

Estudio de escandio en la tecnología HPAL en yacimiento lateríticos de la región de Moa

Study of scandium in HPAL technology in lateritic fields of the Moa region



<https://cu-id.com/2144/v16e10>

¹Annia Linares Bong*, ²Pedro Luis Merencio Guevara, ³Lilian Videaux Arcia

RESUMEN: En el programa estratégico de la Industria cubana del níquel, se prevé la inserción de nuevos productos en el mercado, que mejoren la relación costo - beneficio de sus producciones. Se realizó la caracterización, física, química y mineralógica de las muestras tomadas en dos yacimientos Moa Oriental y Zona Septentrional, con el propósito de evaluar la presencia de escandio en las menas lateríticas, utilizando la tecnología de lixiviación ácida a presión. Se tomaron muestras en seis pozos perforados de forma directa. Se emplearon dos técnicas de análisis, la de Espectrometría de Absorción Atómica (EAA), y Espectroscopia de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), esta última para determinar el escandio y las tierras raras. Se obtuvieron valores de Ni de 0,83 % a 1,28 %, Co de 0,06 y 0,2 %, SiO₂ de 6,25 % a 9,78 %, MgO de 0,23 % a 2,20 %. Se logró confirmar la existencia de escandio de 44,43 y 60 ppm respectivamente en la corteza de meteorización de los dos yacimientos, se lograron extracciones promedio de Sc de 64,71 % y 80,53 % respectivamente. Estos contenidos de escandio y ETR incrementa el valor potencial de los recursos en las zonas estudiadas.

Palabras Clave: escandio, yacimientos Moa Oriental, Zona Septentrional, lixiviación a presión.

ABSTRACT: In the strategic program of the Cuban nickel industry, the insertion of new products into the market is foreseen, which improve the cost-benefit relationship of its productions. In the project, the physical, chemical and mineralogical characterization of the samples taken in two deposits Moa Oriental and Zona Septentrional was carried out, with the purpose of evaluating the presence of scandium in the lateritic ores and debris, using acid leaching technology at pressure. Samples were taken in six directly drilled wells. Two analysis techniques were used, Atomic Absorption Spectrometry (EAA), and Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES), the latter to determine scandium and rare earths. Ni values of 0,83% to 1,28%, Co of 0,06 and 0,2%, SiO₂ of 6,25% to 9,78%, MgO of 0,23% to 2,20% were obtained. It was possible to confirm the existence of scandium of 44,43 and 60 ppm respectively in the weathering crust of the two deposits and the studied waste dump and average Sc extractions of 64,71% and 80,53% respectively were achieved. This scandium and ETR contents increase the potential value of the resources in the studied areas.

Keywords: scandium, Eastern Moa deposits, Northern Zone, pressure leaching.

INTRODUCCIÓN

Los elementos de tierras raras (ETR), escandio e itrio surgen originalmente en pequeñas cantidades a partir de depósitos de pegmatita granítica en el entorno geológico en el que se descubrieron por primera vez, hoy en día con el avance de la nanociencia se han estudiado otros como es el caso de los yacimientos lateríticos, estos elementos tienen gran demanda en el mercado internacional.

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.

El escandio e itrio y ETR, surgen originalmente en pequeñas cantidades a partir de depósitos de pegmatita granítica en el entorno geológico en el que se descubrieron por primera vez, hoy en día con el avance de la nanociencia se han estudiado otros como es el caso de los yacimientos lateríticos, estos elementos tienen gran demanda en el mercado internacional.

Recibido: 07/07/2024

Aprobado en su forma original: 11/12/2024

Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ). Carretera Yagrumaje Km7, Municipio Moa, Holguín, Cuba.

E-mail: cediniq@cil.moa.minem.cu

*Correo electrónico: alinares@cil.moa.minem.cu

Conflicto de Intereses: Los autores de este trabajo declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Investigación: Annia Linares Bong, Pedro Luis Merencio Guevara, Lilian Videaux.

