ARTÍCULO DE REVISIÓN

Criterios geológicos y económicos sobre la existencia de escandio en los yacimientos lateríticos de Moa, Cuba

Geological and economic criteria on the existence of scandium in the lateritic deposits of Moa, Cuba

Alain Carballo-Peña[1], José Nicolás Muñoz-Gómez[1], Gerardo Antonio Orozco-Melgar[1], Arturo Luis Rojas-Purón[1]

[1]Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba.

Resumen

Análisis de ICP-MS han revelado la existencia de escandio en las menas lateríticas de níquel y cobalto de la región de Moa (Cuba). En el presente artículo se revisa la información disponible sobre este elemento y se ofrecen criterios geológicos y económicos sobre los contenidos de escandio en las menas de los yacimientos lateríticos Camarioca Este, Yagrumaje Norte y Yagrumaje Sur y en las colas de las plantas metalúrgicas de la región. La distribución de la mineralización de escandio en el perfil laterítico predomina en el horizonte limonítico, donde aparecen goethita, gibbsita y hematita. Los valores de los contenidos medios de escandio reportados evidencian potencialidad económica para el desarrollo de proyectos de exploración geológica que consideren la extracción del metal como subproducto de la producción de níquel y cobalto en la región de Moa, utilizando la tecnología de lixiviación ácida a presión.

Palabras clave: escandio; menas lateríticas; depósitos de níquel y cobalto; Moa.

Abstract

ICP-MS analyses have revealed the existence of scandium in the lateritic nickel and cobalt ores of the Moa region (Cuba). This article reviews the available information about this element and geological and economic criteria are offered about the contents of scandium in the ores of Camarioca East, Yagrumaje North and Yagrumaje South lateritic deposits and in the tailings of the metallurgical plants of the region. The distribution of

scandium mineralization in the lateritic profile predominates in the limonitic horizon, where goethite, gibbsite and hematite appear. The reported values of the average contents of scandium show economic potential for developing geological exploration projects that consider the extraction of metal as a byproduct of nickel and cobalt production in Moa, using acid leaching technology under pressure.

Keywords: scandium; lateritic ore; nickel and cobalt deposits; Moa.

---

1. INTRODUCCIÓN

La literatura científica actual refiere la presencia de escandio en depósitos lateríticos en Australia, Filipinas, Nueva Zelandia y otros países. El escandio (Sc), junto al ytrio (Y) y los lantánidos, representan un grupo de 17 metales conocidos como elementos de tierras raras (REE, por sus siglas en inglés), los que muestran similitudes en las propiedades físicas y químicas y en el comportamiento geoquímico; no se presentan como metales nativos en la corteza terrestre y se concentran en haluros, carbonatos, óxidos, fosfatos y silicatos.

Existen alrededor de 200 especies minerales que contienen metales de las tierras raras, pero los más importantes formadores de mena son la bastnäsita [(Ce,La)(CO_3)F] y monacita [(Ce,La,Nd,Th)PO_4], conteniendo cada uno cerca del 70 % en peso de óxidos de tierras raras (*British Geological Survey* 2010). A estos minerales se añade la xenotima (YPO_4), que generalmente contiene, además de ytrio, cantidades apreciables de elementos pesados de las tierras raras (HREE, por sus siglas en inglés: Y, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, y Eu-Lu), constituyendo la fuente principal de estos metales (Voncken 2016).

Por su parte, el escandio se encuentra ampliamente disperso en la litosfera en forma de soluciones sólidas en más de 100 especies minerales y se asocia a minerales ferro-magnesianos, como hornblenda, biotita y piroxenos. Los basaltos y gabros tienen concentraciones entre 5 ppm-48 ppm de óxido del escandio (Sc_2O_3) equivalente (Klein 2003). El enriquecimiento de escandio ocurre también en otros minerales como berilo, casiterita, columbita, granate, muscovita, minerales de tierras raras y wolframita (*U.S. Geological Survey* 2013).

El escandio puede obtenerse de thortveitita [$Sc_2Si_2O_7$], que contiene entre 44–48 % de Sc_2O_3, bazzita [$Be_3(Sc,Fe^{3+},Mg)_2Si_6O_{18}\cdot Na_{0.32}\cdot nH_2O$)], euxenita (Y,Ca,Ce,U,Th)$(Nb,Ta,Ti)_2O_6$] y gadolinita [$Y_2Fe^{2+}Be_2O_2(SiO_4)_2$],

minerales de tierras raras: y comúnmente se obtiene como subproducto del proceso de refinación de uranio y tántalo (Hoatson, Jaireth y Miezitis 2011).

