

Influencia de la temperatura en la fijación y penetración de la plata durante la lixiviación de calcopirita con microorganismos termófilos moderados (*)

L. Cancho*, M.L. Blázquez*, J.A. Muñoz*, F. González* y A. Ballester*

Resumen La biolixiviación de la calcopirita con microorganismos mesófilos mejora considerablemente cuando se utiliza plata en el medio de reacción. Sin embargo, los estudios realizados con microorganismos termófilos moderados no muestran una mejora significativa con respecto a la utilización de bacterias mesófilas. El objetivo del presente trabajo ha sido el estudio de la fijación de plata sobre calcopirita a 35 y 45 °C y su influencia en el ataque microbiológico. Se han realizado observaciones con SEM, microanálisis por EDS y perfiles de concentración con microsonda electrónica. El estudio de las distintas muestras reveló que la fijación de la plata fue más favorable a 35 que a 45 °C y que la acción bacteriana favoreció la penetración de la plata a través de las grietas de ataque.

Palabras clave Biolixiviación. Calcopirita. Microorganismos termófilos moderados. Fijación superficial de plata.

Influence of temperature on the fixation and penetration of silver during the chalcopyrite leaching using moderate thermophilic microorganisms

Abstract Bioleaching of chalcopyrite using mesophilic microorganisms considerably improves in the presence of silver. However, the studies carried out with moderate thermophilic microorganisms do not show a significant improvement with regard to the use of mesophilic bacteria. The main objective of the present work has been to study the silver fixation on chalcopyrite at 35 and 45 °C and its influence on the microbiological attack. Different observations using SEM, EDS microanalysis and concentration profiles using electron microprobe have been carried out. The study of the different samples showed that silver fixation was more favourable at 35 °C than at 45 °C. In addition, bacterial action improved silver penetration through attack cracks.

Keywords Bioleaching. Chalcopyrite. Moderate thermophilic microorganisms. Superficial fixation of silver.

1. INTRODUCCIÓN

La calcopirita es el mineral de cobre más importante. Sin embargo, presenta un comportamiento muy refractario frente a la lixiviación química y biológica por su especial estructura cristalina, sus características electroquímicas^[1 y 2] y por la formación de una capa inhibidora en su superficie durante la oxidación que evita la difusión de iones entre la superficie de la calcopirita y el medio^[3-7]. Distintos autores han descrito que ciertos iones aceleran su disolución en presencia de *Acidithiobacillus*

ferrooxidans. De todos ellos, la plata parece conseguir los resultados más satisfactorios^[8-11]. En la actualidad, continúan las investigaciones sobre el uso de la plata en presencia de microorganismos mesófilos con el fin de mejorar el proceso. Estudios recientes recomiendan el uso del cloruro de plata para evitar efectos tóxicos del metal en las bacterias, dada su baja solubilidad^[12], y otros muestran buenos resultados al emplear concentrados que contienen argentita (Ag₂S) para catalizar la biolixiviación de minerales de calcopirita de baja ley^[13].

(*) Trabajo recibido el día 30 de mayo de 2003 y aceptado en su forma final el día 22 de julio de 2004.

(*) Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid. Tel.: 91 3944339/ Fax: 91 3944357. E-mail: ambape@quim.ucm.es

