

Lixiviación de minerales de Moa con alto contenido de magnesio utilizando como aditivo sulfato de sodio

Leaching of high magnesium Moa minerals using sodium sulphate as additive

Pedro Luis Merencio-Guevara¹ <https://orcid.org/0009-0001-2018-368X>

Lilian Vidiaux-Arcia^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-0515-9662>

Aurelia Viada-Estevez² <https://orcid.org/0009-0004-9941-2343>

Ciro Sam-Palanco³ <https://orcid.org/0000-0001-7955-9955>

Deisy Cisneros-Sánchez¹ <https://orcid.org/0000-0001-8664-842X>

¹Centro de Investigaciones del Níquel. Holguín. Cuba

²Universidad de Moa (UMoa). Cuba

³Empresa de Acumuladores XX Aniversario. Granma. Cuba

*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: lvidiaux@cil.moa.minem.cu

Resumen

Se evaluó el proceso de lixiviación ácida a presión de menas lateríticas de Moa, que contienen más de 2 % de Mg, con el uso de sulfato de sodio como aditivo. Se tomaron muestras en yacimientos concesionados a la empresa Moa Nickel SA- Pedro Sotto Alba, las cuales se caracterizaron física, química y mineralógicamente. Se prepararon mezclas con diferentes contenidos de magnesio (2,8 % y 4,3 %). Se elaboró un diseño experimental factorial multinivel 2³ para determinar la influencia de la relación ácido/mineral, el contenido de magnesio y la concentración del aditivo sulfato de sodio sobre la eficiencia de lixiviación de níquel y cobalto. Se comprobó que la alimentación del aditivo en concentraciones de sodio entre 2 y 8 g/L durante la preparación de la pulpa cruda tuvo un efecto significativo positivo en la extracción de níquel y cobalto. Con la incorporación del sulfato de sodio durante la etapa de lixiviación y el empleo de un mineral de alimentación con 2,84 % de magnesio, relación ácido/mineral de 0,3 kg/kg y 2 g/L de concentración de sodio, se obtuvieron extracciones promedio de níquel y cobalto iguales a 91,74 y 93,70 %, respectivamente.

Palabras clave: aditivos; cobalto; lixiviación ácida; magnesio; níquel.

Abstract

The acid pressure leaching process of Moa lateritic ores containing more than 2% Mg was evaluated using sodium sulfate as an additive. Samples were taken from deposits owned by Moa Nickel SA - Pedro Soto Alba and characterized physically, chemically, and mineralogically. Mixtures with different magnesium contents (2.7% and 4%) were prepared. A multilevel factorial experimental design 2^3 was developed to determine the influence of the acid/mineral ratio, magnesium content, and sodium sulfate additive concentration on nickel and cobalt leaching efficiency. It was found that feeding the additive at sodium concentrations between 2 and 8 g/L during raw pulp preparation had a significant positive effect on nickel and cobalt extraction. With the incorporation of sodium sulfate during leaching and the use of a feed mineral with 2.84% magnesium, acid/mineral ratio of 0.3 kg/kg and 2 g/L sodium concentration, average nickel and cobalt extractions equal to 91.74 and 93.70%, respectively, were obtained.

Keywords: acid leaching; additives; cobalt; magnesium; nickel.

Recibido: 28/08/2025

Aceptado: 26/11/2025

Introducción

La tecnología de lixiviación ácida a presión (HPAL) es una de las vías más empleadas para el procesamiento de menas lateríticas que contienen níquel, por las altas recuperaciones de níquel y cobalto que se alcanzan con su aplicación (92 a 95 %). Existen varias plantas en el mundo que se diseñaron con la referida tecnología: Moa Nickel S.A. - Pedro Soto Alba (Cuba), Murrin Murrin (Australia), Coral Bay Nickel Corporation, (Filipinas), entre otras. ^(1, 2)

En general, este proceso se lleva a cabo en un sistema a temperaturas de 250 a 270 °C y presiones de 3,3 a 5,5 MPa para que las extracciones de níquel (Ni) y cobalto (Co) sean superiores al 90 %, con una duración de 60 a 180 min y consumo de ácido alrededor de 250 a 350 kg/t de mineral. Con esa tecnología se logran altas extracciones de níquel (Ni) y cobalto (Co), pero no está diseñada para tratar menas lateríticas con contenidos de magnesio (Mg) superiores a 2 %, pues incrementa el consumo de ácido sulfúrico. ^(2, 3, 4, 5) Investigaciones realizadas para el procesamiento de estas menas lateríticas

muestran que se mejora la extracción de Ni de minerales ricos en nontronita (Fe < 25 % y Mg > 3,5 %) al aumentar la carga ácida, o con la adición de sodio (Na) al agua de proceso. Los resultados indican que con el uso de agua de proceso que contiene 5 g/L de iones de Na⁺ se logra reducir en 15 % el consumo de ácido sulfúrico. ^(6,7)

