo con el establecido en las secuencias de cumulos en ofiolitas de zonas de suprasubducción (Pearce et al., 1984).

Finalmente, los materiales volcano-sedimentarios (Fm. Quivián) ofiolíticos con espesores superiores a 1 km, son sincrónicos con las rocas volcánicas (Fm. Santo Domingo) de la zona axial de un arco volcánico Cretácico (Irralde-Vinent, 1996).

Así pues, los datos anteriormente expuestos, más el marco geológico existente en el macizo ofiolítico de Moa-Baracoa, apoyan una génesis de los cumulos máficos en una zona de suprasubducción.

CONCLUSIONES

La composición mineralógica y de quimismo mineral de los cumulos basales (gabros bandeados) de las ofiolitas del Macizo de Moa-Baracoa se diferencia de los derivados de la cristalización de MORBs a bajas presiones.

El orden de cristalización (clinopiroxeno anterior a la plagioclasa) de los gabros bandeados presentes en el Macizo Moa-Baracoa está de acuerdo con el establecido en las secuencias de cumulos en ofiolitas de zonas de SSZ.

Los contenidos de An en la plagioclasa de los niveles de gabros bandeados son compatibles con un ambiente geodinámico transicional entre un arco de isla y una zona de ridge generadora de magmas tipo MORB. Este ambiente transicional, entre gabros tipo arco de islas volcánicas y gabros de tipo MORB, indica una zona de back-arc.

AGRADECIMIENTOS

- A la dirección de la Empresa Cromo Moa, por las facilidades que nos ofrecieron durante el trabajo de campo, especialmente G. Rodríguez y D. Revé.
- A los Servicios Científico-Técnicos de la Universitat de Barcelona, donde fueron realizados los análisis de microsonda y de ICP-MS.
- Al Instituto de Cooperación Iberoamericana por la concesión de una beca ICI a J.P.
- A la Fundació Solidaritat de la Universitat de Barcelona por la concesión de una beca a J.P.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDÓ, J., M. KOZAK Y Y. RICO: «Caracterización general de la asociación ofiolítica de la zona Holguín-Moa y el papel de las ofiolitas en el desarrollo estructural de Cuba», en *Minería y Geología* (1): 15-33, 1989.
- ARTH, J.G.: «Behaviour of Trace Elements During Magmatic Processes. A Summary of Theoretical Models and Their Applications», en *J. Res. U.S. Geol. Surv.* (4): 41-70, 1976.
- BOUDIER, F., A. NICOLAS Y B. ILDEFONSE: «Magma Chambers in the Oman Ophiolite: Fed from the Top and the Bottom», en *Earth Planet. Sci. Letters*, (144): 239-250, 1996.
- BREY, G.P. Y T. KOHLER: «Geothermobarometry in Four Phase lherzolites, part II: New Thermobarometers, and Practical

Assessment of Existing Thermobarometers», en *Jour. Petrology* (31): 1353-1378, 1990.

