

Caracterización preliminar del depósito mineral Cajálbana para fines metalúrgicos

Preliminary characterization of Cajálbana mineral deposit for metallurgical purposes

Juan Ruiz-Quintana¹, José A. Pons-Herrera², José Antonio Otaño-Noguel², Rebeca Hernández-Díaz³, Lilietta Cardoso-Velázquez⁴, Alfredo de Jesús Hernández-Ramsay⁴

¹ Ministerio de Energía y Minas, La Habana, Cuba jruiz@minem.gob.cu

² Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba jpons@ismm.edu.cu

³ Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río, Cuba rebeca@upr.edu.cu

⁴ Empresa Geominera Oriente, Santiago de Cuba, Cuba lilietta.cardoso@scgeomina.minem.cu

Resumen

En esta investigación se determinan, de modo preliminar, las principales características físicas, químicas y mineralógicas del depósito mineral Cajálbana localizado en la provincia de Pinar del Río. Se analizaron ocho compósitos obtenidos a partir de 470 muestras procedentes de 80 pozos verticales. Por el método de Plasma Inductivamente Acoplado (ICP) se realizaron determinaciones químicas de los elementos siguientes: Fe, Ni, Co, Mn, Si, Al, Mg y Cr. Estas determinaciones, de conjunto con la cartografía de perfiles a través del método geofísico de Georadar (GPR), los itinerarios de mapeo geológico y los análisis mineralógicos y de susceptibilidad magnética, permiten establecer para el depósito el predominio de las peridotitas piroxénicas (minerales de hierro, níquel y cromo) y clasificarlo como del tipo laterítico-saprolítico, perspectivo para ser procesado por la industria minero metalúrgica cubana.

Palabras clave: depósito mineral Cajálbana; lateritas cubanas; peridotitas piroxénicas; industria ferroniquelífera.

Abstract

The main chemical, mineralogical and physical characteristics of Cajálbana mineral deposit located in Pinar del Río province – Cuba, are preliminary determined in this research. Eight composites obtained from 470 samples

from 80 vertical wells were analyzed. By means of the Inductively Coupled Plasma (ICP) method, chemical determinations were made of the following elements: Fe, Ni, Co, Mn, Si, Al, Mg and Cr. With the mapping profiles by using Georadar (GPR) geophysical method, the geological mapping itineraries and the magnetic and mineralogical susceptibility analysis and these determinations allowed to establish the predominance of pyroxene peridotites for the deposit (iron, nickel and chromium minerals) and classify it as lateritic-saprolitica to be processed by the Cuban metallurgical mining industry.

Keywords: Cajálbana mineral deposit; Cuban laterites; pyroxene peridotites; ferronickel industry.

1. INTRODUCCIÓN

El depósito mineral Cajálbana, ubicado en la provincia de Pinar del Río, es uno de los menos estudiados desde el punto de vista químico y mineralógico, lo que unido a la lejanía de las plantas metalúrgicas de la región oriental de Cuba ha limitado su uso industrial.

Los primeros trabajos de exploración del macizo serpentinitico de Cajálbana fueron realizados por la compañía norteamericana *Cuban Iron Company* entre los años 1939-1943, dirigidos principalmente a la determinación de los contenidos de níquel. Sin embargo, los estudios abarcaron solo una parte del área de desarrollo de la corteza laterítica de intemperismo *in situ* (parte occidental), así como sus redepositos situados al norte de la provincia de Pinar del Río (García *et al.* 2003).

Carmona (1995) y posteriormente Cardoso y Barrientos (2009) realizan investigaciones para la exploración de los minerales ferruginosos de la región de Cajálbana, sin profundizar en las características mineralógicas y los posibles usos metalúrgicos de estos recursos.