Se ha estudiado que es posible reducir el consumo de ácido alrededor de un 30 % obteniendo extracciones de Ni y Co iguales a 94,6 % y 95,8 %, respectivamente, con la adición de iones de sodio al agua para el procesamiento de minerales que contienen 4,6 % de magnesio. Pero con la particularidad de que en estos minerales, hasta el 40 % del magnesio, se encuentra en forma de talco no reactivo, lo cual reduce el consumo de ácido sulfúrico. ^(8, 9)

Otros proyectos logran un mayor aprovechamiento del perfil laterítico mediante la tecnología EPAL (Enhanced Pressure Acid leaching), donde se combina la tecnología HPAL de mineral limonítico con la lixiviación a presión atmosférica de la saprolita, la cual emplea también los iones de Na en el agua para preparar la pulpa del proceso de lixiviación. ⁽¹⁰⁾

En la bibliografía publicada se ha encontrado información sobre la aplicación industrial en la empresa Pedro Soto Alba de aditivos como el sulfato de hierro y el permanganato de potasio, para mejorar las características reológicas y sedimentación de las pulpas. Pero no se encontraron trabajos relacionados con el uso de aditivos que modifiquen la carga salina del agua, para incrementar la utilización de las menas que contienen porcentajes de Mg superiores a 2 % en dicha empresa. ^(11, 12)

En concordancia con todo lo expuesto, el objetivo de la investigación es evaluar el proceso de lixiviación ácida a presión de menas lateríticas de Moa que contienen más de 2 % de Mg con el uso sulfato de sodio como aditivo.

Materiales y métodos

Para la ejecución de este trabajo se emplearon mezclas de menas lateríticas de la empresa Moa Nickel S.A. - Pedro Soto Alba, las cuales se conformaron de manera tal que garantizaron dos niveles diferentes del contenido de Mg. Los resultados se procesaron con la ayuda del software STATGRAPHICS Centurión XV y el Microsoft Excel.

Materiales

Las pruebas experimentales se realizaron con mezclas de menas que se conformaron a partir de muestras de los yacimientos Camarioca Norte (CN) y Atlantic concesionados a la empresa Pedro Soto Alba. Las composiciones químicas de las mezclas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1- Composición química (%) de los elementos de la mena laterítica

Yacimiento	Ni	Co	Fe	Cu	Zn	Mn	Mg	Al	SiO ₂	Cr
Atlantic	1,290	0,100	38,80	0,011	0,018	0,618	3,744	3,71	8,04	1,32
Camarioca Norte M-21	0,558	0,075	22,95	0,007	0,014	0,399	5,890	1,50	-	-
Camarioca Norte M-24	0,853	0,158	47,29	0,011	0,017	0,769	1,240	7,85	6,99	1,35

Reactivos

Los reactivos y materiales que se utilizaron para la investigación fueron los siguientes: ácido Sulfúrico (agente lixivante), H₂SO₄. Pureza: 98 %; sulfato de Hierro, FeSO₄.7H₂O. Pureza: 98 %. (Aditivo mejora características reológicas de la pulpa); sulfato de sodio (Na₂SO₄), Pureza: 99 %, (Aditivo para aumentar la concentración de sales del agua de proceso).

Equipos

Para la preparación y procesamiento de las muestras se utilizó: autoclave PARR de 7 L de capacidad, con sistema de control de temperatura y presión, agitador para la preparación de la pulpa, estufa para el secado, balanza técnica, plancha de calentamiento para acondicionar el agua de lavado del sólido lixiviado, centrífuga para la separación líquido-sólido.

Metodologías

Conformación y caracterización de las mezclas de menas lateríticas

Las mezclas se conformaron usando menas con alto y bajo contenido de Mg para lograr los valores de 2,7 % y 4,0 %, definidos a partir del análisis de la información obtenida en la revisión bibliográfica. Para la preparación de las mezclas a utilizar en los experimentos, se realizó un balance de masa para determinar la cantidad de material de las muestras individuales a participar en

la mezcla para obtener los contenidos de Mg, Ni, Co y Fe definidos en el diseño experimental. Utilizando el programa EXCEL se realizó un proceso de tanteo con los valores de la masa de las muestras individuales escogidas, hasta lograr los contenidos deseados de los elementos de interés. Se analizó la composición química y mineralógica de las mezclas que se conformaron.