Redacción-revisión y edición: Annia Linares Bong.

Artículo bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

El futuro del proceso minero de la región, estará indisolublemente ligado a la explotación de los minerales de los ETR, Sc e Y, existentes en los yacimientos a explotar por la tecnología ácida (HPAL). Aiglsperger *et al.* (2015), describe que en los depósitos lateríticos existe una alta correlación entre los contenidos de escandio y los de Fe₂O₃ indicando que durante la laterización se produjo una movilización de este elemento con una incorporación del mismo hacia los óxidos de hierro. El escandio se puede recuperar como un subproducto durante las operaciones de extracción de Ni-Co, ya que se lixivía fácilmente con ácido sulfúrico en el proceso de lixiviación ácida a alta presión (HPAL).

Algunos investigadores (Aiglsperger *et al.*, 2013), al describir el comportamiento geoquímico del Sc en perfiles lateríticos de níquel y cobalto en Cuba, refieren que la mineralización se concentra en las zonas ricas de óxidos secundarios de Fe y Mn. Los contenidos de escandio en la saprolita varían entre 8 - 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 - 98 ppm, observándose una alta correlación.

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.

En Cuba la explotación de estos minerales ha estado centrada en la extracción del níquel y el cobalto. La industria niquelífera cubana se enfrenta en la actualidad al agotamiento de los yacimientos existentes en el nordeste holguinero, por lo que se hace necesario el aprovechamiento integral de los recursos minerales.

Teniendo en cuenta esta premisa, es necesario un estudio más profundo de identificación de estos elementos en los minerales en cuestión, así como su comportamiento a través del flujo productivo de las plantas cubanas productoras de níquel y cobalto, que sirvan de base para futuras propuestas de tecnologías de recuperación de los mismos; pudiendo ser esta una de las soluciones para lograr la sostenibilidad de las industrias ya existentes.

Una de las plantas metalúrgicas en explotación para la producción de concentrados de níquel y

cobalto en Cuba, es la Comandante Pedro Soto Alba, que utiliza la tecnología de lixiviación a presión. El esquema tecnológico de este proceso consta de seis partes fundamentales:

- UB Minas
- Planta de pulpa
- Espesadores
- lixiviación de las menas lateríticas y Lavadero,
- Neutralización
- Precipitación de sulfuro de Ni, como parte del tratamiento aplicado a un residual.

En este proceso fabril fue desarrollada la investigación, que tuvo como objetivo evaluar la presencia de escandio en yacimientos minerales y escombros lateríticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Las muestras fueron tomadas y documentadas. En cada sondeo de intervalo no mayor de un metro, se realizó la documentación geólogo mineralógica de la muestra tomada y del testigo se tuvo en cuenta la heterogeneidad del depósito formada en pilas de mineral.

Yacimiento Moa Oriental: Ubicado al sureste de la fábrica del cual se extrajo el 100% del mineral planificado a procesar para el estudio de este yacimiento.

Se muestrearon seis pozos mineralógicos, cuya ubicación se brinda en la *tabla I*, con el empleo de una perforadora por el método espiral. En cada punto se tomaron tres muestras en específico, identificadas cualitativamente en los tres tipos de menas principales “Limonita fuera de Balance” (LF), “Limonita de Balance” (LB) y “Saprolita de Balance de alto hierro” (SBAFe) teniendo en cuenta el centroide de cada unidad, se conformó un compuesto por cada pozo.

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

No. Pozo	X:	Y:	Z:	Sector
1	701035,0	216508,8	39,42	SE
2	701035,8	216525,1	39,42	SE
3	701055,2	216510,8	38,06	SE
4	701053,1	216529,9	38,03	SE
5	701017,2	216525,1	38,01	SE
6	701020,2	216510,1	38,01	SE

Yacimiento Zona Septentrional: Ubicado al noroeste de la fábrica del cual se extraerá el 100% del mineral planificado a estudiar, el área del tajo minero presenta 2 521.565 m².

