

Biolixiviación de un mineral de manganeso y plata^(*)

S. Porro (*) y P. H. Tedesco (**)

C.D.U. 622.775 : 669.223 + 74 = 60

Resumen Con el fin de valorar sus posibilidades de aplicación a la disolución y recuperación del manganeso contenido y de mejorar el rendimiento en la extracción de plata, se ha sometido a lixiviación, utilizando una cepa de *Thiobacillus thiooxidans*, mineral procedente del yacimiento de Farallón Negro (Catamarca, Argentina). Hasta ahora, la empresa estatal que explota el yacimiento no ha encontrado un procedimiento económico para la separación del manganeso y sólo ha conseguido un rendimiento del 30 % en la recuperación de la plata por cianuración. Se han estudiado los efectos de la variación de la densidad de pulpa y de la adición de diferentes cantidades de FeS al mineral, intentando encontrar las condiciones óptimas de trabajo. Asimismo se ha trabajado con el mineral molido a 74 µm (malla Tyler 200), ya que ese es el tamaño de partícula que se trata en la planta durante el proceso de cianuración.

Biobleaching of a Manganese and Silver Ore

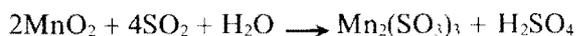
Abstract The biobleaching with a strain of *Thiobacillus thiooxidans* of the ore of Farallón Negro (Catamarca, Argentina) was studied in order to estimate its application to the solution and recovery of the manganese, and to improve the silver extraction. The State company which works the mine has not yet found an economical process to extract the manganese and has only reached a 30 % efficiency in the recovery of silver by cyanuration. The effects of pulp density variations and the addition of different quantities of FeS were analysed looking for the best working conditions. 74 µm (mesh Tyler 200) of ore particles were used because that is the size used in this plant for the cyanuration process.

1. INTRODUCCION

El yacimiento de Farallón Negro se encuentra en la provincia de Catamarca y encierra la mayor reserva de manganeso detectada hasta el presente en Argentina (1), si bien su contenido de óxidos de manganeso no ha sido recuperable hasta ahora debido a que la extracción del metal por vía pirometalúrgica no ha sido rentable y que los procesos hidrometalúrgicos requieren una reducción del óxido de manganeso(IV) insoluble. El mineral, cuya composición química se indica en la tabla I, se explota únicamente por su contenido en metales preciosos, a pesar de que, como se observa, el de manganeso es relativamente elevado.

Al someter el mineral de Farallón Negro al proceso de biolixiviación, utilizando *Thiobacillus thiooxidans*, se persiguen dos objetivos:

- Por un lado, solubilizar, con el mejor rendimiento posible, el manganeso existente en el mineral. Está demostrado que el manganeso se solubiliza como sulfato de manganeso(II) a partir del óxido de manganeso(IV) por la acción del *Thiobacillus thiooxidans* (2). Esta solubilización se produciría según las reacciones siguientes (3):



Tanto el óxido de azufre(IV) como el ácido

(*) Trabajo recibido el día 21 de junio de 1989.

(*) Fac. de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata, 47 y 115, (1900) La Plata.

(**) Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CET-MIC), Gonnet, La Plata (Argentina).

TABLA I.— Composición química del mineral, %

SiO ₂	53,2	
CaO	7,65	
MgO	0,90	
Fe ₂ O ₃	3,90	
K ₂ O	0,66	
Na ₂ O	2,20	
MnO ₂	16,5	
P ₂ O ₅	0,13	
TiO ₂	0,35	
Al ₂ O ₃	5,60	
SO ₃	1,10	
Ag	100	ppm
Au	10	ppm

sulfuroso, necesarios para la reducción del manganeso, son productos intermedios en la oxidación del azufre debida al *Thiobacillus thiooxidans*.

b) Por otro lado, se busca lograr una mayor extracción de plata, ya que se supone que, al someter al mineral a la biolixiviación, la plata se libera más fácilmente de la matriz y, por tanto, podrían obtenerse mayores rendimientos al cianurar el mineral después de la extracción del manganeso. No se ha estudiado el efecto de la biolixiviación sobre el oro contenido en el mineral, porque, con el método aplicado actualmente, se logran en planta extracciones de más del 92 % del mismo. La dispersión de datos de los ensayos preliminares de extracción y análisis no permitió suponer un mejor rendimiento.

