

## Concentraciones anómalas de escandio y samario en el depósito laterítico de níquel Cajálbana

### Anomalous concentrations of scandium and samarium in the lateritic nickel deposit Cajálbana

Juan Ruiz-Quintana<sup>1\*</sup>, Alain Carballo-Peña<sup>2</sup>, José Nicolás Muñoz-Gómez<sup>2</sup>, Gerardo Antonio Orozco-Melgar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ministerio de Energía y Minas, La Habana, Cuba

<sup>2</sup>Universidad de Moa, Holguín, Cuba.

\*Autor para la correspondencia: [jruiz@minem.gob.cu](mailto:jruiz@minem.gob.cu)

---

#### Resumen

Para incrementar el conocimiento geológico de la corteza de meteorización del depósito laterítico de níquel Cajálbana se realizó la caracterización mineralógica y geoquímica, con el propósito de determinar la presencia de elementos de tierras raras y otros metales de interés, no contemplados en los estudios preliminares. Se tomaron muestras compósitos en seis pozos mineralógicos perforados en el área de investigación. Las muestras se analizaron utilizando difracción de rayos X y análisis químicos por ICP-MS, para 26 elementos químicos. Se revelaron concentraciones anómalas de escandio y samario, que superan cuatro veces el valor el clarke del primero y diez veces el del segundo. La existencia de contenidos anómalos de escandio de 104,32 ppm y samario de 82,18 ppm en el horizonte de limonita, con una concentración total de ETR en este horizonte de 191,25 ppm, incrementa el valor potencial de los recursos lateríticos del depósito Cajálbana.

**Palabras clave:** elementos de tierras raras; escandio; samario; lateritas níquelíferas; depósito Cajálbana.

#### Abstract

To increase the geological knowledge of the weathering crust of the Cajálbana nickel lateritic deposit, its mineralogical and geochemical characterization

was performed, with the purpose of determining the presence of rare earth elements and other metals of interest, not contemplated in the preliminary studies. Composite samples were taken from six mineralogical wells drilled in the research area. The samples were analyzed using X-ray diffractometry and chemical analysis of basic elements and by ICP-MS, for 26 chemical elements. Anomalous concentrations of scandium and samarium were revealed, which exceed four times the clarke value of the first and ten times that of the second. The existence of anomalous contents of scandium of 104,32 ppm and samarium of 82,18 ppm in the limonite horizon, with a total concentration of ETR in this horizon of 191,25 ppm, increases the potential value of the lateritic resources of the deposit Cajálbana.

**Keywords:** rare earth elements; scandium; samarium; nickeliferous laterites; Cajálbana deposit.

## 1. INTRODUCCIÓN

El depósito laterítico de níquel de Cajálbana se originó a partir de procesos de meteorización de las rocas máficas y ultramáficas que afloran en un área aproximada de 60 km<sup>2</sup> en el municipio La Palma, provincia de Pinar del Río, en el sistema montañoso Sierra del Rosario. Se localiza a 13 km del poblado La Palma, a 38 km de Bahía Honda y a 70 km al NE de la capital provincial (Figura 1), constituyendo el depósito laterítico de níquel de mayor significación y de menor grado de estudio geológico en el occidente de Cuba.