Se muestrearon seis pozos mineralógicos cuya ubicación se brinda en la **tabla II**, con el empleo de una perforadora por el método espiral. En cada punto se tomaron tres muestras en específico, identificadas cualitativamente en los tres tipos de menas principales “Limonita fuera de Balance” (LF), “Limonita de Balance” (LB) y “Saprolita de Balance de alto hierro” (SBAFe) teniendo en cuenta el centroide de cada unidad, se conformó un compuesto por cada pozo, la muestra se unió teniendo en cuenta el por ciento de material para cada tipo de mena como se representa a continuación: FL-1,8 kg equivalente al 12 %; LB-12 kg equivalente al 80 % y SBAFe-1,2 kg equivalente al 8 % .

Tabla 2. Ubicación de los pozos mineralógicos investigados en el depósito laterítico ZS

No. Pozo	X:	Y:	Z:	Sector
1	695811,7	221512,4	39,5	NE
2	695811,7	221525,4	39,42	NE
3	695829,9	221527,0	38,06	NE
4	695850,0	221500,1	38,03	NE
5	695850,0	221500,1	38,01	NE
6	695851,0	221526,0	27,55	NE

Preparación de las muestras

Se empleó el esquema de preparación. Muestras parciales de aproximadamente 50 kg fueron utilizadas en las operaciones de preparación (homogeneización, división por cuarteo, trituración, división por cuarteo, secado y molienda).

Métodos de análisis químicos y físicos

Para la caracterización química de las muestras se determinaron en el laboratorio analítico, de nueve ensayos químicos: Ni, Co, Fe, Al, Cr, Mn, Cu, Zn, Mg y los óxidos de SiO₂, MgO, además se les realizó análisis a 9 elementos de ETR: Eu, Gd, La, Nd, Sc, Y, Ce, Pr y Yb con un Espectrómetro de Emisión Atómica, con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-AES) modelo Spectroflame de la firma SPECTRO de Alemania en el CIPIMM.

La prueba metalúrgica de lixiviación a presión se realizó en el laboratorio de Lixiviación ácida donde las muestras procedentes de cada yacimiento estudiado se recibieron en bolsas de nylon y se le realizaron la preparación y acondicionamiento para posteriores análisis como se explica a continuación.

- Determinación del porcentaje de humedad,
- Homogeneización y cuarteo mediante el método de paleo y de cono y anillo
- Preparación de las muestras para análisis velocidad de sedimentación y prueba de compactación.

Las pruebas de lixiviación ácida a presión de los yacimientos se hicieron en una autoclave de siete

litros con sistema de control de temperatura y presión bajo las siguientes condiciones: % de sólido 35,36 %; Densidad de la pulpa: 1,3361 g/l; Relación ácido mineral: 0,3 kg/ton; Temperatura 246 °C y la presión 525 psi.

Metodología para las pruebas de lixiviación ácida a presión a escala piloto

1. La pulpa preparada se añade al reactor previamente limpio.
2. Se conecta la resistencia para el calentamiento de la pulpa.
3. Se pone en funcionamiento el sistema de agitación haciendo pasar agua de enfriamiento.
4. Se verifica que todas las válvulas estén bien cerradas y se fija la temperatura a 246 °C.
5. Cuando la temperatura alcanza los 200 °C se añade la cantidad de ácido calculada según la relación ácido mineral.
6. Se espera 1 hora de agitación, se toma una muestra para análisis químico y se deja enfriar apagando la resistencia hasta 120 °C, cuando la presión llegue a 0 psig se saca la muestra inyectando argón para tomar las muestras restantes.

Materias primas y materiales utilizadas en la lixiviación

En cuanto a los materiales, equipos e instalaciones utilizadas en las pruebas de lixiviación se encuentran: bolsas de nylon, papel de filtro, sobres para muestras, probetas graduadas de 1 litro de capacidad y los equipos utilizados se encuentran; estufa de secado y balanza Kern.