- BURNS, L.E.: «The Border Ranges Ultramafic and Mafic Complex, South-central Alaska: Cumulate Fractionates of Island-arc Volcanics», en *Canadian Journal Earth Science* (22): 1020-1038, 1985.
- COISH, R.A. Y L.A. TAYLOR: «The Effects of Cooling Rate on Texture and Pyroxene Chemistry in SDP leg 34 Basalt: a Microprobe Study», en *Earth Planet. Sci. Letters* (42): 389-398, 1979.
- DEBARI, S.M. Y R.G. COLEMAN: «Examination of the Deep Levels of an Island Arc: Evidence from the Tonsina Ultramafic-Mafic Assemblage, Tonsina, Alaska», en *Jour. Geophys. Res.* (94): 4373-4391, 1989.
- ELTHON, D., J.F. CASEY Y S. KOMOR: «Mineral Chemistry of Ultramafic Cumulates from the North Arm Mountain Massif of the Bay of Islands Ophiolite: Evidence for High Pressure Crystal Fractionation of Oceanic Basalts», en *Jour. Geophys. Res.* (87): 8711-8734, 1982.
- ELTHON, D.: «Petrology of Gabbroic Rocks from the Mid-Cayman Rise Spreading Center», en *Jour. Geophys. Res.* (92): 658-682, 1987.
- FLINT, D.E., J.F. DE ALBEAR Y P.W. GUILD: «Geology and Chromite Deposits of the Camagüey District, Camagüey Province, Cuba», en *U.S. Geological Survey Bull.* (954-B): 39-63, 1948.
- FONSECA, E., V.N. ZELEPUGIN Y M. HEREDIA: «Structure of the Ophiolite Association of Cuba», en *Geotectonic* (19): 321-329, 1985.
- FONSECA, E. et al.: «Geología de los yacimientos cromíticos con evaluación pronóstica. Informe final tema 401-12». Unidad Minera Punta Gorda, Moa, 1992.
- GAMBLE, R.P. Y L.A. TAYLOR: «Crystal/Liquid Partitioning in Augite: Effects of Cooling Rates», en *Earth Planet. Sci. Letters* (47): 21-33, 1980.
- GARCÍA, I. Y E. FONSECA: «La mineralización cromítica y su relación con las cloritas en el yacimiento Amores», en *Minería y Geología* 11 (1): 50-54, 1994.
- GRIMAL, G. et al.: «Origin and Petrogenesis of the Trinity Ophiolite Complex (California): New Constraints from REE and Nd Isotope Data», en *Jour. Petrol. Special Lherzolites Issue*: 229-242, 1991.
- GUILD, P.W.: «Petrology and Structure of the Moa Chromite District, Oriente Province, Cuba», en *Amer. Geophys. Union* (28): 218-246, 1947.
- HEBERT, R. Y R. LAURENT: «Minerals Chemistry of the Plutonic Section of the Troodos Ophiolite: New Constraints for Genesis of Arc-related Ophiolites», en Malpas, J., Moores, E., Panayiotou, A. y Xenophontos, A. (eds.), *Ophiolites-Oceanic Crustal Analogues*. Proc. Troodos Ophiolite Symp.: 149-163, 1990.
- HEREDIA, M. Y A. TEREPIN: «Estudio comparativo de los complejos máficos-ultramáficos de la provincia de Pinar del Río y los macizos Mayarí y Moa-Baracoa», en *Serie Geológica* (3): 55-100, 1984.
- IRRALDE-VINENT, M.A.: «Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba», IGCP Project 364. Special Contribution no. 1, 1996.
- KAY, R.W. Y R.G. SENECHAL: «The Rare Earth Geochemistry of the Troodos Ophiolite Complex», en *Jour. Geophys. Res.* (81): 964-970, 1976.
- KELEMEN, P.B., K. KOGA Y N. SHIMIZU: «Geochemistry of Gabbro Sills in the Crust-Mantle Transition Zone of the Oman Ophiolite: Implications for the Origin of the Oceanic Lower Crust», en *Earth Planet. Sci. Letters* (146): 475-488, 1997.
- KRIDDLEY, K.M. Y A.A. MEYERHOFF: «Paleogeography and Geological History of Greater Antilles», en *Mem. Geol. Soc. Am.* 129, 1971, 199 pp.
- LACHIZE, M., J.P. LORAND Y T. AUTEAU: «Calc-alkaline Differentiation Trend in the Plutonic Sequence of the Wadi Haymiliyah Section, Haylayn Massif, Semail Ophiolite, Oman», en *Lithos* (38): 207-232, 1996.
- NICOLAS, A. Y A. PRINZHOFER: «Cumulative or Residual Origin for the Transition Zone in Ophiolites: Structural Evidence», en *Jour. Petrol.* (24): 188-206, 1983.

- NICOLAS, A.: *Structures of Ophiolites and Dynamics of Oceanic Lithosphere*, Dordrech, Kluwer, 1989, 367 pp.
- PARLAK, O., M. DEBALOVE y E. BINGÖL: «Mineral Chemistry of Ultramafic and Mafic Cumulate as an Indicator of the Arc-related Origin of the Mersin Ophiolite (southern Turkey)», en *Geol Rundsch* (85): 647-661, 1996.
- PEARCY, J.A. y M.J. NORRY: «Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y and Nb Variations in Volcanic Rocks», en *Contrib. Mineral. Petrol.* (69): 33-47, 1979.
- PEARCE, J.A., S.J. LIPPARD y S. ROBERTS: «Characteristics and Tectonic Significance of Suprasubduction Zone Ophiolites», en Kokelaar, B.P., y Howells, M.F. (eds.), *Marginal Basin Geology*, Geological Society, London Special Publication (16): 77-94, 1984.
- PROENZA, J., F. GERVILLA y J.C. MELGAREJO: Compositional Variations of Podiform Chromitites Among Different Mining Districts in the Mayari-Baracoa Ophiolitic Belt (eastern Cuba), en Papunen, H. (ed.), *Mineral deposits: research and exploration where do they meet?* (1): 487-490, 1997.
- PROENZA, J.: «Mineralizaciones de cromita en la Faja Ophiolítica Mayari-Baracoa (Cuba). Ejemplo del yacimiento Mercedita», Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, España. Facultad de Geología, 1998, 277 pp.
- POWELL, M. y R. POWELL: «An Olivine-clinopyroxene Geothermometer», en *Contrib. Mineral. Petrol.* (48): 249-263, 1974.
- QUINTAS, F.: «Estratigrafía y paleogeografía del Cretácico Superior y Paleógeno de la provincia Guantánamo y zonas cercanas»,