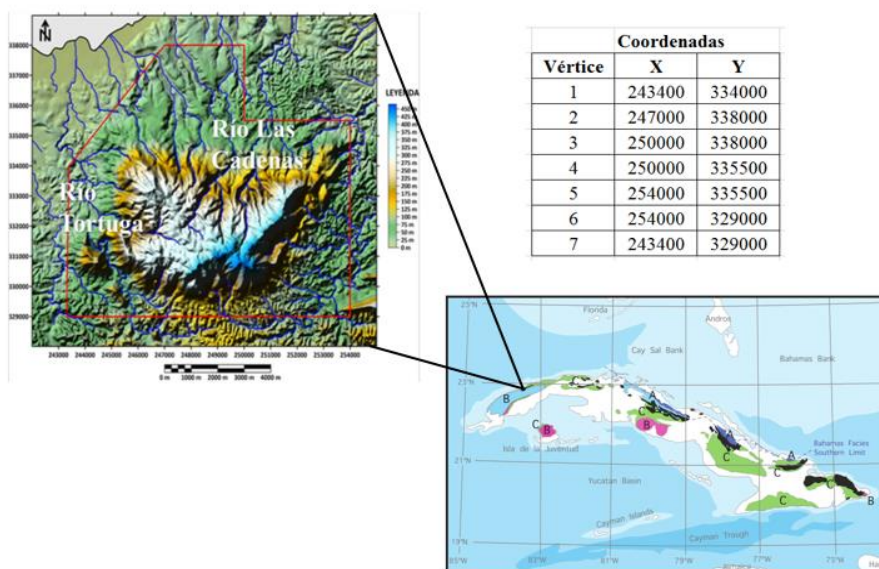


Figura 1. Ubicación geográfica del depósito laterítico de níquel Cajálbana. Adaptado de Commercial Caribbean Nickel & Geominera Oriente (2009).

El relieve es de tipo meseta, con alturas de 450 m sobre el nivel medio del mar, presentando cumbres aplanadas que transicionan a valles profundos, por donde corren riachuelos permanentes e intermitentes.

Las investigaciones geológicas del depósito Cajálbana, realizadas entre los años 1939-1943 por parte de la compañía norteamericana *Cuban Iron Company*, se orientaron a la evaluación de los recursos niquelíferos existentes.

Biriukov y Messina (1969) realizaron el levantamiento geológico a escala 1: 50 000, con la estimación de los recursos niquelíferos del depósito Cajálbana, utilizando los resultados del muestreo de afloramientos naturales, pozos criollos y pozos de perforación.

Ogarkov (1970) realizó la evaluación de los recursos limoníticos y serpentiniticos del depósito de Cajálbana, vigente hasta la actualidad, los que están clasificados en la categoría de Recursos Inferidos.

Maximov *et al.* (1978), investigaron las características petrológicas, tectónicas y genéticas del depósito Cajálbana, elaboraron el mapa geológico de la meseta de Cajálbana, delimitaron la corteza de meteorización y las rocas ultramáficas, corroborando las conclusiones de Biriukov y Messina (1969) y la estimación realizada por Ogarkov (1970).

En el período 2008–2009 la sociedad Commercial Caribbean Nickel (CCN) realizó el reconocimiento geológico en un área de investigación de 16,01 km<sup>2</sup>, en el sector Cajálbana-Bahía Honda, para la caracterización de las zonas perspectivas con recursos laterítico–saprolíticos de Ni y Co. Se empleó una red de perforación de 500 x 500 m, con determinaciones de los elementos básicos (Fe, Ni, Co, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y MnO) de mayor interés para la industria niquelífera cubana y se caracterizó la corteza de meteorización y los recursos lateríticos de níquel y cobalto, en correspondencia con la fase de investigación desarrollada (CCN & Geominera Oriente 2009).

Las investigaciones realizadas por Ruiz-Quintana *et al.* (2018) caracterizaron la corteza de meteorización para establecer el posible uso industrial de los recursos laterítico–saprolíticos del depósito Cajálbana.

### **1.1. Características geológicas regionales**

Las ofiolitas de la región forman parte del denominado cinturón ofiolítico septentrional, que se caracterizan por una serie de cuerpos alargados y deformados, usualmente desmembrados e imbricados con otras unidades geológicas, entre Cajálbana al oeste, el Pan de Guajaibón y Bahía Honda, al NE (Figura 2). Las rocas ultramáficas (tectonitas, principalmente

harzburgitas) y el complejo vulcanógeno-sedimentario (basaltos, silicitas, calizas y limolitas) de la Formación Encrucijada, son los miembros de la secuencia ofiolítica mejor representados, mientras que los gabros y las diabasas, son relativamente escasos y aparecen en una melange, en forma de bloques entre serpentinitas (Iturralde-Vinent 2012) .