Corridas experimentales de lixiviación

Las corridas experimentales se realizaron según el esquema metodológico general siguiente:

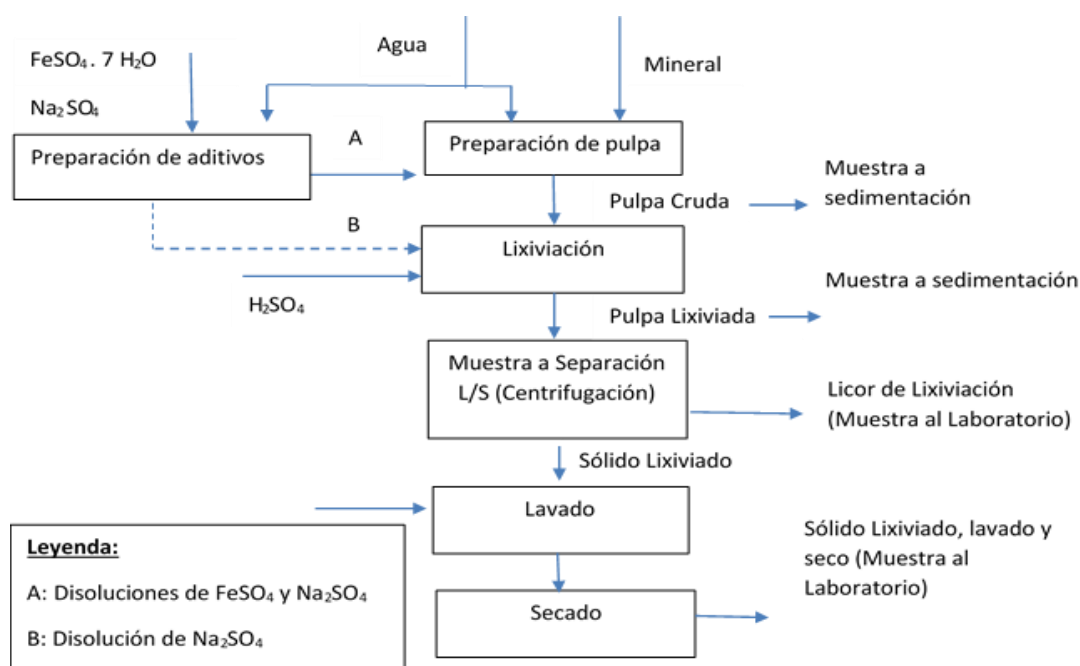


Fig. 1- Esquema metodológico para las pruebas experimentales

Planificación de los experimentos

Para evaluar el efecto de diferentes factores sobre la extracción de los diferentes elementos (Ni, Co, Fe, Mg) en la pulpa a lixiviar se planificó un diseño de experimentos factorial multinivel, con el programa profesional STATGRAPHICS Centurion XV Versión 15.2.14. Se eligieron tres factores (contenido de Mg, concentración de Na y relación ácido mineral, RAM), dos niveles y dos réplicas para un total de 24 corridas. El orden de los experimentos es totalmente aleatorio y solo se planificó su ejecución para la variante 1 de pruebas de lixiviación, que emplea la alimentación del aditivo Na_2SO_4 en la etapa de preparación de la pulpa cruda. Los mejores resultados

que se obtuvieron con el referido diseño experimental, fueron la base para ejecutar el estudio de la variante 2, donde se introdujo el aditivo durante el proceso de lixiviación.

Técnica analítica

Para determinar la composición química de las muestras de menas lateríticas, así como los licores y sólidos generados en el proceso de lixiviación se empleó el espectrofotómetro de Absorción Atómica (EAA), con llama y generador de hidruros, modelo SOLAR 929, UNYCAM. La caracterización mineralógica de menas lateríticas se realizó, mediante el método de polvo en un difractómetro X'PERT3 de PANalytical. Se utilizó el software del equipo para realizar el análisis semicuantitativo de las fases.

Resultados y discusión

Conformación y caracterización de las mezclas de menas lateríticas

Los resultados de la conformación de las mezclas de menas lateríticas se muestran en la tabla 2.

Tabla 2- Composición química de las mezclas, %.