Adicionalmente se desarrollan investigaciones para utilizar los minerales de Cajálbana como corrector en la producción de cemento, (Gómez 1988). Se limitan al estudio de la parte superior del corte laterítico con alto contenido de hierro (zona de los ocreos inestructurales con perdigones) y sus redepositos de la zona de los bordes del macizo de serpentinitas de Cajálbana; estas investigaciones no aportan nuevos elementos sobre las características de las menas ferroniquelíferas del depósito que permitan evaluar posibles usos metalúrgicos.

El potencial niquelífero y la posible existencia de metales preciosos en el macizo de Cajálbana y sus alrededores son evaluados por Martín y otros investigadores (1998), lo que condujo a mejorar la base geológica existente teniendo en cuenta trabajos de campo y la interpretación de los mapas geofísicos y de relieve.

Los trabajos de geofísicos realizados por Cardoso y Barrientos (2009) y más recientemente, por Hernández-Ramsay y Escartin (2017) sirven de base para la combinación e integración de los estudios mineralógicos, químicos y de susceptibilidad magnética, aportando valiosas informaciones sobre la caracterización del depósito mineral Cajálbana, que en conjunto permiten conocer las características de esta materia prima, con posibilidades de utilización industrial.

Hernández-Ramsay, Escartin y Gutiérrez (2018) demuestran que el incremento de los contenidos de Cr_2O_3 , Fe_2O_3 y FeO son los responsables del aumento de los valores de la susceptibilidad magnética, en todos los tipos de rocas, tanto ultramáficas como máficas.

El uso de georradars en las investigaciones geológicas se ha extendido de manera vertiginosa, llegando en muchos casos a sustituir los métodos tradicionales, laboriosos y costosos, de perforación (Francké y Nobes 2015).

Estos estudios constituyen una herramienta para la planificación de la exploración y la evaluación de recursos, así como la identificación de áreas con posibilidades de explotación, sin embargo, son insuficientes para definir posibles usos metalúrgicos de este depósito.

Constituye, por tanto, objetivo fundamental de este trabajo establecer las principales características físicas, químicas y mineralógicas del depósito Cajálbana, con vistas a su posible utilización metalúrgica, aprovechando las tecnologías productoras de níquel existentes en Cuba.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La ubicación del área de estudio se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Área del depósito Cajálbana (Adaptado de Ronneliah Sitali 2012)

2.1. Muestreo

Se utilizó el método de perforación *Hollow Auger Integral* (Dickinson 1965), con barrenas de diámetro de 89 mm, para los pozos mineralógicos y las muestras objeto de la investigación. Durante los sondeos, a intervalo no mayor de 1 m, se documentaron los testigos.

Las muestras se tomaron por horizontes litológicos, previa homogenización y cuarteo de cada intervalo perforado, muestreando dentro de una misma litología tantas veces como variaciones en las características físicas y mineralógicas se observaba en la materia prima (litología secundaria, mineralización acompañante, cambio de coloración, entre otros).

Se conformaron muestras compósito del depósito mineral Cajálbana, a partir de los trabajos del Proyecto de Exploración Geológica del 2009 (Cardoso y Barrientos 2009), las que fueron homogeneizadas y cuarteadas, empleando el método del cono y el anillo. Posteriormente fueron sometidas a análisis de caracterización química, mineralógica y de susceptibilidad magnética.

2.2. Técnicas analíticas

Para los análisis químicos se utilizó el método de Plasma Inductivamente Acoplado (ICP, por sus siglas en inglés) y se determinaron los elementos siguientes: Fe, Ni, Co, Mn, Si, Al, Mg y Cr. Complementariamente fueron caracterizados los perfiles del depósito, a través del método geofísico de georradar (GPR) y los itinerarios de mapeo geológico.

Estas técnicas se combinaron con análisis magnéticos, utilizando el equipo KT-9 kappameter, fabricación canadiense de 1997, con las características siguientes:

Sensibilidad: $1 \times 10^{-5} \text{SI}$; rango de medición: $9,99 \times 10^{-3} - 999. \times 10^{-3} \text{SI}$; frecuencia de operación: 10 KHz; temperatura ambiente de operación: de 10-55 °C; display LCD de 4 ½ caracteres.