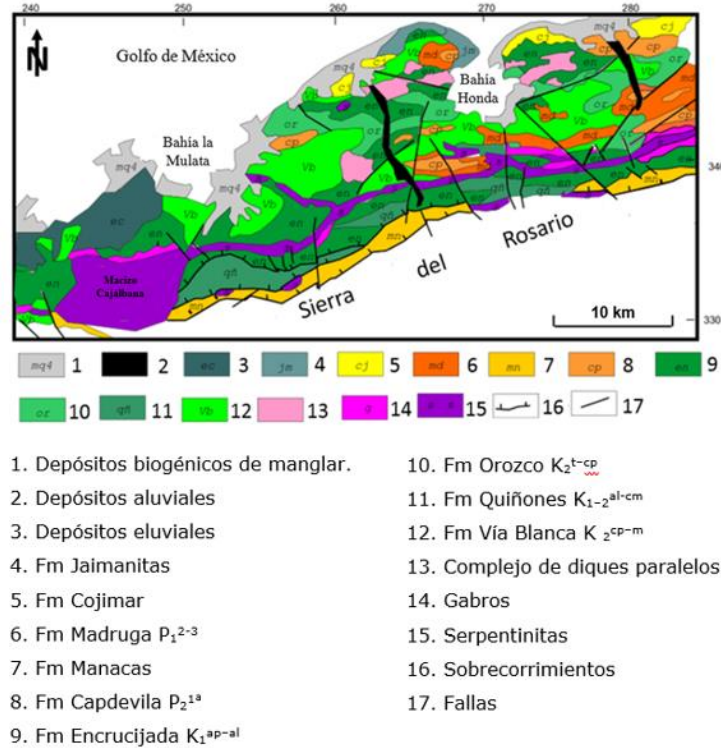


Figura 2. Esquema geológico de la región Bahía Honda. Adaptado de Martín-Lago y Pérez-Vázquez (2019).

## 1.2. Características geológicas del macizo de Cajalbana

El origen del depósito Cajalbana se debe a procesos de meteorización de las rocas ultramáficas del basamento, constituidas principalmente por harzburgitas, con una participación menor de las dunitas y lherzolitas serpentinizadas (Maximov *et al.* 1978).

El complejo de tectonitas está representado por rocas ultramáficas intensamente serpentinizadas y en el extremo oriental, afloran fragmentos de gabros conjuntamente con harzburgitas, websteritas y lherzolitas serpentinizadas (Fonseca 1988). En relación a las dunitas, la autora antes citada argumentó su pertenencia al complejo cumulativo y las ubicó en la base de las rocas gabroides; ocasionalmente manifiestan mineralización cromífera, mientras que, a los efusivos, los describe en forma de sills, concordantes con la secuencia sedimentaria. En la región de Bahía Honda, el

complejo vulcanógeno sedimentario, está representado por la Formación Encrucijada.

En un análisis geoquímico comparativo de las ultramafitas de Pinar del Rio con las existentes en otras regiones de Cuba, Fonseca *et al.* 1990 establecieron que las primeras se distinguen por contenidos menores de Cr, Co y Zn y concentraciones mayores de Sc, Ba y Sr, lo que relacionaron a diferencias en la composición del manto terrestre, según ellos, más cercano a las lherzolitas.

Los trabajos de reconocimiento realizados por CCN & Geominera Oriente (2009) establecieron el predominio de peridotitas piroxénicas del tipo harzburgita en el sector SE, las que transicionan hacia el NW a harzburgitas serpentinizadas.

De acuerdo con Prieto-Cabeza *et al.* (2017) en el sector SW del macizo Cajálbana, se presenta un corte ultramáfico con predominio de las peridotitas del tipo harzburgita y otras rocas como dunitas y piroxenitas, las que, con base a la interpretación petrológica, cristalizaron a partir de una fuente mantélica de composición lherzolítica empobrecida.

### **1.3. Existencia de elementos de tierras raras en las lateritas níquelíferas cubanas**

Las propiedades físicas y químicas singulares de las tierras raras son aprovechadas en aplicaciones de alta tecnología, en sectores claves de la industria, la energía y la defensa, representando un factor importante del equilibrio tecnológico, económico y político a nivel internacional. Los elementos de las tierras raras (ETR), constituyen metales críticos, declarados por el gobierno de los EEUU (Executive Order 13817, 2018) y la Comisión Europea (Proenza 2019).