Según datos del *U.S. Geological Survey* (2018) se reportan recursos identificados de escandio en Australia, Canadá, China, Kazakstán, Madagascar, Noruega, Filipinas, Rusia, Ucrania y los Estados Unidos de América. Debido a su baja concentración, el escandio es producido casi exclusivamente como subproducto del procesamiento de varios minerales o recuperado previamente a partir de colas y desechos industriales. En China, se obtiene como subproducto de la producción de titanio y tierras raras; en Rusia, del apatito y en Kazakstán y Ucrania, del uranio. Los usos principales del escandio lo constituyen 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 reportan en cerámica, electrónica, láseres, iluminación e isotopos radioactivos.

Las aleaciones de aluminio-escandio, que contienen entre 0,1 % y 0,5 % de escandio se destinan a la industria aeroespacial, a la fabricación de implementos deportivos y a otras aplicaciones de alto rendimiento. En las SOFCs, el escandio es añadido a un electrólito a base de zircón para mejorar la eficiencia energética, reducir la temperatura de reacción y alargar la vida útil de la celda. Se espera que las SOFCs jueguen el papel fundamental en el desarrollo de baterías para la industria del transporte basada en energía eléctrica, por lo que en los últimos años se ha despertado un interés global por el escandio (Hoatson, Jaireth y Miezitis 2011).

La demanda creciente de los principales compuestos de escandio y del propio metal para aplicaciones especiales en la industria de alta tecnología en ramas y sectores claves de la economía internacional, se refleja en los precios elevados de su comercialización (Tabla 1), por lo que se identifica como un metal estratégico.

Tabla 1. Variación del precio de escandio metálico y sus compuestos comercializables en el período 2013-2017 (USD)

Compuestos (USD/gramo):	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**
Acetato: 99,9 % de pureza	51,90	43,00	43,00	44,00	44,00
Cloruro: 99,9 % de pureza	148,00	123,00	123,00	126,00	124,00
Fluoruro: 99,9 % de pureza	253,00	263,00	263,00	270,00	277,00
Yoduro: 99,999 % de pureza	228,00	187,00	187,00	149,00	183,00
Óxido: 99,99 % de pureza	5,00	5,00	5,10	4,60	4,60

Metálico (USD/gramo):					
Dendrítico destilado	213,00	221,00	221,00	228,00	226,00
Lingote de Escandio	175,00	134,00	134,00	107,00	132,00
Aleación de Sc-Al, USD/Kg	155,00	386,00	220,00	340,00	350,00

Fuente*: U.S. Geological Survey* (2018): *Mineral Commodity Summaries* 2018.

Los depósitos lateríticos de níquel y cobalto presentan una distribución geográfica muy amplia (Figura 1). Según datos del *U.S. Geological Survey* (2018) Australia, Brasil, Cuba, Filipinas e Indonesia acumulan cerca del 62 % de las reservas globales de níquel. El volumen mayor de las reservas de cobalto se concentra en el Congo Kinshasa (49,3 %), Australia (16,9 %), Cuba (7,0 %) y Filipinas (3,9 %).