Las instalaciones utilizadas fueron:

- Agitadores eléctricos y autoclave de 7 L

Se utilizó un agitador eléctrico para lograr una efectiva homogeneización de las pulpas y autoclave para realizar la corrida experimental de lixiviación.

Extracciones del escandio

La eficiencia de extracción de los diferentes elementos (Ni, Co y Sc, Y), se realizó mediante cálculos matemáticos teniendo en cuenta los contenidos de los elementos antes de la lixiviación y después de esta.

$$\xi_{Me} = \left[1 - \left[\left(\frac{\% Me \text{ sólido lixiviado}}{\% Me \text{ inicial}} \right) * f \right] \right] * 100$$

Donde:

ξ_{Me} : Extracción del metal, %

% Me inicial: Contenido de metal en la muestra inicial, %

% Me cola lixiviado: Contenido de metal en la muestra lixiviada, %

f: Factor de variación del elemento trazador

RESULTADOS Y DISCUSION

Yacimiento Moa Oriental

En la tabla 3, se muestra un resumen estadístico de la composición química de yacimiento Moa Oriental (MO), presenta valores superiores a otras investigaciones realizadas, el itrio un máximo de 8,25 ppm y lantano con 11,50 ppm, Cerio de 10,75 ppm, otro elemento de interés lo es el neodimio con valores 13,25 y el escandio que es el objeto de estudio que presenta un promedio de todas las muestras del yacimiento de 56,21 ppm.

Yacimiento Zona Septentrional

En la Zona Septentrional exhibe valores máximos de Y de 7,60 ppm y de La con 8,90 ppm, Ce de 25,00 ppm, otro elemento de interés como el Nd con valores 11,15 y el Sc presenta un promedio total de todas las muestras del yacimiento de 44,43 ppm lo cual tiene una aplicación directa de los trabajos futuros para el beneficio de este metal en los productos finales del proceso tecnológico, ver tabla 4.

Yacimiento Moa Oriental

Las características físicas del yacimiento Moa Oriental (MO) se muestra en la tabla 5. Donde todas las muestras resultaron tener alto contenido de fracción magnética (FM), lo que puede estar relacionado con el grado de maduración de los minerales, según el Miranda López CEDINIQ plantea, en ambiente de oxidación estas varían, dando paso a la formación de espinelas oxidada de hierro, transformándose en Lepidocrocita (γ -Fe-X-YAIXSiYO(OH)) en Maghemita ($\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_3$), fase amorfa de hierro.

Yacimiento Zona Septentrional

En la tabla 6 se muestran las características físicas del yacimiento Zona Septentrional (ZS), las muestras tienen una elevada FM a 100°C lo que puede estar

relacionado con la formación de fase hidratada de hierro difícil de descomposición.

Resultados de la extracción metales

Estadísticamente los mejores resultados de extracciones de Sc e Y se obtuvieron en el yacimiento Zona Septentrional, como se muestra en la Tabla 7.

CONCLUSIONES

De la evaluación de las características química, física y mineralógica donde:

1. El yacimiento ZS presentó características químicas desfavorables para el proceso pues el contenido de níquel fue bajo (0,95%) y el contenido de hierro también (35,84 %), lo que hace que las pulpas sean más livianas y dificulte la sedimentación.
2. El Sc no se asocia a ninguna fase mineralógica por su alta movilidad, por lo que permite un fácil desprendimiento.
3. Se alcanzó una extracción promedio de Sc de 80,6 % en la lixiviación ácida a presión (HPAL) en los yacimientos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aiglsperger T, Proenza J, Lewis J. F, Rojas-Purón A & Longo F. 2013. Occurrence Of Scandium and Rare Earth Elements In Laterites From Cuba And The Dominican Republic. V Congreso Cubano de Minería. VI Simposio Geología, Exploración y Explotación de las Lateritas Niquelíferas. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2013. Memorias en CD-Rom: La Habana, abril 1 al 5. MINI-O3.
- Aiglsperger, Tomas, Hans.; Proenza, J, A. Lewis, John F.; Labrador, M.; Svojtka, Martin.; Rojas-Purón, A.; Longo, F. & Ďurišová, Jana. 2015. "Critical metals (REE, Sc, PGE) in Ni laterites from Cuba and the Dominican Republic". Ore Geology Reviews [online] 73: 127-147.