En los depósitos lateríticos de Ni y Co cubanos se han reportado concentraciones anómalas de ETR, incluido el escandio (Sc) asociados principalmente al horizonte limonítico (Aiglsperger *et al.* 2013, 2016; Páez-Montero 2015; Cazañas-Díaz *et al.* 2016; Torres-Zafra, Lavaut-Copa y Casañas-Díaz 2017; Carballo-Peña *et al.* 2018). Estos reportes se han referido indistintamente a depósitos lateríticos de níquel y cobalto de la región de Moa y al depósito San Felipe, en la provincia de Camagüey. No se conocen reportes de concentraciones anómalas de escandio y samario en otros depósitos de lateritas níquelíferas en Cuba.

Para incrementar el conocimiento geológico de la corteza de meteorización del depósito laterítico de níquel Cajálbana, se realizó la caracterización

mineralógica y geoquímica, con el propósito de determinar la presencia de elementos de tierras raras y otros metales de interés, no contemplados en los estudios preliminares. Este artículo solo reporta los resultados referentes a elementos de tierras raras.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron muestreos en seis pozos mineralógicos, cuya ubicación se brinda en la Tabla 1; las muestras se investigaron utilizando difracción de rayos X y análisis químicos para ocho elementos, que permitieron precisar las características mineralógicas y la composición química por horizontes de la corteza de meteorización. A seis muestras por horizontes del depósito Cajálbana, se le realizaron determinaciones analíticas por ICP-MS para 26 elementos químicos, en el Laboratorio de Dingnan Dahua New Material Resource Co. (DDNMR), entidad certificada de la República Popular China.

Tabla 1. Ubicación de los pozos mineralógicos investigados en el depósito laterítico de Cajálbana

No. Pozo	X	Y	Z	Sector
1	245500	334650	90,0	NW
2	245000	334950	60,0	NW
3	245000	334500	55,0	NW
4	247500	332000	325,0	SE
5	248500	331450	349,0	SE
6	247000	331500	295,0	SE

Los análisis químicos por ICP-MS incluyeron los elementos de las tierras raras siguientes: lantano (La), cerio (Ce), praseodimio (Pr), neodimio (Nd), samario (Sm), europio (Eu), gadolinio (Gd), terbio (Tb), disprosio (Dy), holmio (Ho), erbio (Er), tulio (Tm), iterbio (Yb), lutecio (Lu), itrio (Y) y escandio (Sc). Otros elementos: cobre, plomo, zinc, uranio, torio, calcio, potasio, titanio, vanadio y zirconio. Este estudio reporta solamente los elementos de tierras raras.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Resultados mineralógicos

La distribución de las fases minerales principales de los horizontes laterítico y saprolítico del depósito Cajálbana se presenta en la Figura 3. En el horizonte de saprolita dura, las fases minerales predominantes son minerales del grupo de la serpentina, minerales arcillosos y goethita; en la saprolita blanda: minerales arcillosos y goethita, como fases secundarias, minerales del grupo

de la serpentina y gibbsita, apareciendo como accesorios: hematita, espinela cromífera, magnetita, maghemita, mineralización de manganeso y cuarzo.

En el horizonte limonítico, incluyendo la ferricreta, predominan las fases minerales: goethita y gibbsita y como fases secundarias, minerales arcillosos y espinela cromífera, siendo accesorios: hematita, magnetita, maghemita, mineralización de manganeso y cuarzo.