- Tesis Doctoral, ISMM de Moa, Departamento de Geología, 1989, 145 pp.
- RÍOS, Y.I. y J.L. COBELLÁ: «Estudio preliminar del macizo de gabrioides Quesigua de las ophiolitas del este de la provincia de Holguín», en *Minería y Geología* (2): 109-132, 1984.
- THAYER, T.P.: «Chrome Resources of Cuba», en *U.S. Geological Survey Bulletin*, (93-A): 1-4, 1942.
- TORRES, M.: «Características de la asociación ophiolítica de la región norte de Moa-Baracoa y su relación con el arco volcánico Cretácico», Trabajo de diploma, ISMM de Moa, Departamento de Geología, 1987.
- TORRES, M. y E. FONSECA: «Características geológico-petrográficas del contacto entre la asociación ophiolítica y el arco volcánico en Moa-Baracoa», en *Boletín de Geociencias* (4): 18-32, 1990.
- WADGE, G., G. DRAPER y J.F. LEWIS: «Ophiolites of the Northern Caribbean: A Reappraisal of their Roles in the Evolution of the Caribbean Plate Boundary», en *Ophiolite and oceanic lithosphere*, Ed. Blackwell Scientific Publications, Londres, : 367-380, 1984.
- WITT-EICKSCHEN, G. y H.A. SECK: Solubility of Ca and Al in Orthopyroxene From Spinel Peridotite: an improved Version of an Empirical Geothermometer», en *Contrib. Mineral. Petrol.* (106): 431-439, 1991.
- WOOD, B.J. y S. BANNON: «Garnet-orthopyroxene and Orthopyroxene-Clinopyroxene Relationships in Simple and Complex Systems», en *Contrib. Mineral. Petrol.* (42): 109-124, 1973 □

Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saiz Montes de Oca"

Relaciones Internacionales



PROYECCIÓN DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL

La dirección de asuntos internacionales de la Universidad de Pinar del Río, se propone contribuir a incrementar la imagen, la vitalidad y el desarrollo sostenible de la Universidad en las áreas académicas, científicas, cultural y social, a partir de un sistemático trabajo de intercambio bilateral y multilateral con centros de educación superior, organismos, instituciones, asociaciones y fundaciones de excelencia de distintos países.

PARA ELLO SE PROPONE EN SU ESTRATEGIA:

□ Incrementar los convenios de colaboración con acciones

concretas y sistemáticas que permitan su cooperación dinámica y estable, a partir de 92 convenios firmados con universidades de 15 países.

□ Participar en redes de cooperación bilateral y multilateral, amparadas por objetivos concretos de desarrollo académico, científico y comunitario, y superar las cifras de 4 redes alfas ya ejecutadas.

□ Potenciar el pregrado y el posgrado internacional compensado con beneficios comunes de desarrollo, en sus especialidades afines.

□ Incrementar en más de 20 los profesores invitados para impartir docencia en Universidades de distintos países, a partir de una Bolsa de más de 60 expertos en Forestal, Agronomía,

Geología, Economía, Mecánica y Electrónica.

□ Contribuir a la formación de estudiantes extranjeros para garantizar la integridad profesional y humana de los egresados. Actualmente suman miles la cifra de graduados de más de 50 nacionalidades.

□ Continuar la realización de eventos, congresos, simposios y talleres internacionales, con un promedio mínimo de cinco eventos por año.

□ Expandir la imagen de la Universidad con el predominio de asesoría y la presencia y participación sistemática, en distintos países de sus profesores y especialistas en congresos, misiones de colaboración, intercambio de especialistas y estudiantes.

Geoquímica y mineralogía del depósito argentífero Loma Hierro, Cuba occidental

José F. Lastra Rivero¹
Jesús Lara Blanco²

¹ Profesor de Geoquímica. Departamento de Geología. Universidad de Pinar del Río.
² Jefe de Proyectos Geológicos. Asociación Económica Holmer Gold Mines Limited - Geominera S.A.