Los análisis mineralógicos se efectuaron en un difractómetro de rayos X, modelo: X'PERT³ de Panalytical, bajo las condiciones de trabajo siguientes: barrido tipo Gonio en $[\theta]$ registro angular desde 4,0042 hasta 79,9962 con distancia de paso en θ de 0,0080, con radiación de cobre y filtro de níquel; diferencia de potencial igual a 40 kV, corriente de 30 mA y calibración del equipo con patrón externo de silicio. Finalmente se realizó el recálculo químico mineralógico por cada una de las ocho muestras compósitos.

El coeficiente de mineralización (Cm) global del área de estudio fue calculado según la cantidad de pozos totales perforados entre los pozos minerales, tomando en cuenta el área que abarcan los pozos perforados en la zona de estudio.

A partir de las técnicas de caracterización empleadas se clasificaron los diferentes elementos y compuestos químicos por litologías, siguiendo la metodología para el tratamiento geológico de la meteorización de las rocas ultramáficas en Cuba oriental (Lavaut-Copa 1998).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Características litológicas de las menas

Se obtuvo que los perfiles litológicos son del tipo laterítico-saprolítico. Están en correspondencia con los trabajos de Lavaut (2003) y Ariosa y demás investigadores (2003), pero en este caso con predominio del laterítico saprolítico estructural incompleto, que desde la superficie del corte hasta la base constituyen perfiles con predominio de minerales de hierro, níquel, aluminio, silicio y cromo, cuyas características químicas se muestran en la Figura 2.

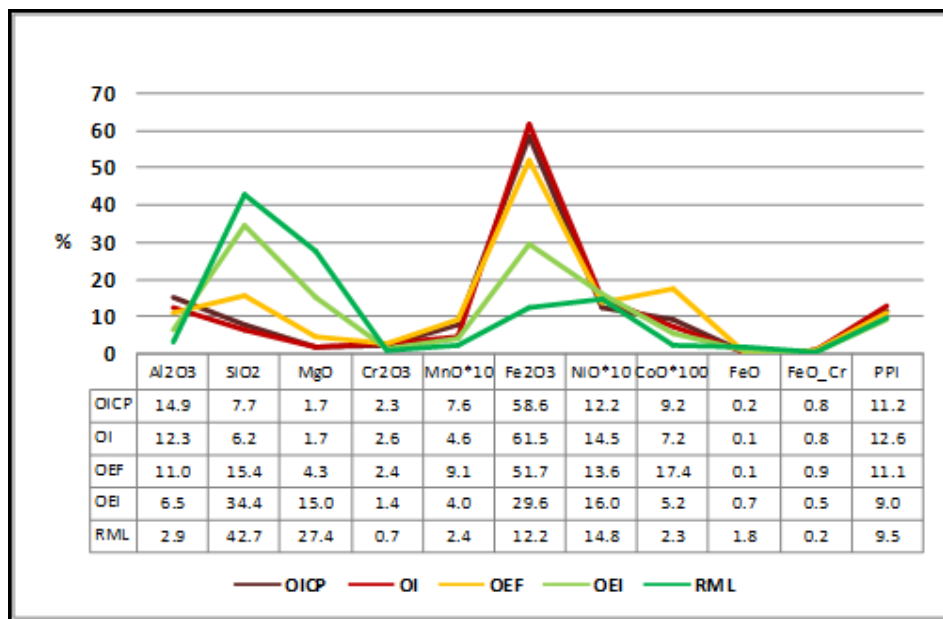


Figura 2. Contenido promedio de óxidos por litologías existentes en el depósito Cajálbana. (OICP): Ocre inestructural con concreciones de hierro, (OI): Ocre inestructural sin concreciones de hierro, (OEF): Ocre estructural final, (OEI): Ocre estructural inicial, (RML): Serpentinatas lixiviadas y desintegradas.