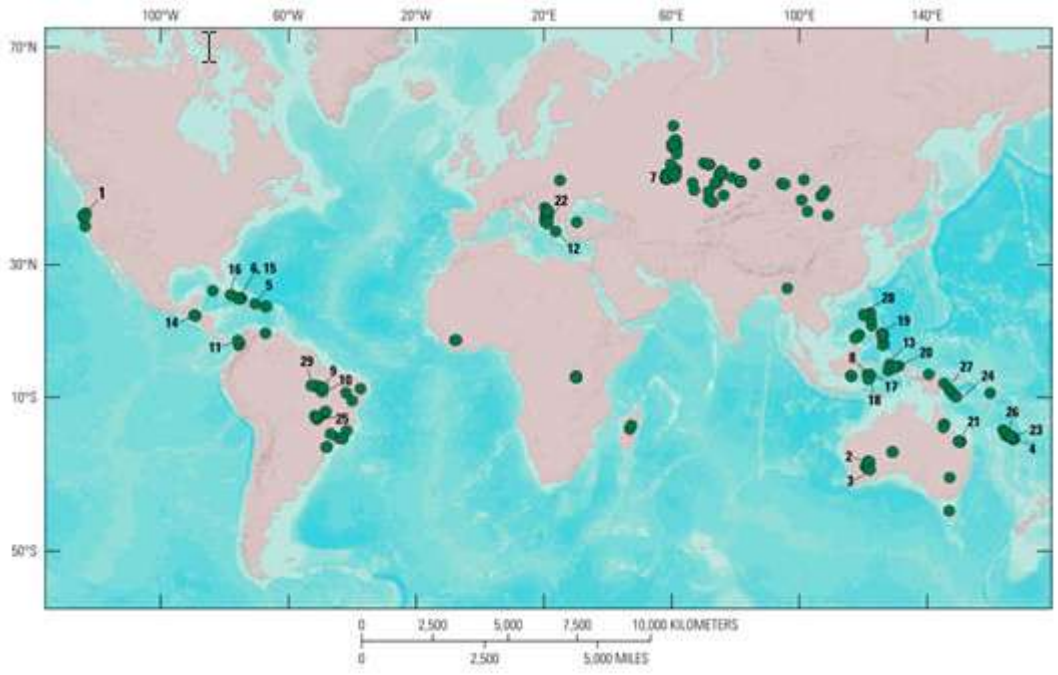


Figura 1. Distribución geográfica de los depósitos lateríticos de níquel y cobalto. Fuente: *Geological Survey of Canada* (Eckstrand et al. 2008) y *U.S. Geological Survey Open-File Report* 2011–1058 (Berger et al. 2011).

1.1. Comportamiento geoquímico de la mineralización de escandio en lateritas asociada a rocas máficas y ultramáficas

Los contenidos significativos de escandio en las rocas máficas se explica porque este metal está incorporado en piroxenos, anfíboles y más raramente en el olivino. Por ello, las piroxenitas muestran contenidos de escandio más elevados que las peridotitas. En el proceso de meteorización química el escandio tiene un comportamiento inmóvil, por lo que al ser lixiviados otros elementos se enriquece en el perfil laterítico, sustituyendo al Fe^{3+}, Al^{3+} y Ti^{3+}, donde tiende a existir en los óxidos de Fe, oxihidróxidos de

Fe, óxido de Ti, hidróxidos de Al y en los minerales del grupo de la serpentina (Maulana, Sanematsu y Sakakibara 2016).

En el modelo del depósito de la mineralización de escandio en lateritas asociada a rocas máficas y ultramáficas (Hoatson, Jaireth y Miezitis 2011) señalan que, en contraste con el grupo de los lantánidos y el ytrio, los que muestran una relación genética y espacial con las rocas ígneas alcalinas félsicas, el escandio tiene una estrecha afinidad con las rocas ígneas máficas y ultramáficas con alto contenido de magnesio. Como resultado del prolongado proceso de meteorización de estas rocas, en condiciones favorables de microclima, tectónica, relieve y otros factores, algunos elementos como el magnesio y la sílice son removidos y otros son retenidos como el hierro, níquel, cobalto y escandio (Proenza 2015).

Según Chassé y otros investigadores (2016), la mineralización de escandio en el depósito Syerston–Flemington, desarrollado sobre un complejo de rocas máfico-ultramáficas de tipo Alaska-Ural, se debe a la alta concentración de este metal en los clinopiroxenos. El proceso de meteorización favorece el enriquecimiento de los flujos de agua que circulan en el regolito, por debajo del nivel freático; la precipitación estacional de la goethita permite la adsorción de Sc^{3+} y durante los períodos secos la hematita, que se desarrolla a partir de la goethita, puede incorporar parte del Sc adsorbido en su estructura cristalina.

Sin embargo, este proceso está limitado por la diferencia de tamaño entre los enlaces de coordinación del Sc^{3+} y el Fe^{3+}, aunque tales diferencias no influyen en la capacidad de adsorción de la goethita, en condiciones de un pH casi neutro; durante la meteorización laterítica de rocas ultramáficas y máficas el escandio se comporta como un elemento pesado de las REE. El factor de enriquecimiento de Sc entre la roca madre y la saprolita fresca es cercano a 5 y en relación con el horizonte limonítico ese factor puede alcanzar hasta un máximo de 10 veces. En el horizonte limonítico, la goethita es portadora del 80 % del escandio, mientras que la hematita porta el 20 % restante (Chassé *et al*. 2016).

Proenza (2015), citando a Audet (2009) y Aiglsperger (2015), describe que en los depósitos lateríticos existe una alta correlación entre los contenidos de Sc y los de Fe_2O_3; y por los contenidos de escandio, los depósitos del Caribe son comparables con los depósitos australianos. El escandio se puede recuperar como un subproducto durante las operaciones de extracción de Ni-Co, ya que se lixivia fácilmente con ácido sulfúrico en el proceso de lixiviación ácida a alta presión (HPAL).

Algunos investigadores (Aiglsperger *et al*. 2013, 2016), al describir el comportamiento geoquímico del escandio en perfiles lateríticos de níquel y cobalto en Cuba, refirieren que la mineralización de Sc se concentra en las zonas ricas de óxidos secundarios de Fe y Mn. Los contenidos de escandio en la saprolita varían entre 8 ppm-17 ppm, mientras que en el horizonte limonítico, donde predomina la goethita (>50 % en peso) y, en menor proporción, maghemita, hematita y gibbsita, se incrementan hasta 70 ppm-98 ppm, observándose una alta correlación entre Sc y el Fe_2O_3 (Figura 2).