La ventaja del uso de este mineral es que, como debe ser sometido a molienda para efectuar posteriormente la cianuración, se le puede utilizar ya finamente molido en la biolixiviación, lo que aumenta considerablemente las extracciones (4). En el presente trabajo, se estudia, en condiciones de laboratorio, la influencia de la densidad de pulpa y de la adición de diferentes cantidades de FeS al mineral. El objeto de estos estudios es conocer las condiciones de trabajo adecuadas para lograr una biolixiviación óptima.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Mineral

El mineral utilizado procedía del yacimiento de Farallón Negro, en la provincia de Catamarca, Departamento de Belén, Distrito de Aguas de Dionisio. Es el yacimiento de oro y manganeso

más importante de la zona. En el yacimiento se encuentran mineralizaciones de oro en cuarzo asociadas a minerales de manganeso (fundamentalmente pirolusita y criptomelano) y otros elementos. La composición química es la que se recoge en la tabla I.

2.2. Microorganismos

La cepa de microorganismos utilizada fue la denominada *Thth 04* de *Thiobacillus thiooxidans*, enviada desde Brasil por el Sr. Reginaldo Liberato, de Morro Velho, S. A., cedida, a su vez, por la Dra. Vaisbich Fridman, de IPT-Brasil.

Esta cepa fue sembrada en un medio de cultivo de la siguiente composición: (NH₄)₂ SO₄, 2,0 g/l; KH₂PO₄, 4,0 g/l; MgSO₄ · 7H₂O, 0,3 g/l; CaCl₂, 0,25 g/l; FeSO₄ · 7H₂O, 0,01 g/l; S, 10,0 g/l y H₂SO₄ conc. para lograr un pH = 2,0.

2.3. Determinaciones analíticas

Las determinaciones de manganeso y de plata en las soluciones lixiviantes se realizaron por espectrofotometría de absorción atómica, en tanto que el análisis del mineral se llevó a cabo siguiendo técnicas convencionales.

2.4. Técnicas de lixiviación

2.4.1. En matraces agitados

En el primer ensayo, se trabajó con tres densidades de pulpa diferentes y se utilizaron matraces erlenmeyer de 1.000 ml, que se prepararon de la forma que se indica en la tabla II.

A los matraces erlenmeyer testigo 2, 4 y 6, se les añadieron 20 ml de bactericida (solución alcohólica al 2 % de timol en metano) (5). El pH

TABLA II.— Condiciones de los ensayos de lixiviación en matraces agitados con varias densidades de pulpa

Matraz erlenm.	M. cultivo, ml	Inóculo, ml	Densidad de pulpa p/v, %	Mineral, g
1	380	20,0	5	20,0
2	380	-	5	20,0
3	380	20,0	10	40,0
4	380	-	10	40,0
5	380	20,0	15	60,0
6	380	-	15	60,0

inicial, 2,0, se controló periódicamente y se ajustó mediante adición de ácido sulfúrico 10N.

Los matraces se colocaron en un incubador orbital a 200 rpm y 25 °C (los ensayos realizados a 35 °C no han mostrado diferencias sustanciales en el rendimiento de extracción). Periódicamente se tomaron muestras en las que se determinó la concentración de ion manganeso. Una vez finalizado el ensayo, se separó el residuo sólido y se sometió, previo lavado, a cianuración para extraer la plata. La cianuración se realizó en matraces erlenmeyer sobre muestras de 10 g, para lo que se utilizaron 100 ml de una solución de NaCN al 2 ‰. Se ajustó el pH a 10 con NaOH al 5 ‰ y se hizo burbujear aire durante 10 días, controlándose el pH periódicamente. Esta técnica de cianuración es idéntica a la que se utiliza en la planta industrial.