Tabla 3. Resumen estadístico de la composición química del yacimiento M.O (%) y (ppm)

	Ni	Co	Fe	SiO ₂	MgO	Al	Cr	Mn	Cu	Zn	Mg
Promedio	1,10	0,145	47,65	4,81	1,12	7,30	2,24	0,82	0,010	0,017	0,27
Desv.Estandar	0,13	0,031	1,07	2,63	0,93	1,28	0,19	0,07	0,001	0,005	0,09
Coef. Variac	0,11	0,217	0,02	0,55	0,83	0,17	0,09	0,09	0,100	0,310	0,32
Max	1,28	0,200	48,92	9,60	2,94	9,07	2,48	0,91	0,011	0,020	0,42
Mín	0,93	0,110	45,92	2,78	0,47	5,71	1,92	0,73	0,008	0,010	0,19
Mediana	1,14	0,135	47,78	3,87	0,80	7,36	2,26	0,805	0,010	0,020	0,24
		Eu	Gd	La	Nd	Sc	Y	Ce	Pr	Yb	
Promedio		N/d	N/d	7,08	6,88	56,21	6,00	16,25	N/d	4,17	
Máx		N/d	N/d	11,50	13,25	59,00	8,25	27,00	N/d	4,50	
Mín		N/d	N/d	3,75	1,00	52,50	4,00	10,75	N/d	3,50	
Desv. est		N/d	N/d	2,61	4,90	2,51	1,44	6,13	N/d	0,41	
Coef.variac		N/d	N/d	0,37	0,71	0,04	0,24	0,38	N/d	0,10	
Mediana		N/d	N/d	7,00	8,50	56,50	6,13	13,50	N/d	4,25	

Nota: N/d- no define

Tabla 4. Resumen estadístico de la composición química del yacimiento ZS (%) y (ppm)

	Ni	Co	Fe	SiO2	MgO	Al	Cr	Mn	Cu	Zn	Mg
Promedio	0,91	0,110	36,02	5,89	1,95	7,52	2,37	0,59	0,010	0,020	1,45
Desv.Est	0,26	0,050	1,20	3,20	2,31	1,33	0,30	0,17	0,000	0,000	1,95
Coef. varia Variación	0,28	0,470	0,03	0,54	1,19	0,18	0,13	0,30	0,230	0,220	1,34
Máx	1,24	0,190	37,90	9,78	6,25	8,90	2,72	0,83	0,013	0,020	5,05
Mín	0,52	0,060	34,62	2,20	0,23	5,71	1,92	0,38	0,007	0,010	0,13
Mediana	0,87	0,095	36,07	5,26	0,87	7,81	2,37	0,61	0,010	0,020	0,50
		Eu	Gd	La	Nd	Sc	Y	Ce	Pr	Yb	
Promedio		N/d	N/d	6,24	9,61	44,43	7,60	13,71	N/d	3,91	
Máx		N/d	N/d	8,90	11,15	54,30	9,15	25,00	N/d	4,50	
Mín		N/d	N/d	1,00	8,50	29,75	6,20	1,00	N/d	2,30	
Desv. est		N/d	N/d	2,83	0,98	8,10	1,08	8,13	N/d	0,83	
Coef.variación		N/d	N/d	0,45	0,10	0,18	0,14	0,59	N/d	0,21	
Media		N/d	N/d	6,88	9,54	45,95	7,45	14,10	N/d	4,24	