El comportamiento químico de este depósito mineral es característico del perfil laterítico-saprolítico, explotado por más de 70 años en la región oriental de Cuba. En este caso, en la medida que se profundiza en el corte litológico se observa un incremento del contenido promedio de níquel, silicio y magnesio, mientras que disminuye el contenido de hierro, cobalto y aluminio (Tabla 1); aspectos que permiten catalogar al depósito Cajálbana como prospectivo para la industria minero metalúrgica en Cuba.

Tabla 1. Contenido promedio de los principales elementos químicos por litologías, existentes en el depósito Cajálbana

Litología	Elementos químicos (%)					
	Ni	Fe	Co	Si	Mg	Al
OICP	0,96	41,0	0,072	3,6	1,1	7,9
OI	1,14	43,1	0,057	2,9	1,0	6,5
OEF	1,07	36,2	0,136	7,2	2,6	5,8
OEI	1,26	20,7	0,041	16,1	9,0	3,4
RML	1,17	8,6	0,018	20,0	16,5	1,6

(OICP): Ocre inestructural con concreciones de hierro. (OI): Ocre inestructural sin concreciones de hierro. (OEF): Ocre estructural final. (OEI): Ocre estructural inicial. (RML): Serpentinatas lixiviadas y desintegradas.

Los resultados mineralógicos permitieron comprobar que el depósito Cajálbana se caracteriza por la presencia mayoritaria de rocas ultramafitas, principalmente, harzburgitas y sus serpentinitas, lherzolitas, websteritas y más escasamente dunitas, generalmente de color verde, con tonalidades que van desde claro a oscuro, de estructura masiva, constituidas por ortopiroxenos bastitizados, olivino (relictico o serpentinizado) y minerales del grupo de la serpentina, como se muestra en la Figura 3.

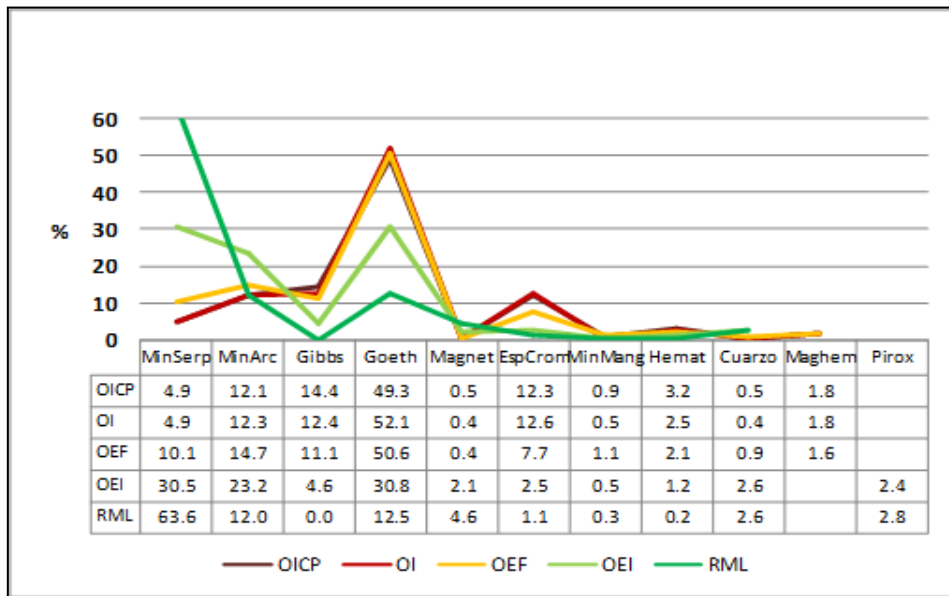


Figura 3. Composición mineralógica promedio por litologías, en el depósito Cajálbana ((OICP): Ocre inestructural con concreciones de hierro, (OI): Ocre inestructural sin concreciones de hierro, (OEF): Ocre estructural final, (OEI): Ocre estructural inicial, (RML): Serpentinitas Lixiviadas y Desintegradas).