La concentración del níquel, cobalto y escandio en el perfil laterítico se debe fundamentalmente a la migración geoquímica limitada y selectiva, tanto en sentido vertical como horizontal; en el ejemplo del níquel, este metal migra en forma de Ni^{2+} en solución acuosa desde el horizonte limonítico hasta el horizonte saprolítico, sustituyendo al Mg^{2+} en los minerales del grupo de la serpentina, donde alcanza la mayor concentración.

El comportamiento geoquímico diferenciado del níquel, cobalto y escandio origina zonas de enriquecimiento de estos metales en el perfil laterítico, cuya distribución espacial muestra cierta regularidad (Figura 3).

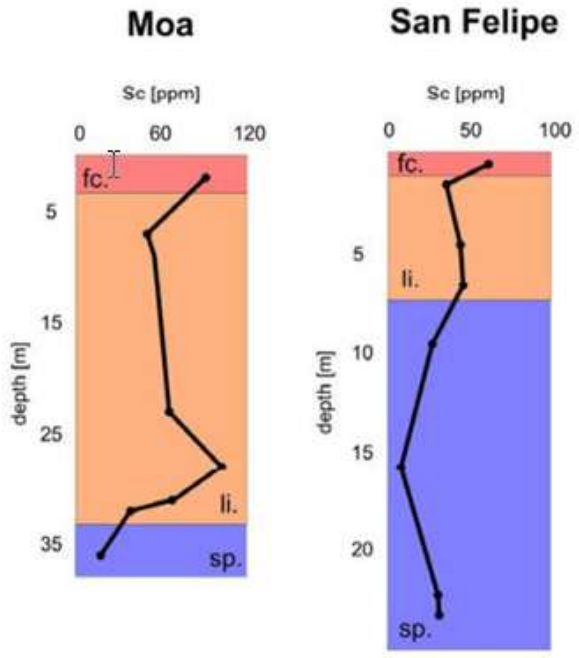


Figura 2. Distribución de los contenidos de escandio en perfiles lateríticos cubanos. Fuente: Aiglsperger y otros investigadores (2013). sp. = saprolita; li = limonita; fc. = ferricreta.

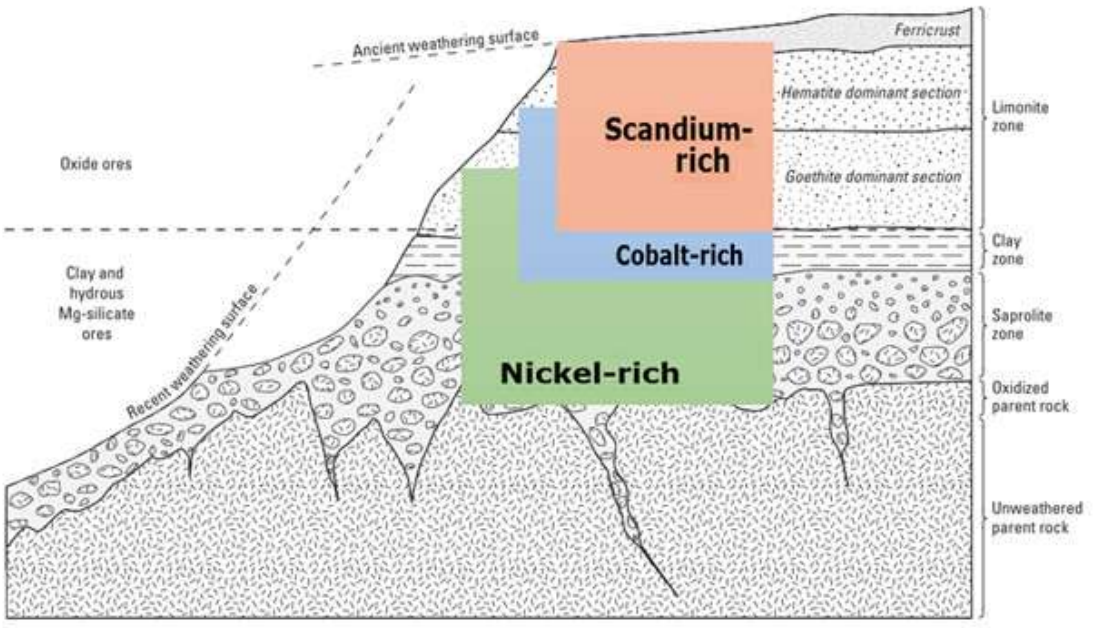


Figura 3. Zonas de enriquecimiento del níquel, cobalto y escandio en un perfil laterítico-saprolítico idealizado. (*U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report* 2010–5070–H, 38). Modificado por los autores.