Código	Ni	Co	Fe	Mn	Cu	Zn	Mg	Na	SiO ₂	Al	Cr
FS- 2,7% Mg	1,02	0,110	42,71	0,701	0,010	0,023	2,84	0,031	14,26	4,66	1,21
FS 4% Mg	1,21	0,088	35,94	0,615	0,009	0,018	4,30	0,065	20,75	3,98	0,91

En las mezclas conformadas se obtuvieron contenidos de magnesio ligeramente superiores a los planificados (2,7 y 4,0 %). De todos modos, en ambas mezclas se lograron contenidos de magnesio y níquel que coincidieron con el intervalo reportado para estos metales en las zonas de limonita y de transición a saprolita del perfil laterítico. ⁽¹³⁾

La composición mineralógica aproximada de las mezclas preparadas se muestra en la figura 2.

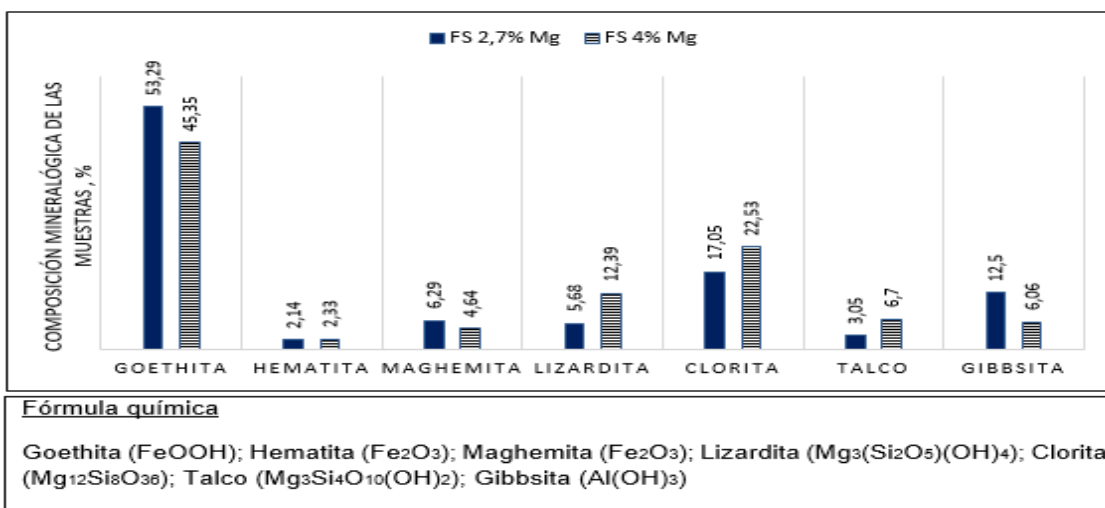


Fig. 2- Composición mineralógica aproximada de las mezclas de menas lateríticas

De acuerdo con la figura 2, se identificó la goethita, reportada por diferentes autores como la fase principal portadora de níquel. Se identificaron además, la gibbsita como fase portadora del aluminio, así como clorita, lizardita y talco como fases portadoras de magnesio. El talco es una fase que usualmente no reacciona con el ácido sulfúrico y representó entre el 11 y el 16 % de las fases portadoras de magnesio. Lo anterior, reveló una diferencia entre las mezclas que se prepararon en este trabajo y las empleadas por Johnson y colaboradores en las cuales la fase talco constituyó alrededor del 37 %.^(8, 14, 15)

Pruebas de lixiviación con alimentación del aditivo Na₂SO₄ en el proceso de preparación de pulpa

Este acápite corresponde a la variante 1 de las corridas experimentales. En la tabla 3 se muestran los valores mínimos, máximos y promedio de la composición química de los licores lixiviados, bajo las diferentes condiciones estudiadas.

Tabla 3- Composición química promedio del licor lixiviado, g/L

Prueba No	CMg, %	RAM ¹	CNa, g/L	Ni	Co	Fe	Mn	Cu	Zn	Mg
Mínimo	2,7	0,20	2	2,72	0,32	1,40	1,44	0,03	0,05	5,10
Máximo	4,0	0,30	8	4,49	0,96	3,06	2,04	0,04	0,07	7,86
Promedio	-	-	-	3,34	0,62	2,22	1,73	0,03	0,06	6,84

¹ RAM: kg de ácido/kg de mineral seco

Las concentraciones promedio de Ni y Co en los licores iguales a 3,34 y 0,62 g/L respectivamente (tabla 3), fueron el resultado de las bajas eficiencias de lixiviación de estos metales a partir de la alimentación de menas que contienen entre 2,7 y 4,0 % de Mg. En el caso del Ni, el valor promedio se encontró por debajo del alcanzado en el proceso industrial (Ni: 4 a 5 g/L), no siendo así para el Co cuyo valor fue superior (Co: 0,4 a 0,5 g/L).⁽¹⁶⁾