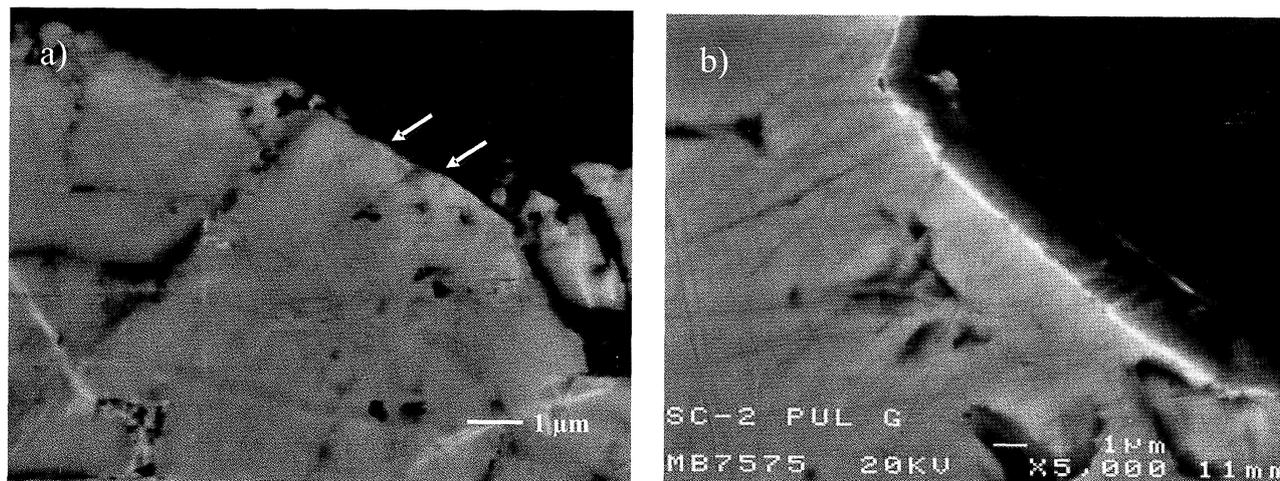


Figura 1. Imagen por electrones retrodifundidos. Corte de calcopirita masiva con plata fijada a 45 °C: a) Sin ataque bacteriano; b) Ataque bacteriano con bacterias termófilas moderadas.

Figure 1. Image of backscattered electrons. Cut of massive chalcopyrite with fixed silver at 45 °C: a) Without bacterial attack; b) Attacked with moderate thermophilic bacteria.

borde de las muestras de calcopirita también indicaron la presencia de plata (Tabla I).

El perfil de concentraciones (Fig. 2a) indica que en la muestra sin atacar, la plata se localizó en una capa superficial muy delgada y no penetró a través de las grietas presentes. Para la muestra biolixiviada, el perfil de concentraciones (Fig. 2b) indica que, aunque la localización de la plata se produjo principalmente en la superficie de la calcopirita, también penetró a través de las grietas que presentaba la muestra.

De la comparación entre ambas muestras se deduce que tan sólo difieren en que la muestra atacada presentaba penetración de plata a través de las grietas, puesto que ambas muestran cantidades muy similares de plata en el borde.

La tabla I revela una menor cantidad de cobre que de hierro cuando la concentración de plata es alta, lo que puede indicar que la plata se encuentra asociada a compuestos con una mayor proporción de hierro.

3.2. Calcopirita con plata fijada a 35 °C y sometida a ataque bacteriano a 45 °C

La figura 3 muestra una micrografía de electrones retrodifundidos donde se observa claramente la plata situada en la superficie y en diversas grietas que se dirigen hacia el interior de la probeta. La penetración es tan grande que incluso se observaron importantes acumulaciones de plata en zonas internas situadas a 15 µm del borde.

Los microanálisis semicuantitativos realizados en esta muestra (Tabla II), confirmaron que, tanto en la superficie como en la zona de acumulación interna de plata, el porcentaje de este elemento fue muy superior al detectado en las muestras con plata fijada a 45 °C. También, en estas muestras se observa una disminución del porcentaje de cobre con respecto al de hierro.

La figura 4 muestra el perfil de concentraciones. Se deduce una penetración de la plata a través de grietas, mucho mayor cuando la fijación

Tabla I. Calcopirita con plata fijada a 45 °C. Corte transversal. Porcentaje atómico de azufre (S), hierro (Fe), cobre (Cu) y plata (Ag)

Table I. Chalcopyrite with fixed silver at 45 °C. Transversal cut. Atomic percentage of sulphur (S), iron (Fe), copper (Cu) and silver (Ag)

| | Distancia al borde | % S | % Fe | % Cu | % Ag |
|---------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| Sin ataque bacteriano | Superficie | 40,151 | 24,646 | 19,660 | 15,543 |
| | Superficie | 50,903 | 21,165 | 16,384 | 11,548 |
| Ataque bacteriano a 45 °C | Grieta | 52,577 | 22,104 | 17,805 | 7,514 |