1.2. Rasgos geológicos de los depósitos lateríticos sobre rocas máficas y ultramáficas en la región de Moa, Cuba

Las rocas del basamento de los depósitos de lateritas de níquel y cobalto del distrito mineral de Moa están constituidas principalmente por peridotitas, predominando las harzburgitas y dunitas, con mayor o menor grado de serpentinización. En estas rocas, constituidas por minerales ferro-magnesianos, se reportan contenidos entre 0,2 %–0,4 % en peso de níquel y 0,01 %-0,02 % de cobalto, valores que se incrementan debido al proceso de meteorización de las peridotitas serpentinizadas y serpentinitas.

Según la clasificación contenida en los modelos descriptivos–genéticos del Mapa Metalogénico de la República de Cuba a escala 1:250 000 (Torres-Zafra, Lavaut-Copa y Cazañas-Díaz 2017), se reconocen tres tipos de perfiles de meteorización: laterítico, laterítico–saprolítico (el más difundido) y laterítico–saprolítico arcilloso. El horizonte limonítico del perfil laterítico se compone fundamentalmente de goethita (65 %-77 %), que a su vez controla entre el 73 % y el 96 % de los contenidos de níquel. En los depósitos laterítico–saprolíticos la zona saprolítica está compuesta mayormente por minerales del grupo de las serpentinas (22 %-65 %) que junto a esmectitas niquelíferas (12 %-35 %) contienen entre el 82 % y el 85 % de níquel. En los depósitos laterítico-saprolítico arcillosos las esmectitas (nontronita y montmorillonita) aportan la mayor cantidad de

níquel (14 %-44 %). En todos los casos, entre el 80 % y el 90 % de cobalto, se asocia mayormente con los minerales de manganeso, principalmente asbolana y subordinadamente la litioforita. Otros metales asociados son el hierro (Fe), magnesio (Mg), cromo (Cr) y aluminio (Al).

En los depósitos lateríticos de Ni y Co cubanos se reportan también contenidos de vanadio (V), oro (Au), elementos del grupo del platino (EGP), tierras raras (REE) y, más recientemente, se ha establecido la existencia del escandio, asociado principalmente al horizonte limonítico, que incluye a la ferricreta (Proenza 2015; Cazañas-Díaz *et al.* 2016; Ministerio de Energía y Minas–IGP 2015; Aiglsperger *et al*. 2016).

En el sector occidental del distrito mineral de Moa predominan los depósitos del tipo laterítico (ejemplo: Moa Oriental, Camarioca Norte y Yagrumaje Oeste), mientras que en el sector oriental son más frecuentes los depósitos laterítico-saprolíticos (ejemplos: Punta Gorda, Yagrumaje Norte, Yagrumaje Sur y Camarioca Este), tal como se muestra en la Figura 4.

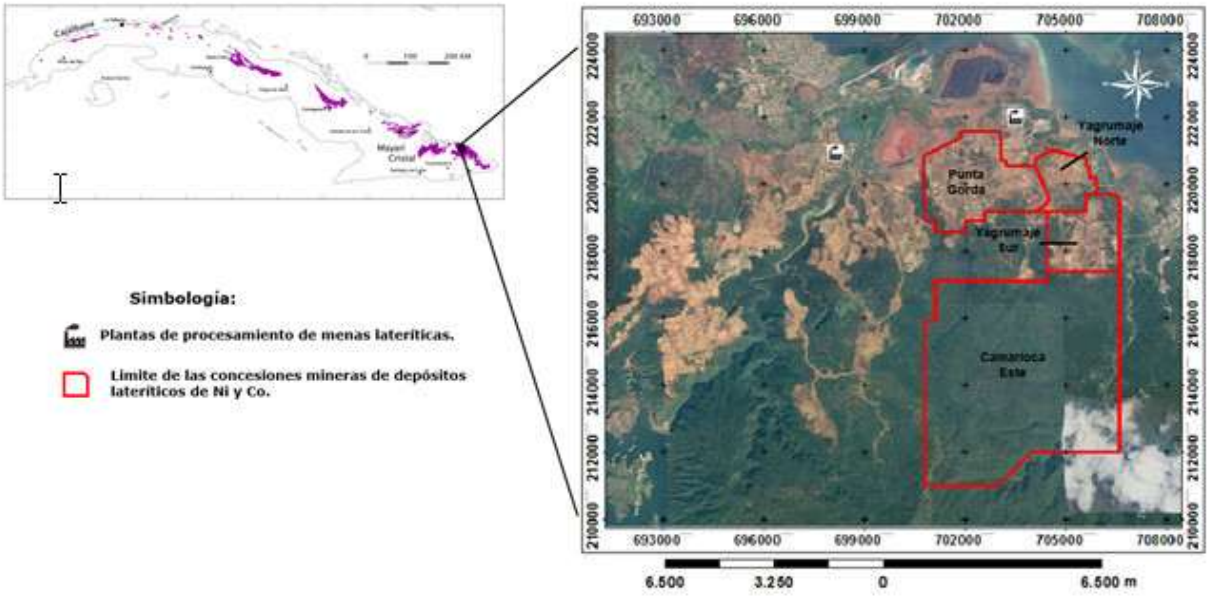


Figura 4. Ubicación geográfica de los depósitos lateríticos Punta Gorda, Yagrumaje Norte, Yagrumaje Sur y Camarioca Este localizados en el sector oriental del Distrito Mineral de Moa, representados sobre una imagen satelital de la región.