De acuerdo con los resultados de esta serie de ensayos, que se discutirá posteriormente, y según las experiencias de Imai (3), se decidió realizar una segunda serie de experimentos agregando al mineral distintas cantidades de FeS para mejorar los rendimientos de extracción de manganeso.

La biolixiviación en matraces agitados de 1.000 ml se realizó de acuerdo con lo indicado en la tabla III. Estos ensayos se llevaron a cabo en las mismas condiciones que los anteriores y se practicaron determinaciones similares a las del primer grupo de ensayos.

2.4.2. *En columnas*

Para estos ensayos se utilizaron columnas percoladoras del tipo de las ya utilizadas por nosotros previamente en trabajos anteriores (4). Se usaron bombas dosificadoras de diafragma (Ares Serie DS2) para impulsar el líquido. El oxígeno

TABLA III.— *Condiciones de los ensayos de lixiviación en matraces agitados con adición de distintas cantidades de FeS.*

Matraz erlenm.	Mineral, g	FeS g	Inóculo, ml	Bactericida, ml
1	20,0	0,7	20,0	
2	20,0	0,7		20,0
3	20,0	1,1	20,0	
4	20,0	1,1		20,0
5	20,0	1,7	20,0	
6	20,0	1,7		20,0
7	20,0	2,0	20,0	
8	20,0	2,0	-	20,0
9	20,0	2,5	20,0	-
10	20,0	2,5	-	20,0

necesario para el proceso se suministró por aireación de la solución.

En la primera columna (I) se colocaron 60 g de mineral de un tamaño de partícula comprendido entre 1,68 y 3,36 mm. Se añadieron 270 ml de solución lixiviante y se inoculó con 30 ml de un cultivo activo de *Thiobacillus thiooxidans* de la cepa *Thth 04*. El pH inicial de 2,0 se fue reajustando a este valor diariamente con ácido sulfúrico 10N. Se extrajeron muestras cada 3-4 días en las que se determinó manganeso.

La segunda columna (II) se preparó de igual forma que la primera, pero agregando 5 g de FeS. Se instaló, además, una tercera columna (III) con las mismas cantidades y en las mismas condiciones que la segunda, pero utilizando el mineral molido a 74 µm (malla Tyler 200).

Mediante los ensayos en estas columnas (II y III), se pretendía conocer la influencia de la variación del tamaño de las partículas en el rendimiento de la biolixiviación.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. *Biolixiviación en matraces agitados*

Los porcentajes de extracción de manganeso alcanzados por biolixiviación del mineral con diferentes densidades de pulpa, se indican en la figura 1.

Según se puede observar, el mayor porcentaje de extracción se consiguió con la menor densidad de pulpa (5 ‰), según era de esperar (5 y 7). Por ello, en la segunda serie de ensayos, se trabajó con esa densidad de pulpa. Además, considerando el bajo rendimiento alcanzado (del orden del

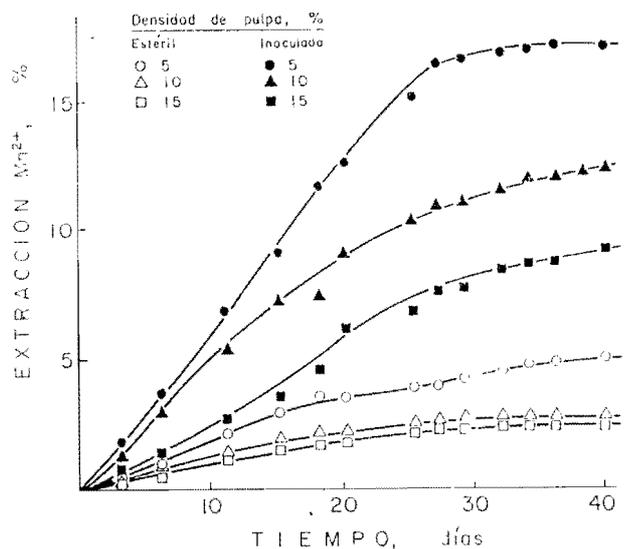


FIG. 1.— *Biolixiviación en frascos agitados con diferentes densidades de pulpa.*

18 %), se agregaron cantidades diferentes de FeS para intentar aumentar las extracciones.