Se observó además, que la concentración promedio de Mg es prácticamente dos veces superior a la concentración de Ni, debido a la alta reactividad de este elemento, como refieren algunos autores cuando analizan las solubilidades de los sulfatos de Ni y Mg a diferentes temperaturas y concentraciones de H₂SO₄.⁽¹⁷⁾

Los valores mínimos, máximos y promedio de la composición química de los sólidos lixiviados para las condiciones de prueba se presentan en la tabla 4.

Tabla 4- Composición química promedio del sólido lixiviado %

Prueba No	CMg, %	RAM, kg ácido/kg mineral	CNa, g/L	Ni	Co	Fe	Mn	Cu	Zn	Mg
Mínimo	2,7	0,20	2	0,27	0,02	34,78	0,21	0,01	0,01	0,70
Máximo	4,0	0,30	8	0,72	0,04	40,63	0,57	0,01	0,02	2,51
Promedio	-	-	-	0,50	0,03	37,72	0,41	0,01	0,02	1,41

Según los resultados de la tabla 4 el contenido promedio de Ni y Co en el sólido lixiviado fue de 0,50 y 0,03% respectivamente, también producto de las bajas extracciones de estos metales.

El comportamiento de la eficiencia de lixiviación se muestra en la figura 3, donde aparecen los valores promedio de eficiencias de lixiviación que se alcanzaron para cada uno de los elementos metálicos.

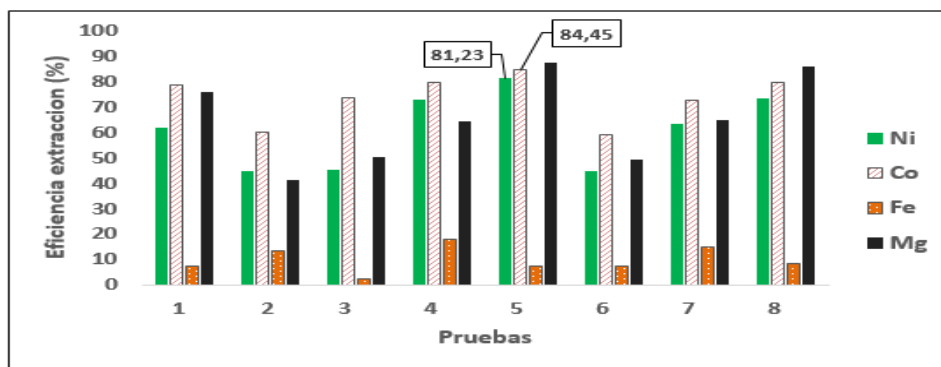


Fig. 3- Comportamiento de la eficiencia de lixiviación

Se observó que los mayores valores de eficiencia promedio para Ni y Co fueron de 81,23 y 84,45 %, respectivamente, obtenidos con relación ácido/mineral = 0,3; contenido de magnesio= 2,8 % y concentración de Na = 2 g/L. También se encontró que la extracción de Co como promedio fue alrededor de un 12 % superior a la extracción de Ni, lo que pudiera estar relacionado con la presencia del aditivo FeSO₄ que se alimenta en la etapa de preparación de la pulpa cruda. El carácter reductor del FeSO₄ pudiera facilitar la liberación del Co contenido en los óxidos de manganeso (IV).

Los valores de eficiencia de lixiviación de Ni y Co que se mostraron en la figura 3 fueron inferiores a los alcanzados en el proceso industrial (90 a 96 %) y pudieron tener su causa en lo siguiente: baja relación ácido/mineral para lixiviar minerales con alto contenido de Mg, presencia de fases mineralógicas que contienen Mg como la lizardita o la clorita, que son muy consumidoras de ácido sulfúrico, poco contenido de magnesio en forma de talco no reactivo. Las menas lateríticas objeto de estudio de este trabajo se caracterizaron, porque entre 84 y el 89 % del magnesio estuvo distribuido en las fases lizardita y clorita. Otra posible causa de las bajas eficiencias de lixiviación de Ni y Co, pudo ser el momento de adición de los iones de Na⁺. En la variante I de las corridas experimentales, estos fueron añadidos cuando se preparó la pulpa a lixiviar, aunque varios autores recomiendan agregar el aditivo cuando las reacciones de lixiviación están completas en más de la mitad para neutralizar la mayor parte del ácido libre contenido en el licor de lixiviación y recuperar una porción sustancial de Ni contenido en el mineral con alto contenido de Mg. ^(8, 18)

El efecto de los factores seleccionados en el diseño de experimentos (concentración de magnesio en el mineral, relación ácido/mineral y concentración de sodio en el aditivo) sobre la eficiencia de lixiviación de níquel y cobalto se muestra en las figuras 4 (a) y (b).