1.3. Posibilidades de obtención de escandio a partir de menas lateríticas de níquel y cobalto

En los últimos años, diversas publicaciones científicas se refieren a reportes técnicos de investigaciones y estudios de factibilidad de proyectos de varios países, que evidencian la viabilidad económica de la obtención de escandio,

como subproducto, a partir del procesamiento de las menas lateríticas de níquel y cobalto utilizando la lixiviación ácida a presión (HPAL).

Actualmente, los proyectos más significativos que consideran la extracción de Sc por la tecnología HPAL se concentran en Australia y Filipinas, dentro de los que se destacan los siguientes (*U.S. Geological Survey* 2018):

- *Scandium International Mining's Nyngan Project* (NSW, Australia) reporta reservas estimadas en 1,44 Mt, que representan 590 t de Sc *in situ*, aplicando un *cut-off* de 155 ppm de Sc. Este proyecto prevé producir 38,5 t/año a partir de 2019.

- *Clean TeQ's Syerston Project* (NSW, Australia) se encuentra en la fase de estudio de factibilidad y se reportan 45,7 millones de toneladas métricas de recursos medidos e indicados, con 19 200 t de Sc_2O_3 *in situ*, aplicando un *cut-off* de 300 ppm para el Sc.

- *Scandium-Cobalt-Nickel (SCONI) Project* (Queensland, Australia) está en la fase de estudio de factibilidad, con recursos medidos e indicados estimados en 12 Mt, con 3 000 t de Sc_2O_3 *in situ*, aplicando un *cut-off* de 162 ppm de Sc.

- *Taganito HPAL Nickel Corporation* (Filipinas) que prevé producir 7,5 t/año de Sc_2O_3, a partir de 2018.

En Moa se encuentra en operaciones una planta de lixiviación ácida a presión (HPAL), la que desde inicios de la década del 60 del siglo anterior procesa las menas lateríticas de níquel y cobalto procedentes de los depósitos lateríticos de níquel y cobalto del sector occidental de este distrito mineral, mostrando altos índices de eficiencia metalúrgica.

Este escenario sugiere la necesidad de esclarecer el significado geológico y económico de la mineralización de Sc, cuya existencia ha sido establecida recientemente en Cuba, lo que puede servir de argumentación para el desarrollo de programas y proyectos de exploración geológica que permitan caracterizar los rasgos de la mineralización del escandio en cada depósito laterítico y su posible aprovechamiento industrial como subproducto de la producción de níquel y cobalto, partiendo de los cuantiosos recursos de lateritas sobre rocas máficas y ultramáficas en varias regiones de Cuba y de una planta metalúrgica en operaciones que utiliza la tecnología HPAL.

2. METODOLOGÍA

Se revisaron datos publicados de los contenidos de escandio reportados para los yacimientos lateríticos de Ni y Co: Camarioca Este, Yagrumaje

Norte y Yagrumaje Sur, cuyas menas son procesadas por la planta Ernesto Che Guevara, que emplea la tecnología carbonato amoniacal. Igualmente, se revisaron los contenidos de escandio reportados en las colas de esta industria y en las menas de alimentación a la planta metalúrgica Moa Nickel S.A.-PSA, con la finalidad de reinterpretar los mismos. Los valores reportados para escandio fueron determinados empleando los métodos de ICP-MS.

3. RESULTADOS

Los valores del contenido medio del escandio en los depósitos que se explotan actualmente en el distrito mineral de Moa muestran una tendencia de incremento desde el oeste hacia el este. En el sector occidental, los depósitos están representados por las menas alimentadas a la planta Moa Nickel S.A.-PSA y los del sector oriental, por las menas de los yacimientos Camarioca Este, Yagrumaje Sur y Yagrumaje Norte, que son procesados por la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, la que emplea la tecnología carbonato–amoniacal (Figura 5). Esta afirmación se refuerza por el valor significativo del contenido de escandio reportado en las colas de esta planta.