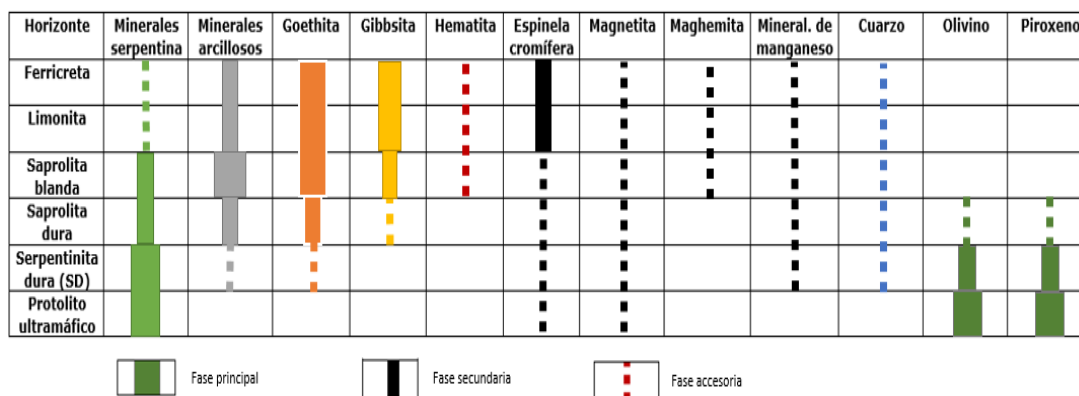


Figura 3. Esquema de distribución de las principales fases minerales por horizontes del perfil de meteorización del depósito Cajálbana.

### 3.2. Resultados geoquímicos

En la Tabla 2 se muestran los resultados del contenido de ETR por horizontes de la corteza de meteorización laterítica-saprolítica, donde sobresalen las concentraciones de samario (Sm) y escandio, muy superiores al resto de las tierras raras en la parte superior del perfil laterítico.

Tabla 2. Contenidos de ETR en los horizontes del perfil laterítico-saprolítico del depósito Cajálbana (ppm)

Horizonte	ETR							
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
Ferricreta	0,10	0,24	0,07	0,10	73,74	0,32	0,03	0,56
Limonita	0,10	0,40	0,07	0,10	82,18	0,30	0,03	0,50
Saprolita blanda	0,10	0,03	0,07	0,10	76,84	0,86	0,03	0,31
Saprolita dura	0,10	0,54	1,07	0,35	74,53	1,07	0,03	0,26
Serpentinita dura	0,10	0,11	0,07	0,10	79,83	0,91	0,03	0,05
Protolito ultramáfico	38,95	0,03	2,40	5,92	0,05	0,05	17,74	0,82

	CLARKE	39,0	66,5	9,20	41,50	7,05	2,00	6,20	1,20
Horizonte	ETR								
	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Sc	Y	
Ferricreta	0,41	0,29	10,80	0,25	0,04	0,04	97,21	0,09	
Limonita	0,33	0,26	2,25	0,24	0,04	0,04	104,32	0,09	
Saprolita blanda	0,87	0,65	6,47	0,66	0,04	0,04	85,12	0,09	
Saprolita dura	2,00	1,00	3,72	0,92	0,04	0,04	73,02	1,37	
Serpentinita dura	0,92	0,59	3,35	0,79	0,04	0,04	64,22	0,09	
Protolito ultramáfico	0,03	0,03	0,03	0,04	5,71	6,22	34,69	6,10	
CLARKE	5,20	1,30	3,50	0,52	3,20	0,80	22,00	33,00	

Los elementos La, Gd, Yb, Lu y Sc están concentrados en las rocas del basamento (protolito ultramáfico); Sc, Sm, Er y Tm en el horizonte de saprolitas y Sc, Sm y Er en el horizonte de limonita, incluida la ferricreta.

El contenido de Sm, con valores por encima de 70 ppm, muestra un comportamiento estable en el perfil laterítico-saprolítico. Las mayores concentraciones de Sm se alcanzaron en el horizonte limonítico, con 82,18 ppm, que representa un enriquecimiento equivalente a 11,6 veces del clarke.

La concentración de Sc muestra un crecimiento, desde las rocas del basamento (34,69 ppm) hasta el horizonte de limonita, con un máximo de 104,32 ppm y un ligero decrecimiento en la ferricreta, con 97,21 ppm.

La concentración total de ETR por horizontes del depósito Cajálbana se muestra en la Figura 4. En el horizonte de limonita alcanza un máximo de 191,25 ppm y en la ferricreta, 184,29 ppm.