3.2. Características mineralógicas de las menas

La mena mayoritaria es la limonita, que ocupa el 37,93 % y se localiza fundamentalmente en los horizontes desde los OICP hasta el OEF, cuyos resultados del recálculo realizado se observan en la figura siguiente.

Como se aprecia en las Figuras 4 y 5, mineralógicamente las menas de este depósito se caracterizan por la presencia mayoritaria de goethita, minerales de serpentina y arcillosos, que confirman la existencia predominante de hierro, níquel, silicio y magnesio; elementos que justifican la similitud con los minerales de la región de Nicaro-Moa y la posibilidad de utilizar tecnológicamente por la industria metalúrgica cubana.

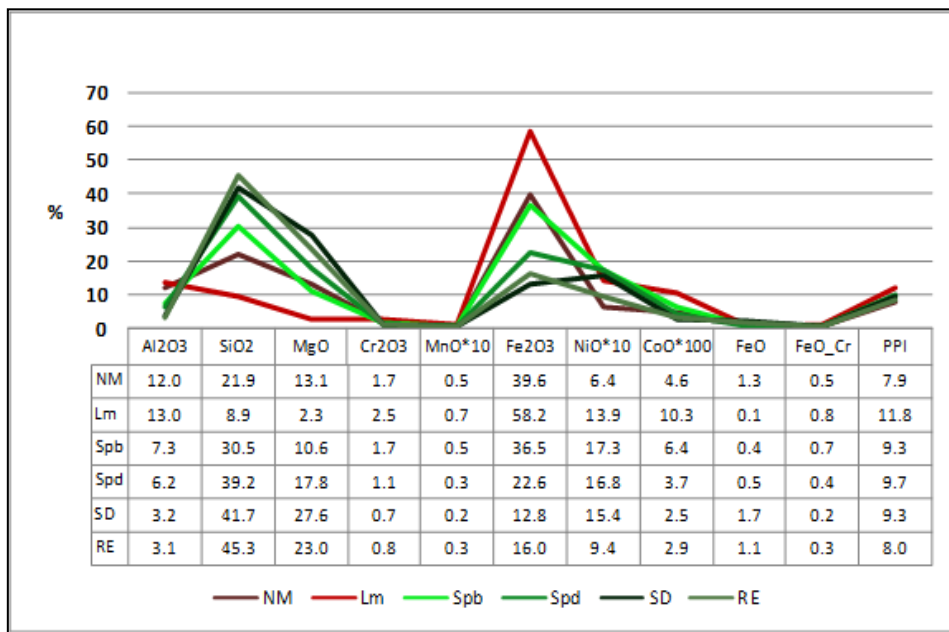


Figura 4. Contenido promedio de óxidos por menas en el depósito Cajálbana. (Lm: Limonita, Spb: Saprolita blanda, Spd: Saprolita dura, Sd: Serpentina dura, NM: No mineral y RE: Roca estéril).