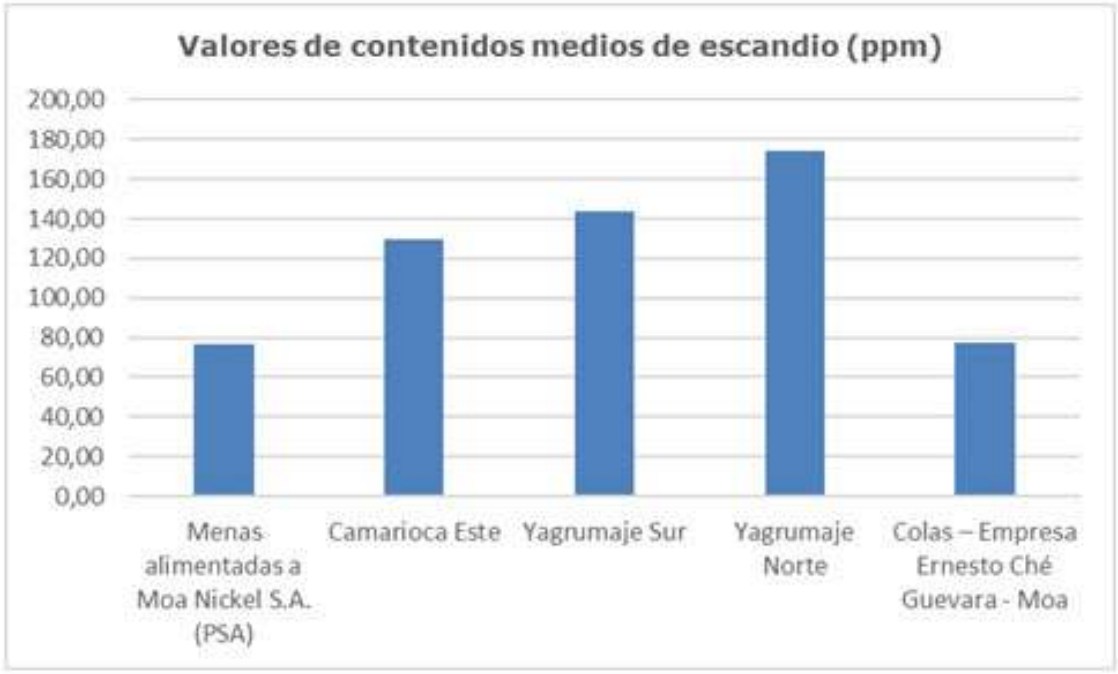


Figura 5. Valores de los contenidos medios de escandio (ppm) reportados en las menas lateríticas de níquel y cobalto del distrito mineral de Moa y en las colas de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Fuente: Datos del Ministerio de Energía y Minas (2015) y del Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico de Cuba (2016). Modificado por los autores.

En las menas que procesa la planta niquelera Moa Nickel S.A.-PSA se han realizado determinaciones puntuales del contenido de escandio que confirman la existencia de este metal en los depósitos que se explotan actualmente en el sector occidental del distrito mineral de Moa

4. DISCUSIÓN

Los contenidos medios de escandio en las menas suministradas a la planta de procesamiento Moa Nickel S.A.-Pedro Soto Alba alcanzan valores cercanos a 80 ppm. Estas menas proceden de los yacimientos lateríticos de níquel y cobalto de perfil limonítico de la parte occidental del distrito mineral de Moa. Sin embargo, el proceso tecnológico lixivia estos metales, evidenciando las potencialidades de esta planta de procesamiento para la obtención de escandio como subproducto comercializable de la producción de níquel y cobalto. Los contenidos de escandio *in situ* pudieran ser mayores, ya que las menas que son alimentadas al proceso tecnológico proceden de los niveles bajos e intermedios del horizonte limonítico, donde los contenidos de escandio no alcanzan sus valores máximos.

En los depósitos lateríticos de Ni y Co del sector oriental, que son procesados actualmente por la empresa Comandante Ernesto Che Guevara (muy cercanos al sector occidental), se reportan valores medios de Sc entre 130 ppm–175 ppm (Figura 4).

En el modelo descriptivo–genético de los depósitos del tipo laterítico–saprolítico, donde se enmarcan los depósitos Yagrumaje Norte, Yagrumaje Sur y la parte NE de Camarioca Este, se describe que dentro de las rocas madres (protolitos), además de dunitas, harzburgitas y sus serpentinitas, aparecen ultramafitas más piroxénicas (lherzolitas, wehrlitas y ortopiroxenitas olivínicas) y de manera subordinada, rocas máficas, como troctolitas, gabro olivínico, gabro normal, norita, y otras (Torres-Zafra, Lavaut-Copa y Cazañas-Díaz 2017). Como es conocido, tanto las ultramafitas piroxénicas como los gabros, son portadores de Sc y estas rocas se localizan con mayor frecuencia hacia la parte este y NE del distrito mineral de Moa, donde predominan los perfiles de meteorización del tipo limonítico–saprolítico.