RESUMEN: Las características geoquímicas y mineralógicas del depósito argentífero Loma Hierro, Cuba Occidental se corresponden de modo general con las referidas para depósitos de plomo-zinc alojados en sedimentos (SEDEX) en Cuba y otras partes del mundo. Sin embargo, las concentraciones de plata que acompañan a este tipo de mineralización resultan excepcionalmente altas, pudiendo considerarse que, dentro de este tipo genético de depósito, resulta único a nivel mundial. La mineralización primaria está representada por pirita, esfalerita, galena, pirrotina, marcasita, acanlita, estefanita, rickardita y plata nativa, representando apenas el 5 % del depósito en la actualidad. La mineralización oxidada es predominante y se compone de óxidos e hidróxidos de hierro (hematita y limonitas), haluros de plata (clorargirita y yodargirita) y minerales secundarios de plomo y zinc, característicos de las zonas de oxidación de este tipo de depósito. Las relaciones Zn/(Zn+Pb) de la mineralización sulfurosa primaria inferiores a 0,70 permiten inferir la existencia de un déficit de azufre reducido en la salmuera original, lo que determinó la precipitación preferencial de la galena.

Una evaluación de la composición química de la mineralización oxidada contribuye a determinar el papel que han jugado los procesos hipergénicos en las transformaciones químicas y mineralógicas de la mineralización sulfurosa primaria, en relación con la lixiviación de unos metales y el enriquecimiento de otros en los productos finales. Se ofrecen conclusiones de carácter metalogénico para la mineralización sulfurosa original, destacando el ambiente geológico en que debió ocurrir el proceso de deposición menifera y sus etapas de mineralogénesis, sobre la base de su composición química y mineralógica, texturas y estructuras.

La tectónica postmenifera y los agentes hipergénicos contribuyeron al panorama existente en la actualidad, donde se aprecia una extraordinaria fracturación del cuerpo original, su erosión diferenciada y el efecto de una intensa meteorización química (oxidación e hidrólisis).

Palabras claves: plata, mineralogía, geoquímica, Cuba occidental, Loma Hierro

ABSTRACT: Geochemical and mineralogical characteristics of silver deposit Loma Hierro, Western Cuba, are related with the sediment-hosted lead-zinc deposits (SEDEX) in Cuba and other zones around the world. However, the silver concentrations exceptionally high for this type of mineralization, could be considered unique as SEDEX deposits in the whole world. The primary mineralization is represented by pyrite, sphalerite, galenite, pyrrothite, marcasite, stephanite, rickardite and native silver, constituting scarcely the 5 % of the whole deposit in the present-day. The predominant oxidized mineralization is composed by ferric oxide and hydroxide (hematite and limonites), silver halides (chlorargirite and iodargirite) and secondary minerals of lead and zinc, characteristics of the oxidized zones in this type of deposit. The Zn/(Zn+Pb) ratio of the sulfide primary mineralization which is lower to 0.70 permits to infer deficit of sulfide in the original brine. It determined the preferential precipitation of the galena.

An evaluation of the chemical composition of the oxidized mineralization contribute to determine the role that the hypergenics process has played in the chemical and mineralogical transformations of the sulfide mineralization, and related with the leaching of some metals and the concentration of the others during the weathering.

It concludes that metallogenic character for the sulfide mineralization, emphasize the geological environment in which occur the process of ore deposition and the mineralogénesis stages, based on chemical and mineralogical composition, texture and structure. The post-mineralization tectonics and the hypergenics agents contributed to the existing panorama at the time, where it is possible to see an extraordinary breaking of the original body, its differentiated erosion and the effect caused by an intense chemical weathering.

Keywords: silver deposit, mineralogy, geochemistry, western Cuba, Loma Hierro

INTRODUCCIÓN

El depósito argentífero Loma Hierro está alojado en las secuencias terrígenas de la Formación San Cayetano (J³), en el extremo noreste del Distrito Metalogénico Dora-Francisco, Cuba Occidental (Figura 1). De acuerdo con el carácter estratiforme de su mineralización, su composición química y mineralógica y el ambiente geotectónico de deposición se puede considerar como un depósito de origen exhalativo-sedimentario alojado en sedimentos (tipo SEDEX). La acción coordinada de los fenómenos tectónicos postmeniferos y de los agentes hipergénicos han implicado a su fracturación, la oxidación casi total de sus menas sulfurosas primarias (pirita, esfalerita, galena, pirrotina, marcasita, acanlita, etc.) y la erosión desigual de los cuerpos minerales resultantes de este fraccionamiento.

La mena sulfurosa primaria representa aproximadamente el 5 % del depósito, interceptada por los pozos de perforación P-027 (Lara et al., 1988) y LH-96-177 (Asociación Económica Holmer Gold Mines Limited - Geominera S.A., 1996). La ubicación de ambos pozos coincide y permiten determinar el carácter pirito-polimetálico y las elevadas concentraciones de plata de este tipo de mineralización.

En superficie, se manifiestan afloramientos de la mena oxidada, suelos rojos y rocas alteradas (sapolitas), indicativas de los intensos procesos de meteorización que afectaron tanto a las rocas encajantes como a la mineralización