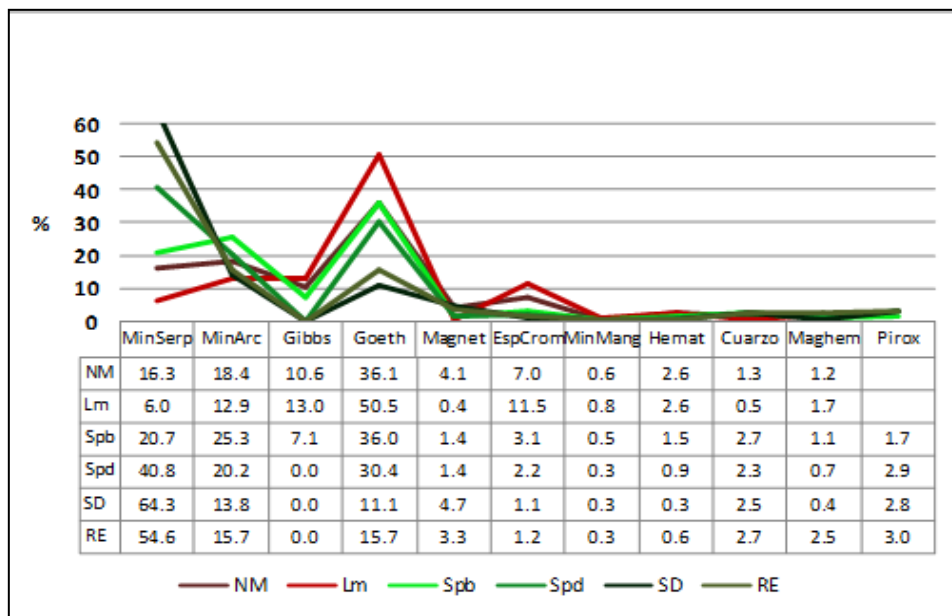


Figura 5. Composición mineralógica promedio por menas en el depósito Cajálbana (Lm: Limonita, Spb: Saprolita blanda, Spd: Saprolita dura, Sd: Serpentina dura, NM: No mineral y RE: Roca estéril).

3.3. Resultados del ensayo de susceptibilidad magnética

Los ensayos de susceptibilidad magnética (SM) aportan las curvas de resistividad (ρ_a) y cargabilidad (Ca) aparente (Hernández-Ramsay, Escartin

y Gutiérrez 2018), utilizadas para la determinación de los minerales magnéticos presentes en el depósito Cajálbana.

La SM indicó la presencia abundante de minerales magnéticos, confirmándose que el 50 % de las curvas de cargabilidad son del tipo "H", lo que revela la presencia de todas las litologías (OICP; OISP; OEF; OEI; RML, RMA) en el corte laterítico, correspondiendo los valores altos de la primera rama a los OI, mientras que a los OEF se asocian los valores más bajos de la curva. El 30 % de las curvas de Ca son del tipo "A", las cuales indican un corte con potencia de OI menor que 5 m o incluso nula, lo que reafirma los resultados de investigaciones recientes desarrolladas por Hernández-Ramsay y Escartin (2017).

Se comprobó, además, que el depósito Cajálbana presenta valores de resistividad y cargabilidad aparente bajo las condiciones de: $pa1 > pa2 < pa3$ y $Ca1 > Ca2 < Ca3$, donde las muestras secas pulverizadas (SP) y húmedas (H) del depósito revelan pequeñas diferencias en cuanto a sus valores de SM, lo que demuestra la homogeneidad de los minerales de Cajálbana, como se aprecia en la Tabla 2.

Tabla 2. Principales valores promedio de susceptibilidad magnética del depósito Cajálbana

Muestras	SM (H)	SM (SP)	Diferencias
M-1	29,1	28,8	0,3
M-2	23,6	20,7	2,9
M-3	19,04	18,9	0,14
M-4	7,51	7,03	0,48
M-5	8,03	7,42	0,61
M-6	46,28	43,4	2,88
M - 7	45,10	43,85	1,25
M - 8	45,50	44,23	1,27

El análisis de los valores de la susceptibilidad magnética y los resultados del análisis mineralógico permitió comprobar que existe una estrecha relación entre ambas características en la corteza de intemperismo del depósito Cajálbana. Los mayores valores de susceptibilidad magnética indican la presencia de minerales de magnetita, principalmente, asociados a contenidos de Fe entre 36 % y 50 %, mientras que el resto de los valores de SM están relacionados con la mineralización de hematita, maghemita, lo cual fundamenta la similitud de este depósito con las características de los yacimientos de la región oriental de Cuba. Dichos aspectos se consideran

importantes para evaluar a Cajálbana como una zona perspectiva para el tratamiento metalúrgico de sus reservas minerales.