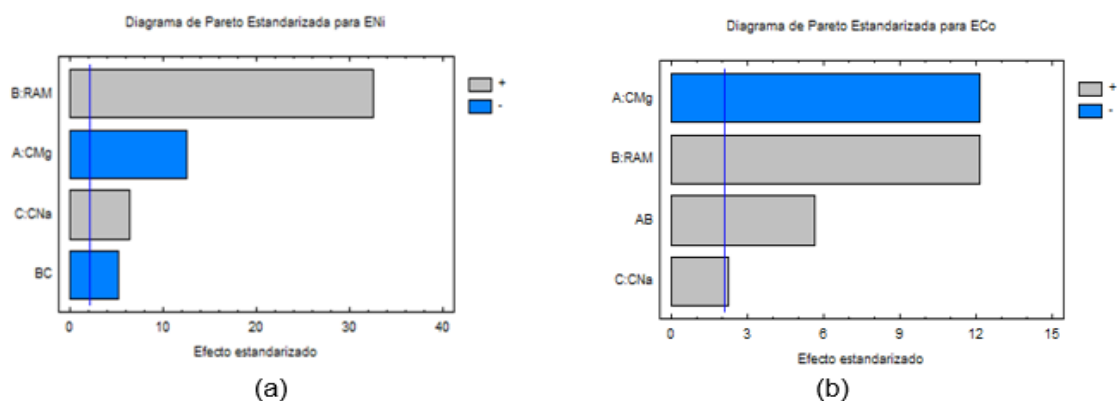


Fig. 4- Influencia de las variables en las eficiencias de lixiviación de Ni y Co

En la figura 4 (a) y (b), se observó que las variables con influencia significativa fueron el contenido de Mg en el mineral, la RAM, la concentración de iones de Na^+ y la interacción entre las dos últimas. La RAM y la concentración de Na tuvieron un efecto positivo, cuyo incremento condujo al aumento en la eficiencia de lixiviación de Ni y Co. El contenido de Mg ejerció influencia significativa sobre la eficiencia de lixiviación, pero su efecto fue negativo debido a que bajo las condiciones del estudio el Mg se disuelve más rápidamente con un consumo de ácido que limita la lixiviación del Ni. ⁽¹⁷⁾

Pruebas con alimentación del aditivo Na_2SO_4 durante la etapa de lixiviación

Se evaluó la introducción del aditivo Na_2SO_4 en el proceso de lixiviación, bajo las condiciones de la variante I donde se alcanzaron las mejores extracciones de Ni y Co (Contenido de Mg en el mineral = 2,7%; RAM = 0,3 kg de H_2SO_4 /kg de mineral; concentración de Na = 2 g/L). Los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5- Composición de licores (g/L) en pruebas diferentes puntos de alimentación del aditivo Na_2SO_4

Punto alimentación Aditivo	Ni	Co	Fe	Mn	Cu	Zn	Mg	Al	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Cr	Acido Libre
Preparación de Pulpa	4,49	0,57	2,43	2,04	0,035	0,055	13,41	0,02	1,37	1,17	0,01	26,08
Lixiviación	5,83	0,64	4,27	1,79	0,031	0,064	10,26	0,03	1,61	2,84	0,03	21,56

De forma general, la composición de los licores mejoró con la introducción del aditivo en la etapa de lixiviación. La concentración de Ni aumentó alrededor de 1,3 g/L y la concentración de Co fue 0,07 g/L superior. También se observaron

muy bajas concentraciones de las impurezas tales como Al y Cr y hubo una reducción del ácido libre de alrededor de 4 % (Tabla 5). Este último resultado concuerda con las concentraciones reportadas por otros autores. ⁽⁸⁾

La composición del sólido lixiviado se muestra en la tabla 6.