Nota: N/d- no define

Tabla 5. Caracterización física del yacimiento Moa Oriental

Muestras	FM 100	FM 250	ρ ap	SM	PC 400	PC 500	PPI 750	H2O (%)
	°C				°C			
FS- 1MO	26,69	23,36	0,70	13,30	9,78	10,22	11,72	2,95
FS- 2MO	41,17	46,50	0,57	15,40	10,55	11,26	15,07	2,87
FS- 3MO	39,77	11,70	0,88	15,70	9,16	9,74	26,59	2,80
FS- 4MO	26,24	11,49	0,81	16,70	8,68	11,59	15,12	2,91
FS- 5MO	18,71	7,39	0,92	13,80	10,13	11,11	15,39	2,78
FS- 6MO	24,50	11,49	0,74	16,70	8,68	11,59	14,06	2,97

Nota: F.M-Fracción Magnética; ρ ap- Densidad aparente; PC- Pérdida por constitución; PPI-pérdida por ignición.

Tabla 6. Caracterización física del yacimiento Zona Septentrional

Muestras	FM 100	FM 250	ρ ap	SM	PC 400	PC 500	PPI 750	H ₂ O (%)
	°C				°C			
FS- 1ZS	20,64	23,47	0,51	14,00	12,82	13,43	10,61	2,67
FS- 2ZS	44,20	44,59	0,66	17,50	8,32	9,50	10,25	2,10
FS- 3ZS	18,79	12,64	0,61	13,40	9,32	11,15	18,49	2,34
FS- 4ZS	20,64	23,47	0,87	17,50	8,32	9,50	11,96	2,60
FS- 5ZS	38,64	16,59	0,61	23,30	7,83	7,96	20,52	2,10
FS- 6ZS	9,77	20,93	0,66	15,35	11,37	12,37	16,47	2,60

Nota: F.M-Fracción Magnética; ρ ap- Densidad aparente; PC- Pérdida por constitución; PPI-pérdida por ignición

Tabla 7. Resumen estadístico de las extracciones de metales del Ni, Co, Sc e Y en MO(%)

Muestras	Ni	Co	Sc	Y
Promedio	95,69	96,23	64,71	65,08
Máx	98,47	98,01	69,75	74,45
Mín	89,93	94,17	51,12	37,15
Desv, est	3,08	1,71	7,06	14,10
Coef,variación	0,03	0,02	0,11	0,22
Media	96,42	96,30	67,42	69,74

Tabla 8. Resumen estadístico de las extracciones de metales del Ni, Co, Sc e Y en ZS(%)

Muestras	Ni	Co	Sc	Y
Promedio	96,90	96,61	80,53	87,12
Máx	99,07	99,42	95,19	97,35
Mín	91,26	85,86	29,59	47,88
Desv, est	2,91	5,30	25,19	19,31
Coef,variación	0,03	0,05	0,31	0,22
Media	97,80	98,70	90,75	94,05