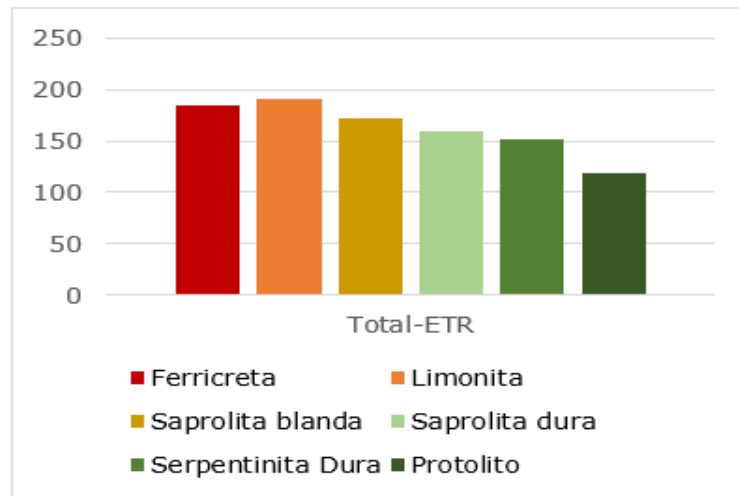


Figura 4. Esquema de la concentración total de ETR (ppm) por horizontes del depósito Cajalbana.

Los usos principales del escandio en el año 2019 fueron las aleaciones de aluminio-escandio y la fabricación de celdas de combustible de óxido sólido (SOFCs, por sus siglas en inglés). Otros usos importantes se reportaron en las industrias de cerámica, electrónica, láseres, iluminación e isotopos radioactivos (U.S. Geological Survey 2020).

En Filipinas, la planta de Taganito, subsidiaria de SMS, que emplea la tecnología de lixiviación ácida a presión (HPAL) para la producción de níquel y cobalto, inició la producción comercial de 7,5 t de  $Sc_2O_3$  equivalente por año (U.S. Geological Survey 2020). Varios proyectos se encuentran en diferentes fases de inversión en otros países para el aprovechamiento del escandio (Carballo-Peña *et al.* 2018), que evidencia la viabilidad técnico-económica de la producción de escandio a partir de las lateritas niquelíferas.

Según datos publicados por el Instituto de Tierras Raras y Metales Estratégicos (Sirvent-Zaragoza 2012), entre los usos principales de samario, se encuentran la elaboración de imanes de nueva generación, particularmente de  $SmCo_5$  y  $Sm_2Co_{17}$ , que conservan sus propiedades magnéticas a altas temperaturas, con aplicación en la aeronáutica y tecnologías aeroespaciales.

El Sm 153, junto con otros compuestos, se emplea para el tratamiento terapéutico con radionúclidos en metástasis óseas. Uno de los isótopos de Sm es absorbente estable de neutrones, empleándose en la industria atómica, como barrera de control y envenenamientos nucleares. El óxido de samario ( $Sm_2O_3$ ) tiene aplicaciones en la absorción de radiación infrarroja.

Por otra parte, los precios de escandio y samario evidenciaron una tendencia creciente desde inicios de 2020 (U.S. Geological Survey 2020), constituyendo un factor económico favorable.

#### 4. DISCUSIÓN

Las concentraciones anómalas de Sc, Sm y otros ETR en el perfil laterítico-saprolítico del depósito Cajálbana, pueden ser explicadas considerando los factores y criterios siguientes:

- a) Las rocas del macizo Cajálbana cristalizaron a partir de una fuente mantélica de composición lherzolítica empobrecida (Prieto-Cabeza *et al.* 2017), lo que constituye el factor litológico que condicionó la formación posterior de una corteza de meteorización, con características mineralógicas y geoquímicas específicas.
- b) En la parte superior del perfil de meteorización (limonítica y saprolítica), la concentración de escandio es favorecida por el predominio de la goethita y la gibbsita, fases minerales principales que contienen  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{Al}^{3+}$ , respectivamente, con alta correlación geoquímica con el escandio (Proenza 2015; Chassé *et al.* 2017; Torres-Zafra, Lavaut-Copa y Casañas-Díaz 2017; Carballo-Peña *et al.* 2018).
- c) El contenido anómalo de Sc en las rocas del basamento (34,69 ppm) favoreció el enriquecimiento secundario en la corteza de meteorización, con un factor de concentración equivalente a 3,0 en el horizonte de limonita, respecto al contenido promedio en las rocas del basamento y de 4,7 con respecto al clarke de este metal (22 ppm).
- d) Con base a las regularidades establecidas (Aiglsperger *et al.* 2016), la concentración anómala de Sm y otros lantánidos puede responder a la abundancia de minerales arcillosos, combinado con la mineralización de manganeso en la parte superior del perfil laterítico-saprolítico del depósito Cajálbana.