Tabla 6- Composición de sólidos lixiviados (%) en pruebas diferentes punto de alimentación del aditivo Na₂SO₄

Punto de alimentación de Aditivo	Ni	Co	Fe	Mn	Cu	Zn	Mg
Preparación de Pulpa	0,207	0,017	42,70	0,287	0,007	0,02	0,392
Lixiviación	0,104	0,0075	40,10	0,127	0,0065	0,02	0,126

Desde el punto vista químico la composición del sólido lixiviado que se mostró en la tabla 6, muestra que los contenidos de níquel y cobalto fueron inferiores en 0,103 % y 0,01 % respectivamente cuando se empleó el aditivo en la lixiviación, de igual manera ocurrió con el contenido de magnesio donde fue inferior en 0,266 %.

En la figura 5 se muestran los valores de eficiencia de extracción de los diferentes elementos metálicos para las dos variantes de introducción del aditivo Na₂SO₄ al proceso.

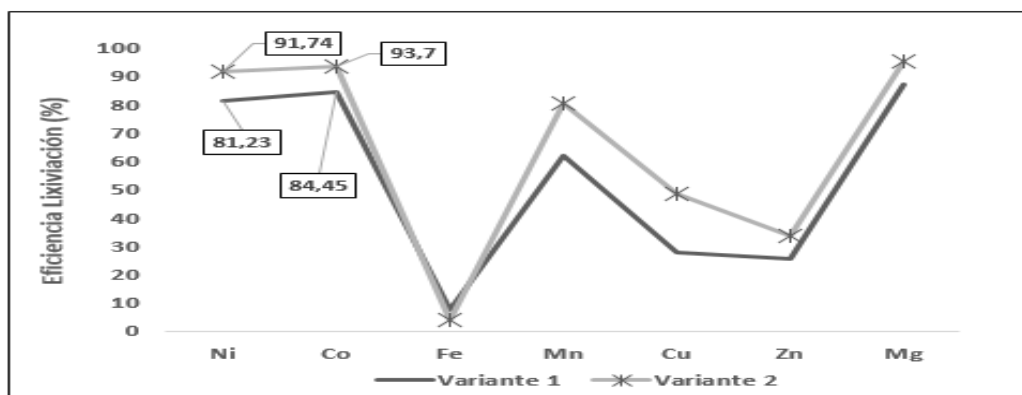


Fig. 5- Comportamiento de la eficiencia de extracción de los elementos metálicos

Se observó que con la introducción del aditivo Na₂SO₄ durante el proceso de lixiviación las extracciones de Ni y Co se incrementaron en 10,5 y 9,3 % respectivamente (figura 5), lo que sugiere un mejor aprovechamiento del ácido generado en las reacciones de hidrólisis de los iones de hierro y aluminio en forma de hematita y algún tipo de jarosita. Por otro lado, se observó que la extracción de hierro (< 10 %) fue similar independientemente del punto de alimentación del aditivo, aspecto que también es favorable para el proceso.

Conclusiones

La evaluación del proceso de lixiviación ácida a presión de menas lateríticas de Moa que contienen más de 2 % de Mg, permitió demostrar los aspectos siguientes:

1- En el proceso de lixiviación de menas lateríticas de Moa que contienen entre 2,8 y 4,3 % de magnesio, la concentración de sodio en el aditivo entre 2 y 8 g/L, la relación ácido/ mineral (RAM = 0,2 a 0,3 kg/kg) y la interacción entre ambos factores tuvieron un efecto significativo positivo sobre la eficiencia de extracción de Ni y Co.

2- El efecto del aditivo sulfato de sodio en el proceso de lixiviación estuvo limitado porque las menas lateríticas estudiadas estuvieron caracterizadas por la presencia del 84 al 89 % del magnesio en fases consumidoras de ácido sulfúrico como la clorita y la lizardita.

3- El punto de alimentación del aditivo sulfato de sodio fue importante para incrementar la eficiencia de lixiviación de níquel y cobalto. Se lograron extracciones de níquel y cobalto inferiores al 90 % cuando se introdujo el aditivo sulfato de sodio durante etapa de preparación de la pulpa cruda, mientras que los mejores resultados de extracción de Ni y Co, iguales a 91,74 y 93,70 %, respectivamente, se alcanzaron con la alimentación del aditivo Na_2SO_4 durante el proceso de lixiviación, con relación ácido/mineral = 0,3 kg/kg; contenido de magnesio= 2,84 % y concentración de Na = 2 g/L.