- Aiglsperger, Tomas, Hans.; Proenza, J. A.; Lewis, J. F.; Zaccarini, F.; Garuti, G.; Labrador, M. & Longo, F. 2014. Platinum group minerals (PGM) in the Falcondo Ni-laterite deposit, Loma Caribe peridotite: Dominican Republic. Miner Deposita, DOI 10.1007/s00126-014-0520-9,
- Bicera. 2013. Caracterización hidrogeológica del yacimiento Camarioca Sur. Moa. Trabajo de Diploma, Moa, Cuba: Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”.
- Capote, F. Neicis. 2015. Métodos analíticos para estudio de metales del grupo del platino y oro en la industria cubana del níquel. Etapa 02. Informe técnico, Moa, Cuba: CEDINIQ,
- Carballo-Peña A; Muñoz-Gómez J.N; Orosco-Melgar J, A.; Rojas-Purón, A. 2018. Criterios geológicos y económicos sobre la existencia de escandio en los yacimientos lateríticos de Moa, Cuba. Revista Minería y Geología, 2018, Vol.34 (No.4 oct-dic): 371-383, ISSN: 1993 8012.
- Cazañas-Díaz, Xiomara.; Torres Zafra, J. L.; Lavaut-Copa, W.; Alonso Pérez, J. A.; Llanes, A. I. & 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 II. INFOMIN, Vol. 8, (No 2, julio-diciembre): 85-105, ISSN: 1992 4194.
- Chakmouradian, R. Anton. & Wall, Frances. 2012. Rare Earth Elements: Minerals, Mines, Magnets (and More), Elements, Vol. 8: 333-340 [online]. DOI: 10.2113/gselements.8.5.333,
- Chang-Rodríguez, A.; Tauler, E.; Lavaut-Copa, W.; Rojas-Purón, A.&Proenza-Fernández, J. 2015. Caracterización geoquímica del perfil litológico del yacimiento laterítico de níquel “San Felipe”, Camagüey, Cuba. Ciencias de la Tierra y el Espacio, Vol.16 (No.2 julio-diciembre):134-146, ISSN: 1729-3790
- Guerra López Esmilka. 2008. La Estabilidad de la Escombrera del sector 11 del yacimiento Moa Oriental PSA. Trabajo de Diploma, Moa, Cuba: Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”.
- Krishnamurthy, Nagaiyar. & Gupta, Chiranjib Kumar. 2016. Extractive Metallurgy of Rare Earths, 2da ed. Boca Raton London New York Washington, D.C.: CRC PRESS, ISBN: 978-1-4665-7638-4.
- Lavaut. C. 2015. Las bajas concentraciones metalíferas: reto de la actividad minero-metalúrgica cubana. Sexta Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. VI Congreso Cubano de Minería Simposio Geología, Exploración y Explotación de las Lateritas. MIN1-01
- Lavaut. C, W. 2007. La meteorización de las ofiolitas de Cuba Oriental. Modelos Geológicos y terminología cubana. Taller internacional de la geología y minería del níquel cubano. Memorias GEOMIN: La Habana.
- Legra, G. Ismelda & et al. 2022. Identificación de elementos de tierras raras (ETR) existentes en las lateritas de Moa, Informe técnico, diciembre 2022: Centro de Investigaciones del Níquel “Capitán Alberto Fernández Montes de Oca”
- Martínez Santos Yaser. 2016. Caracterización de la relación entre las litologías del basamento, la mineralización resultante y los parámetros industriales en yacimientos de la empresa Pedro Sotto Alba. Tesis de maestría, Moa, Cuba: Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”.
- NC 631: 2014 - Minerales. Análisis granulométrico por tamizado. Requisitos Generales. 2da. ed
- Porque Estados Unidos demanda a china por las Tierras raras. Disponible en: <<https://www.elblogsalm.com/entorno/por-que-estados-unidos-demanda-a-china-por-las-tierras-raras>>.
- Proenza J., 2015. Mineralogía y Geoquímica de Ni, Co, EGP, Sc, REE en Yacimientos Lateríticos. Macla revista de la sociedad española de mineralogía, Nº 20, Junio '15.
- Qué son las tierras raras. Disponible en: <http://www.vix.com/es/btg/curiosidades/46_94/que-son-las-tierras-raras>.
- Rivas Romero S. 2019. Informe Técnico Identificación de la presencia de minerales estratégicos (EGP y ETR) en las menas lateríticas de alimentación a la planta de lixiviación ácida a presión (HPAL) de Moa, Cuba: CDINIQ.
- Sáez Puche R., Cascales C., Porcher P.& Maestro P. 2000. Tierras raras: materiales avanzados. Anales de la Real Sociedad española de química.
- Shinotsuka K., Suzuki K. & Tatsumi Y. 2003. Determination of platinum group elements using preconcentration by nickel sulfide fire assay, followed by tellurium coprecipitation Frontier Research on Earth Evolution, vol. 1.
- Tierras raras. Disponible en:< https://www.ecured.cu/Tierras_raras>.
- U.S. Geological Survey. 2019. USGS. Mineral Commodity Summaries [online]. U.S. Geological Survey: 200 p, ISBN: 978-1-4113-4283-5.
- Vodyanitskii, Y.N, 2010. Iron hydroxides in soils: A review of publications. Eurasian Soil Sci+. 43: 1244-1254.