La cianuración del mineral, después de sometido a la biolixiviación, produjo soluciones cuya concentración en plata alcanzó valores de 25-30 ppm en todas las muestras. Estos valores coincidieron con los obtenidos mediante cianuración directa de las muestras en ausencia de biolixiviación, los cuales, a su vez, coinciden con los resultados obtenidos en planta industrial. Esto parece indicar que los bajos valores de extracción de manganeso alcanzados en todos los casos se hallan relacionados con la baja disolución de la plata.

Los porcentajes de extracción de manganeso(II) obtenidos por biolixiviación en presencia de FeS, se indican en la figura 2. En los matraces estériles, las extracciones de manganeso oscilaron entre el 20 y 25 %, por lo que, en todos ellos, la extracción se ha representado por una sola curva. Mediante cianuración de los residuos procedentes de la biolixiviación se alcanzaron las recuperaciones de plata que figuran en la tabla IV.

Por otro lado, la extracción de manganeso se ve favorecida por la adición de FeS hasta que se alcanza una cierta relación MnO_2/FeS . Cuando la relación molar entre ambos es 1/2, se alcanza

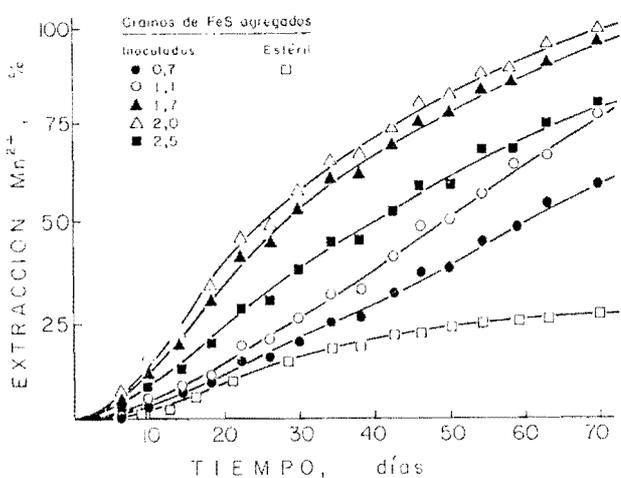


FIG. 2.— Biolixiviación en frascos agitados con adición de FeS.

TABLA IV.— Extracción de plata por cianuración en función de las cantidades de FeS agregadas en la biolixiviación

FeS, g	0,7	1,1	1,7	2,0	2,5
Extracción de Ag, %	37	51	52	53	39

el mayor porcentaje de extracción. Para relaciones mayores, la extracción de manganeso disminuye.

Las adiciones de FeS favorecen la disolución del MnO_2 , ya que tanto los productos intermedios de la oxidación de sulfuros a sulfatos por acción del *Thiobacillus thiooxidans* (8 y 9) como el ion ferroso (3), actúan sobre el ion manganeso(IV) reduciéndolo a manganeso(II).

También se observa que la extracción de plata está directamente relacionada con la extracción de manganeso hasta que se alcanza un valor límite (51-53 % de Ag), que es el mayor rendimiento en este metal que se alcanza por este método. Evidentemente, el resto de la plata debe estar ocluido en alguna otra sustancia, quizás en el SiO_2 , que no se solubiliza por la acción del *Thiobacillus thiooxidans*. En este trabajo, no se ha intentado la disgregación del SiO_2 para comprobar esto, ya que probablemente no sería aplicable a nivel industrial por el alto costo que esto implicaría.

3.2. Biolixiviación en columnas

Los resultados obtenidos en las columnas se presentan en la figura 3.

La biolixiviación en la columna I fue prácticamente despreciable, por lo que se decidió interrumpirla a los 12 días de iniciada.