3.4. Caracterización general del depósito Cajálbana

El coeficiente de mineralización (Cm) global del área de estudio es de 70,74 %, con una potencia media de 3,7 m; constituida fundamentalmente por perfiles lateríticos-saprolítico estructurales incompletos desarrollados sobre un protolito ultramáfico (peridotitas) y muy subordinadamente rocas máficas, alrededor del 11 %.

La mineralización presente en el depósito Cajálbana está relacionada, principalmente, con las rocas peridotitas piroxénicas y minerales de hierro y arcillas.

Como se aprecia en la Tabla 3 la corteza limonítica (Lm) posee los mayores valores de mineralización (48,99 %), debido a la existencia de pozos no-minerales, con contenidos relativamente altos de Fe, MgO, Al₂O₃ y Cr₂O₃ y una potencia promedio muy similar a la de los yacimientos de Moa.

Tabla 3. Contenido promedio de los principales elementos químicos por tipo de corteza de mineralización en el depósito Cajálbana

Corteza de mineralización	Contenidos químicos (%)								
	Fe	Ni	Co	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	Cr ₂ O ₃	Pm.i	Cm
Lm	41,41	1,03	0,081	2,59	12,84	0,60	2,57	2,73	48,99
Spb	27,41	1,11	0,058	10,65	9,16	0,54	1,79	2,58	7,80
Spd	16,62	1,07	0,033	21,10	4,57	0,34	1,03	5,76	10,32
Sd	10,07	1,24	0,021	27,94	2,52	0,21	0,65	n.d	2,1
Contenidos Promedio	23,88	1,10	0,05	15,57	7,27	0,42	1,51	3,69	17,30

Lm: Limonita, Spb: Saprolita blanda, Spd: Saprolita dura, Sd: Serpentina dura, Pm.i: Potencia media industrial, (metros), Cm: Coeficiente de mineralización (%).

Por otra parte, la saprolita blanda (Spb) alcanza un coeficiente de mineralización promedio 7,80 %, con un carácter extremadamente inestable, que exhibe una difusión muy limitada debido a la existencia de pozos no-minerales con contenidos promedio de Fe, Ni y Co acorde a las características de los yacimientos de Punta Gorda en Moa.

La saprolita dura (Spd) posee un coeficiente de mineralización de 10,32 %, con carácter extremadamente inestable y una difusión limitada, aunque algo superior a la de saprolita blanda (Spb); mientras que la serpiente

dura (sd) presenta un desarrollo bastante limitado, caracterizada por el coeficiente de mineralización más pequeño, de 2,1 %, extremadamente disperso o inestable.

De forma general, los minerales del depósito Cajálbana en la provincia de Pinar del Río poseen contenidos promedio de los principales elementos químicos similares a los que caracterizan a los yacimientos ferroníquelíferos de la región oriental de Cuba, con una potencia promedio de la mena de 5,26 m y una mineralización de 17,3 %, afines a las principales características físico-químicas de aquellos yacimientos y que hacen a este depósito prospectivo para la industria minero metalúrgica de Cuba.

Desde el punto de vista mineralógico el depósito de Cajálbana está constituido, principalmente, por minerales portadores de Fe y Ni, específicamente, la goethita; le siguen los minerales de serpentina y los arcillosos y, en menor proporción, las espinelas cromíferas y los piroxenos. Se comprobó, además, el predominio de peridotitas piroxénicas, minerales de hierro, níquel y cromo, fundamentalmente.

La combinación de los análisis químicos, mineralógicos y de susceptibilidad magnéticas permiten tomar decisiones sobre los posibles usos metalúrgicos del depósito Cajálbana.