#### 5. CONCLUSIONES

- En el horizonte de limonita las concentraciones de escandio corresponden a 104,32 ppm y de samario 82,18 ppm, con un contenido total de ETR en este horizonte de 191,25 ppm. Estas concentraciones incrementan el valor potencial de los recursos lateríticos de níquel del depósito Cajálbana, lo cual pudiera considerarse como criterio para el posible procesamiento por tecnologías hidrometalúrgicas, mediante el proceso HPAL, que permitiría el aprovechamiento integral de estos recursos.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la sociedad Commercial Caribbean Nickel (CCN), por facilitarnos la información utilizada para la elaboración del presente artículo científico. En especial, los autores agradecen las sugerencias realizadas por la Ing. Bárbara Fuentes Herrera.

## 7. REFERENCIAS

- Aiglsperger, T.; Proenza, J. A.; Lewis, J. F.; Zaccarini, F.; Garuti, G.; Rojas-Purón, A.; Longo, F. y Chang, A. 2013: Rare Earth Elements and Scandium in different types of Ni-laterite profiles from the northern Caribbean: a geochemical comparison. En: Mineral Deposit Research for a High-Tech World-12 th SGA Biennial Meeting 2013. Proceedings, 4: 1683-1686.
- Aiglsperger, T.; Proenza, J. A.; Lewis, J. F.; Labrador, M.; Svojtka, M.; Rojas-Purón, A.; Longo, F. y Ďurišová, J. 2016: Critical metals (REE, Sc, PGE) in Ni laterites from Cuba and the Dominican Republic. *Ore Geology Review*, 73: 127-147.
- Biriukov, V. y Messina, V. 1969: Sobre los trabajos de búsqueda y levantamiento a escala 1: 50 000 realizados en los años 1967-1968 en la parte oriental de la provincia de Pinar del Río. La Habana: Oficina Nacional de Recursos Minerales.
- Commercial Caribbean Nickel (CCN) & Geominera Oriente. 2009: Reconocimiento geológico Cajalbana. Commercial Caribbean Nickel. La Habana, Cuba.
- Carballo-Peña, A.; Muñoz-Gómez, J. N.; Orozco-Melgar, G. A.; y Rojas-Purón, A. L. 2018: Criterios geológicos y económicos sobre la existencia de escandio en los yacimientos lateríticos de Moa, Cuba. *Minería y Geología*, 34(4): 371-383. ISSN 1993 8012.
- Cazañas-Díaz, X.; Torres, J. L.; Lavaut-Copa, W.; Alonso, J. A.; Llanes, A. I. y Cobas, R. 2016: Elementos de las tierras raras (ETR), elementos del grupo del platino (EGP) y otros raros y dispersos (ERD). Principales tipos genéticos de depósitos y posibles áreas de prospección en el territorio nacional. Parte I. *INFOMIN*, 8(2): 85-105.
- Chassé, M.; Griffin, W. L.; O'Reilly, S. Y. y Calas, G. 2017: Scandium speciation in a world-class lateritic deposit. *Geochemical Perspectives Letters*, 3(2): 105-114.
- Executive Order 13817. 2018: A Federal Strategy to Ensure and Reliable Supplies of Critical Minerals. Washington D.C. May 16-17. Consulta: 10/01/2020. Disponible en: <https://EveryCRSReport.com>.