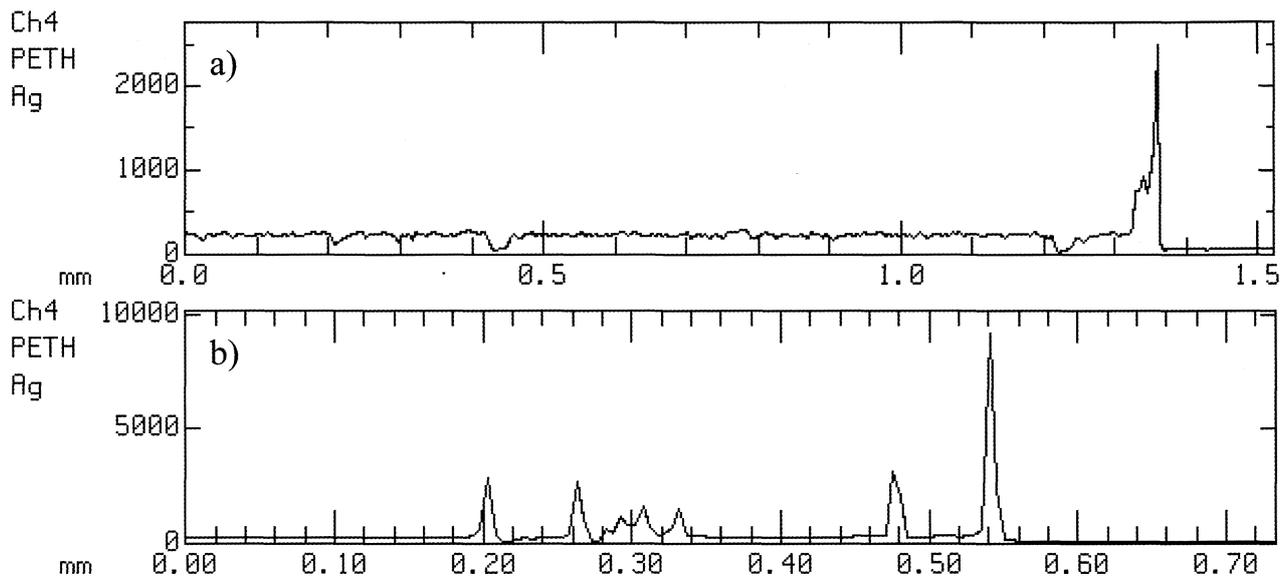


Figura 2. Cortes de calcopirita masiva con plata fijada a 45 °C. Perfil de concentración de plata obtenido con microsonda electrónica desde el interior de la muestra hasta su superficie: a) Sin ataque bacteriano; b) Ataque bacteriano con termófilas moderadas.

Figure 2. Cuts of massive chalcopyrite with fixed silver at 45 °C. Silver concentration profile obtained with electron microprobe from the inner part of the sample to its surface: a) Without bacterial attack; b) Bacterial attack in the presence of moderate thermophilic bacteria.

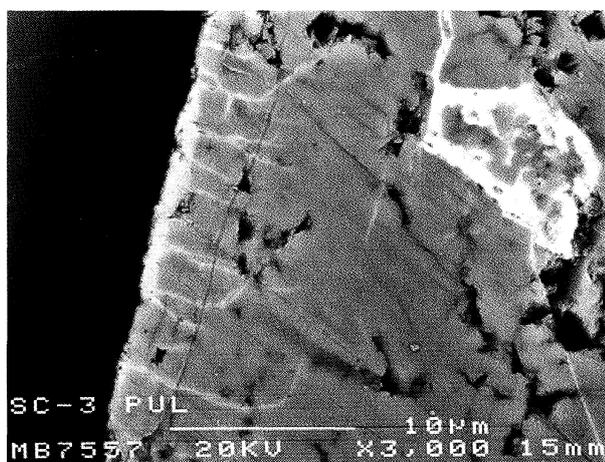


Figura 3. Imagen por electrones retrodifundidos. Corte de calcopirita masiva con plata fijada a 35 °C y sometida a un ataque bacteriano con termófilas moderadas. Penetración de la plata por las grietas de ataque.