4. CONCLUSIONES

- Los minerales del depósito Cajálbana en la provincia de Pinar del Río se caracterizan por poseer importantes elementos y compuestos químicos, donde sobresalen los contenidos promedio de hierro (40,10 %), níquel (1,05 %) cobalto (0,060 %), óxido de magnesio (17,7 %), óxido de aluminio (8,90 %) y óxido de cromo (1,85 %); reservas de gran atracción para la industria metalúrgica cubana.
- El depósito de Cajálbana se caracteriza mineralógicamente por la presencia de minerales portadores de Fe y Ni, principalmente goethita, magnetita, hematita y minerales de serpentina, que lo asemejan a los yacimientos níquelíferos de la región oriental de Cuba.
- Las características físicas, químicas y mineralógicas del depósito Cajálbana en la provincia de Pinar del Río lo convierten en un yacimiento de limonita y saprolita, similar al resto de los minerales ferroníquelíferos cubanos, con grandes potenciales para su aprovechamiento metalúrgico.

5. AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento a la Empresa Geominera Oriente (EGMO) y *Caribbean Cuban Nickel* (CCN) por brindar informaciones geológicas inéditas sobre el depósito Cajálbana.

6. REFERENCIAS

- Ariosa, J. D.; Lavaut-Copa, W.; Bergues-Garrido, P. S. y Díaz-Martínez, R. 2003: Modelo geológico descriptivo para los yacimientos lateríticos de Fe-Ni-Co en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa de Cuba Oriental. *Minería y Geología*, 19(1-2): 18.
- Cardoso, L. y Barrientos D, K. 2009: Reconocimiento geológico Cajálbana. Santiago de Cuba: Empresa Geominera Oriente.
- Carmona, A. 1995: Recálculo de los recursos y reconocimiento de lateritas níquelíferas del macizo de Cajalbanda. Pinar del Río: Empresa Geominera Pinar del Río.
- Dickinson, R. E. 1965: Registro de Patente US 3178210A.
- Francké, J. C. y Nobes, D. C. 2015: A preliminary evaluation of GPR for nickel laterite exploration. Department of Geological Sciences, University of Canterbury. Christchurch, New Zealand.
- García, D.; Gil, S.; Delgado, R. y Millan, L. 2003: Generalización y actualización geológica de la provincia de Pinar del Río. La Habana: Instituto de Geología y Paleontología de Cuba.
- Gómez, O. R. 1988: Informe sobre los trabajos de búsqueda orientativa y detallada a escala 1:10 000 para corrector de Fe para la producción de cemento "La Mulata". La Habana: Oficina Nacional de Recursos Minerales de Cuba.
- Hernández-Ramsay, A. J. y Escartin, S. M. 2017: Caracterización geoelectrica de cortezas lateríticas a partir de sondeos eléctricos verticales de polarización inducida (SEV-PI). *Minería y Geología*, 33(4): 15-28. ISSN: 1993 8012.
- Hernández-Ramsay, A. J.; Escartin, S. M. y Gutiérrez, M. 2018: Utilización de los valores de susceptibilidad magnética para el análisis petrográfico de muestras del basamento de la corteza de intemperismo. *Minería y Geología*, 34(1): 17-30. ISSN: 1993 8012.
- Lavaut-Copa, W. 1998: Tendencias geológicas del intemperismo de las rocas ultramáficas en Cuba oriental. *Minería y Geología*, 15(1): 9-16.
- Lavaut-Copa, W. 2003: La meteorización de las ofiolitas de Cuba oriental. Modelos geológicos y terminología cubana. En: V Congreso de Geología y Minería de la Sociedad Cubana de Geología GEOMIN'2003. La Habana, p. 24-28.

Martín, R.; Barrios, E.; Fernández de Lara, R. y Barbón, R. 1998: Reconocimiento geológico de metales preciosos (Au y Ag) en el macizo de Cajálbana y sus alrededores sectores Agustina, Burén y Yagruma. La Habana: Oficina Nacional de Recursos Minerales de Cuba.

Ronnelliah Sitali, M. 2012. *Petrogénesis y geoquímica de las vulcanitas máficas cretácicas de la región Habana-Matanzas*. Trabajo de diploma. Universidad de Pinar del Río.

Recibido: 24/11/17

Aceptado: 31/01/18

Juan Ruiz Quintana, Master en Ciencias. Ministerio de Energía y Minas, La Habana, Cuba jruiz@minem.gob.cu