- Fonseca, E. 1988: Geoquímica de la Asociación Ofiolítica de la provincia de Pinar del Río. XVIII. *Revista tecnológica*, XVIII(4): 3-16. ISSN-0464-1897.
- Fonseca, E.; Castillo, F.; Uhanov, A. y Correa, G. 1990: Geoquímica de la Asociación Ofiolítica de Cuba. Transactions 12th Caribbean Geological Conference. St. Croix, U.S. Virgin Islands, 51-58.
- Iturralde-Vinent, M. A. 2012: *Compendio de Geología de Cuba y del Caribe*. La Habana: CITMATEL.
- Martín-Lago, R. y Pérez-Vázquez, R. G. 2019: Prospección en la Zona Metalogénica en Bahía Honda, Pinar del Río, Cuba. Consulta: 10/01/2020. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/337111922>
- Maximov, A.; Mediakov, S.; Riabenko, B.; Krasnov, A.; Kateav, L.; Hevia, V. y Park, G. 1978: Informe sobre los resultados de los trabajos complejos geólogo-geofísicos a escala 1:50 000 en la zona Bahía Honda. La Habana: Oficina Nacional de Recursos Minerales.
- Ogarkov, V. 1970: Conclusiones sobre las menas de níquel de la corteza laterítica de interperismo de la Plataforma Cajálbana. La Habana: Oficina Nacional de Recursos Minerales.
- Páez-Montero, S. 2015: Informe técnico de la misión a China para la caracterización de elementos de tierras raras a muestras de yacimientos de Cuba. Laboratorio Central de Minerales José Isaac del Corral. La Habana, Cuba.
- Prieto-Cabeza, C. M.; Llanes, A. I.; Mayeta-Cutiño, R.; Ramos-Pineda, R.; García Hernández, J. A. 2017. Caracterización mineralógico textural del sector sur-oeste del macizo Cajálbana, La Palma, Pinar del Río. *INFOMIN*, 9(2): 10-24. ISSN: 1992 4194.
- Proenza, J. A. 2015: Mineralogía y geoquímica de Ni, Co, EGP, Sc, REE en yacimientos lateríticos. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía Macla* 20(junio): 1-7.
- Proenza, J. A. 2019: Geoquímica y mineralogía de metales críticos (Co, Sc, EGP, REE) en lateritas níquelíferas. En: VIII Convención de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS '2019. La Habana, Cuba.
- Ruiz-Quintana, J.; Pons-Herrera, J.; Otaño-Noguel, J.; Hernández-Díaz, R.; Cardoso-Velázquez, L. y Hernández-Ramsay, A. 2018: Caracterización preliminar del depósito Cajálbana para posible uso metalúrgico. *Minería y Geología*, 34(3): 318-330. ISSN 1993 8012.
- Sirvent-Zaragoza, G. 2012: El mercado de tierras raras: un mercado estratégico. *Instituto Español de Estudios Estratégicos*, Documento de opinión 72: 1-15. Consulta: 10/01/2020. Disponible en: [http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs\\_opinion/2012/DIEEEE072-2012\\_MercadoTierrasRaras\\_GSirventZ.pdf](http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2012/DIEEEE072-2012_MercadoTierrasRaras_GSirventZ.pdf).

Torres-Zafra, J. L.; Lavaut-Copa, W. y Casañas-Díaz, X. 2017: Modelos descriptivo-genéticos de depósitos minerales metálicos para el Mapa Metalogénico de la República de Cuba a escala 1:250 000. Instituto de Geología y Paleontología. Servicio Geológico de Cuba. La Habana.

U. S. Geological Survey. 2020: Mineral commodity summaries 2020. 200 p. <https://doi.org/10.3133/mcs2020>. ISBN 978-1-4113-4362-7. Consulta: 10/01/2020. Disponible en: <https://mineralprices.com/rare-earth-metals/>.

## **Información adicional**

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

### **Contribución de los autores**

JRQ: concepción de la idea de investigación, interpretación de resultados, redacción, revisión y aprobación de la versión final del artículo. ACP: revisión bibliográfica, análisis e interpretación de resultados, redacción, revisión y aprobación de la versión final del artículo. JNMG: preparación de muestras, interpretación de análisis mineralógicos, aprobación de la versión final del artículo. GAOM: preparación de muestras, interpretación de análisis mineralógicos, aprobación de la versión final del artículo.

### **ORCID**

JRQ, <https://orcid.org/0000-0002-9151-8678>

ACP, <https://orcid.org/0000-0002-6841-8986>

JNMG, <https://orcid.org/0000-0001-6378-5405>

GAOM. <https://orcid.org/0000-0002-1474-0953>

Recibido: 24/01/2020

Aceptado: 15/03/2020