Referencias bibliográficas

1. GULTOM, T. and A. Sianipar. *High pressure acid leaching: a newly introduced technology in Indonesia*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020: 413 012015 doi:10.1088/1755-1315/413/1/012015.
2. STANKOVIC, S., et al., *Review of the past, present, and future of the hydrometallurgical production of nickel and cobalt from lateritic ores*. Metallurgical and Materials Engineering, 2020. **26**(2): p. 199-208. DOI:10.30544/513

3. RODRIGUEZ, Alfonso Chang. *Caracterización geoquímica y mineralógica de la corteza de meteorización del yacimiento San Felipe*. Editorial Universitaria, 2015. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
4. TAYLOR, M.; ZUNDEL, W.; LANE, J. *Ore conditioning process for the efficient recovery of nickel from relatively high magnesium containing oxidic nickel ores*. U.S. Patent No 3, 804,613, 16 Abr. 1974.
5. MARSHALL, D.; BUARZAIGA, M. Effect of process water on high pressure sulphuric acid leaching of laterite ores. En *International Laterite Nickel Symposium 2004 (as held during the 2004 TMS Annual Meeting)*. 2004. p. 263-271.
6. WHITTINGTON, B. I.; MUIR*, D. Pressure acid leaching of nickel laterites: a review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 2000, **21**(6), p. 527-599. DOI: 10.1080/08827500008914177
7. JOHNSON, J. A., et al. Pressure acid leaching of arid-region nickel laterite ore: Part IV: Effect of acid loading and additives with nontronite ores. *Hydrometallurgy*, 2005, **78** (3-4), p. 264-270. DOI:10.1016/j.hydromet.2005.04.002
8. JOHNSON, J. A.; CASHMORE, B. C.; HOCKRIDGE, R. J. Optimisation of nickel extraction from laterite ores by high pressure acid leaching with addition of sodium sulphate. *Minerals engineering*, 2005, **18** (13-14), p. 1297-1303. DOI:10.1016/j.mineng.2005.05.013
9. WHITE, David T.; GILLASPIE, James D. Acid leaching of nickel laterites with jarosite precipitation. *Ni-Co 2013*, 2013, p. 74-95.
10. BORGES DURÁN, Yoel. *Comportamiento de la Planta Espesadores de Pulpa en la empresa Pedro Sotto Alba, a partir de la adición de sulfato de hierro heptahidratado*. 2008. Tesis Doctoral. Departamento Metalurgia-Química. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
11. LÓPEZ, Jorge Miranda; GRESESQUI MEDINA, Wilmer; SAM PALANCO, Ciro. Procedimientos de mejoras en la sedimentación de las pulpas lixiviadas en la tecnología HPAL, con la identificación previa de la calidad de las menas y su aditivación. *Tecnología Química*, 2021, **41** (2), p. 401-425. ISSN 2224 6185
12. ELIAS, Mick. Nickel laterites in SE Asia. *East Asia geology exploration Technologies and Mine*, 2013. DOI:10.3390/min14020134

13. ROJAS-PURÓN, Arturo L. Evidencias a favor de que la goethita es la principal portadora de níquel en los horizontes lateríticos de las cortezas ferroniquelíferas. *Minería y Geología*, 2001, **18** (3-4), p. 11-11. ISSN 0258 5979
14. GUERRA PÉREZ, Yaxel. *Neutralización de licor ácido con residuos sólidos de carbonato de calcio de la industria del mármol*. 2015. Tesis Doctoral. Departamento Metalurgia-Química. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
15. MCDONALD, Robbie G.; LI, Jian. The high temperature co-processing of nickel sulfide and nickel laterite sources. *Minerals*, 2020, **10** (4), p. 351. DOI:10.3390/min10040351
16. DUYVESTÉYN, Willem PC. *Leaching nickeliferous oxide ores*. U.S. Patent No 4,195,065, 25 Mar. 1980. US4195065A
17. CARLSON, E. T.; SIMONS, C. S. Acid leaching Moa Bay's nickel. *JOM*, 1960, **12** (3), p. 206-213. DOI: 10.1007/BF03377968
18. HEREDIA-KINDELAN, María D. Lixiviación ácida a presión de los minerales limoníticos. *Minería y Geología*, 1997, **14** (1), p. 43-48. ISSN: 199-380-12

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

Pedro Luis Merencio Guevara: conceptualización, curación de datos, investigación, metodología, supervisión, redacción – borrador original, redacción- revisión y edición).

Lilian-Vidiaux-Arcia conceptualización, curación de datos, metodología, redacción- revisión y edición.

Deisy-Cisneros-Sánchez: conceptualización, curación de datos, metodología, redacción – borrador original, redacción- revisión y edición.

Aurelia-Viada-Estévez: investigación, metodología.

Ciro-Sam-Palanco: conceptualización, curación de datos, investigación.