Figure 3. Image of backscattered electrons. Massive chalcopyrite cut with fixed silver at 35 °C and attacked in the presence of moderate thermophilic bacteria. Penetration of the silver through the attack cracks.

se realizó a 35 °C que cuando se hizo a 45 °C (Fig. 2).

La fijación de la plata a 35 °C seguido de un ataque bacteriano es mucho más favorable: se

Tabla II. Calcopirita con plata fijada a 35 °C y sometida posteriormente a ataque bacteriano a 45 °C. Corte transversal. Porcentaje atómico de azufre (S), hierro (Fe), cobre (Cu) y plata (Ag) en función de la distancia

Table II. Chalcopyrite with fixed silver at 35 °C and subsequently attacked by bacteria at 45 °C. Transversal cut. Atomic percentage of sulphur (S), iron (Fe), copper (Cu) and silver (Ag) as a function of distance

| Distancia al borde | % S | % Fe | % Cu | % Ag |
|--------------------|--------|--------|-------|--------|
| 0,1 µm | 44,124 | 26,676 | 5,761 | 23,440 |
| 15 µm | 36,029 | 9,757 | 8,208 | 46,006 |

forman capas superficiales más gruesas y con mayor concentración de plata. Además, se produce una penetración mucho mayor hacia el interior de la calcopirita. Se llegó a encontrar plata en grietas localizadas a 500 µm de la superficie de la probeta.

El estudio de la calcopirita masiva con plata fijada a 35 °C y sin ataque bacteriano ya se publicó y, en él, se podía apreciar que, aunque la fijación en la superficie era muy abundante, no aparecía, sin embargo, penetración de plata por grietas^[19].

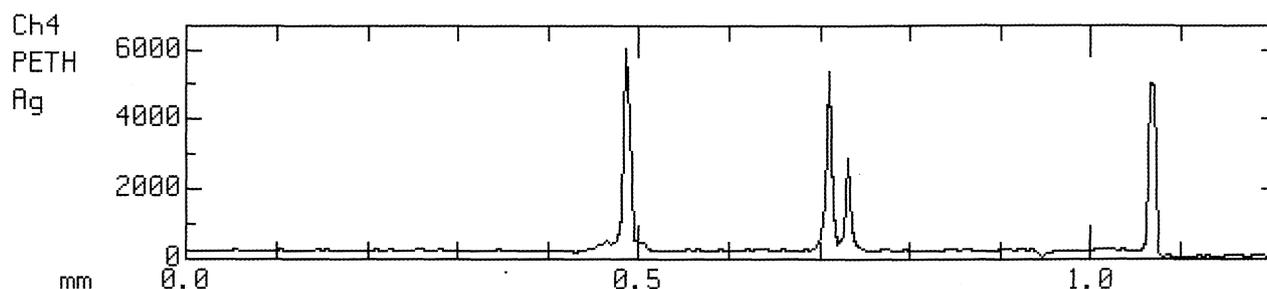


Figura 4. Corte transversal de calcopirita masiva con plata fijada a 35 °C y sometida a un ataque bacteriano con termófilas moderadas. Perfil de concentraciones de plata obtenido con la microsonda electrónica en el borde de la muestra.

Figure 4. Transversal cut of massive chalcopyrite with fixed silver at 35 °C and attacked with moderate thermophilic bacteria. Silver concentration profile obtained with electron microprobe in the sample edge.

4. CONCLUSIONES

El estudio revela como la temperatura tiene una gran influencia en la fijación de la plata sobre la calcopirita. La fijación de la plata a 35 °C es mucho más favorable que a 45 °C, por alcanzar mayores concentraciones y una penetración más intensa y profunda hacia el interior de la muestra de calcopirita. Además, la acción bacteriana favorece la penetración de la plata a través de las grietas de ataque. La plata se presenta asociada a zonas con una mayor proporción de hierro que de cobre, lo que parece indicar que el intercambio a 45 y 35 °C se produce mayoritariamente entre la plata y el cobre.