5. CONCLUSIONES

- La existencia de escandio en los depósitos lateríticos de níquel y cobalto del distrito mineral de Moa permiten confirmar las potencialidades existentes para el desarrollo de proyectos de exploración geológica de menas de níquel-cobalto-escandio, si se considera la presencia de extensas cortezas de meteorización sobre

rocas máficas y ultramáficas del complejo ofiolítico, que abarca variedades litológicas favorables para este tipo de mineralización.

- La existencia de la planta de procesamiento Moa Nickel S.A.-PSA, que procesa las menas lateríticas de Ni y Co por la tecnología HPAL, con toda la infraestructura minera e industrial disponible, constituyen factores favorables a considerar para la estimación de las inversiones capitales necesarias para una futura extracción de escandio como subproducto de la producción de níquel y cobalto.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a los funcionarios del Ministerio de Energía y Minas y del Instituto de Geología y Paleontología-Servicio Geológico de Cuba, así como al Grupo Empresarial Cubaníquel, por facilitarnos la información utilizada para la realización de este artículo científico. En especial los autores agradecen las opiniones y sugerencias realizadas por el Dr. Joaquín Antonio Proenza Fernández de la Universidad de Barcelona, España, así como del MSc. Jorge Luis Urra Abraira de la empresa Moa Nickel S. A.-PSA de Moa, Cuba, y a la Lic. Milena Rodriguez San Román por la revisión lingüística.

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-12th SGA Biennial Meeting 2013. Proceedings, 4: 1683-1686.

Aiglsperger, T.; Proenza, J. A.; Lewis, J. F.; Labrador, M.; Svojtka, M.; Rojas-Purón, A. ... y Ďurišová, J. 2016: Critical metals (REE, Sc, PGE) in Ni laterites from Cuba and the Dominican Republic. *Ore Geology Review* 73: (127–147).

British Geological Survey 2010: Rare Earth Elements. Disponible en: www.MineralsUK.com

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. ISSN: 1992 4194.

Hoatson, D. M.; Jaireth, S. y Miezitis, Y. 2011: The major Rare-Earth-Elements Deposits of Australia: Geological Setting, Exploration, and

Resources. Technical report, Geoscience Australia. Disponible en: http://www.ga.gov.au/corporate_data/71820/Complete_Report.pdf.

Instituto de Geología y Paleontología. Servicio Geológico de Cuba 2017: Metalogenia de Cuba. Memoria Explicativa del Mapa Metalogénico de la República de Cuba a escala 1:250000. La Habana, 2017.

Klein, E. M. 2003: Geochemistry of the Igneous Oceanic Crust. *Treatise on Geochemistry*, 3: 433-463.

Maulana, A.; Sanematsu, K. y Sakakibara, M. 2016: An Overview on the Possibility of Scandium and REE Occurrence in Sulawesi, Indonesia. *Indonesian Journal on Geoscience*, 3(2): 139-147.

Chassé, M.; Griffin, W. L.; O'Reilly, S. Y. y Calas, G. 2016: Scandium speciation in a world-class lateritic deposit. *Geochemical Perspectives Letters*, 3(2): 105-114.

Ministerio de Energía y Minas–IGP 2015: Informe técnico de la misión a China para la caracterización elemental de muestras de diferentes yacimientos de Cuba.

Proenza, J. A. 2015: Mineralogía y geoquímica de Ni, Co, EGP, Sc, REE en yacimientos lateríticos. *Macla Revista de la Sociedad Española de Mineralogía* 20: 1-7.

Torres-Zafra, J. L.; Lavaut-Copa, W. y Cazañas-Díaz, X. 2017: *Modelos descriptivo–genéticos de depósitos minerales metálicos para el Mapa Metalogénico de la República de Cuba a escala 1:250 000.* La Habana: Instituto de Geología y Paleontología. Servicio Geológico de Cuba. 272 p. ISBN: 978-959-7117-74-2.

U.S. Geological Survey 2013: Scandium. In: *Mineral Commodity Summaries.* U.S. Geological Survey, Reston, USA, 140–141.

U.S. Geological Survey 2018: *Mineral Commodity Summaries*. U.S. Geological Survey. 200 p. Disponible en: https://doi.org/10.3133/70194932. ISBN 978-1-4113-4199-9

Voncken, J. H. L. 2016: *The Rare Earth Elements*. Springer International Publishing. DOI 10.1007/978-3-319-26809-5_2

Recibido: 05/03/2018
Aceptado: 10/05/2018

Alain Carballo-Peña, Doctor en Ciencias Geológicas. Profesor Titular.
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba acarballo@ismm.edu.cu