Es evidente que la adición de FeS mejora notablemente la extracción de manganeso (columna II), tal como sucede en los matraces agitados.

Por otro lado, también la disminución del tamaño de las partículas favorece la biolixiviación, como puede observarse por las extracciones conseguidas en las columnas II y III.

Sin embargo, comparando este método con el de matraces agitados, se observa que posiblemente la mayor disponibilidad de oxígeno y las

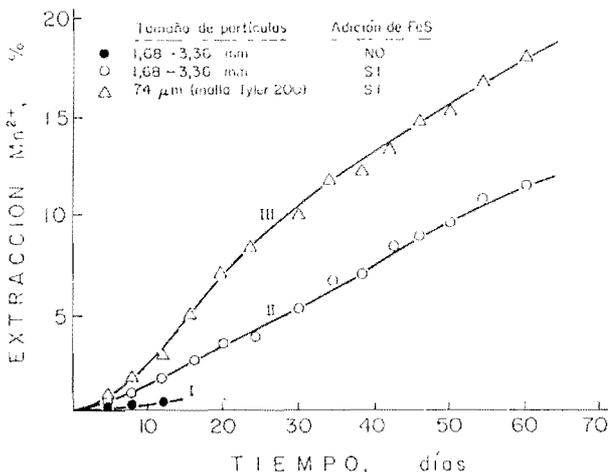


FIG. 3.— Biolixiviación en columnas.

propias características de cada uno de los sistemas en cuanto a la cinética de las reacciones, hacen que la biolixiviación sea más efectiva en el último caso.

4. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos, es evidente que el procedimiento propuesto significa una mejora sustancial en el aprovechamiento del mineral de Farallón Negro, al recuperar casi el 100 % del manganeso y mejorar sensiblemente la recuperación de la plata.

Por otro lado, los resultados obtenidos, al menos a escala de laboratorio, parecen sugerir la conveniencia de efectuar la biolixiviación en tanques agitados con aireación forzada (que sería la extensión del método de matraces agitados), ya que con respecto al método de columnas reduce sensiblemente el tiempo de biolixiviación.

Por último, conviene señalar que la economía del procedimiento reside en los costos muy bajos de la biolixiviación (consumo insignificante de energía y reactivos), y en las dimensiones de la planta para obtener un proceso continuo, ya que

para la biolixiviación se necesita un tiempo cuatro veces mayor que para la cianuración.

REFERENCIAS

- (1) V. ANGELELLI. Yacimientos metalíferos de la República Argentina. Vol. I. 1984: 331.
- (2) T. TANO y K. IMAI. *J. Agr. Chem. Soc. Japan.* 37, 1963: 576.
- (3) K. IMAI. On the Mechanism of Bacterial Leaching. Metallurgical Applications of Bacterial Leaching and Related Microbiological Phenomena. L. E. Murr, A. E. Torma y J. A. Brierley (Eds.). Academic Press. Nueva York, 1978: 275-295.
- (4) S. PORRO, J. L. BOLARDI y P. H. TEDESCO. *Rev. Metal. (Madrid)*, 24 (5), 1988: 279-302.
- (5) R. GUAY, M. SILVER y A. E. TORMA. *Eur. J. Appl. Microbiol.*, 3, 1976: 157-167.
- (6) L. E. MURR. *Miner. Sci. Eng.*, 12 (3), 1980: 121-189.
- (7) K. BOSECKER. Bacterial Metal Recovery and Detoxification of Industrial Waste. Workshop on Biotechnology for the Mining, Metal-Refining and Fossil-Fuel Processing Industries. H. L. Erlich y D. S. Holmes (Eds.). John Wiley and Sons. Nueva York, 1985: 105-120.
- (8) K. IMAI, M. OKUZUMI y H. KATAGIRI. Symposium on Enzyme Chemistry. Japón. Vol. 17. 1962: 132.
- (9) H. D. PECK, Jr. *Ann. Rev. Microbiol.*, 22, 1968: 489.