Dado que los efectos beneficiosos de la fijación a 35 °C se mantuvieron tras un periodo de biolixiviación a 45 °C, se puede proponer como pretratamiento de la biolixiviación con termófilos moderados, la fijación del catalizador a 35 °C.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Ministerio de Educación y Ciencia la concesión de una ayuda para la realización del presente trabajo.

REFERENCIAS

- [1] F.K. CRUNDWELL, *Hydrometallurgy* 21 (1988) 155-190.
- [2] A.J. PARKER, R.L. PAUL y G.P. POWER, *J. Electroanal. Chem.* 118 (1981) 305-316.
- [3] F.B. MATEOS, I.P. PÉREZ y F.C. MORA, *Hydrometallurgy* 19 (1987) 159-167.
- [4] T. BIEGLER y M.D. HORNE, *J. Electrochem. Soc.* 132 (1985) 1363-1369.

- [5] M.B. STOTT, H.R. WATLING, P.D. FRANZMANN y D. SUTTON, *Miner. Eng.* 13 (2000) 1117-1127.
- [6] Y. RODRÍGUEZ, M.L. BLÁZQUEZ, A. BALLESTER, F. GONZÁLEZ y J. MUÑOZ, *Rev. Metal. Madrid* 37 (2001) 665-672.
- [7] Y. RODRÍGUEZ, M.L. BLÁZQUEZ, A. BALLESTER, F. GONZÁLEZ y J. MUÑOZ, *Rev. Metal. Madrid* 37 (2001) 616-627.
- [8] A. BALLESTER, F. GONZÁLEZ, M.L. BLÁZQUEZ, C. GÓMEZ y J.L. MIER, *Hydrometallurgy* 29 (1992) 145-160.
- [9] P.C. BANERJEE, B.K. CHAKRABARTI, S. BHATTAACHARYYA y A. DAS, *Hydrometallurgy* 25 (1990) 349-355.
- [10] J.D. MILLER y H.Q. PORTILLO, *Proc. XIII Miner. Process. Congr.*, Varsovia, Par A.J. Lawkoski (Ed.), Elsevier, Amsterdam, 1981, pp. 851-894.
- [11] F. CARRANZA, A. MAZUELOS y R. ROMERO, *Rev. Metal. Madrid* 39 (2003) 418-427.
- [12] H. SATO, H. NAKAZAWA y Y. KUDO, *Int. J. Miner. Process.* 59 (2000) 17-24.
- [13] H. YUEHUA, Q. GUANZHOU, W. JUN y W. DIANZUO, *Hydrometallurgy* 64 (2002) 81-88.
- [14] N. HIROYOSHI, M. ARAI, H. MIKI, M. TSUNEKAWA y T. HIRAJIMA, *Hydrometallurgy* 63 (2002) 257-267.
- [15] F. CARRANZA, I. PALENCIA y R. ROMERO, *Hydrometallurgy* 44 (1997) 29-42.
- [16] F.D. POOLEY y G.N. SHERSTHA, *Miner. Eng.* 9 (1996) 825-836.
- [17] J.L. MIER, A. BALLESTER, M.L. BLÁZQUEZ, F. GONZÁLEZ y J.A. MUÑOZ, *Miner. Eng.* 8 (1995) 949-965.
- [18] D.W. GROGAN, *J. Bacteriol.* 171 (1989) 6710-6719.
- [19] M.L. BLÁZQUEZ, A. ÁLVAREZ, A. BALLESTER, F. GONZÁLEZ y J.A. MUÑOZ, *Proc. Int. Biohydrometall. Symp. IBS'99*, A. Ballester y R. Amils (Eds.) El Escorial, España, 1999, pp. 137-147.
- [20] E. GÓMEZ, A. BALLESTER, M.L. BLÁZQUEZ y F. GONZÁLEZ, *Hidrometallurgy* 51 (1999) 37-46.
- [21] P.R. NORRIS y D.W. BARR, *FEMS Microbiol. Lett.* 28 (1985) 221-224.