

ESTUDIO COMPARATIVO EN BIOLIXIVIACIÓN DE MINERALES SULFURADOS ACIDITHIOBACILUS FERROXIDANS VERSUS CONSORCIO MICROBIANO

Francisco Morales

INTRODUCCIÓN

Chile es el mayor exportador de cobre en el mundo (aproximadamente el 36 por ciento mundial). Es por ello que nuevas técnicas de obtención de este mineral, que permitan abaratar costos y disminuir la contaminación provocada por los métodos tradicionales de obtención [1] (como la liberación de sulfuros en fase gas al ambiente), son un tema importante para la nueva minería chilena.

Entre las tecnologías en boga, la biolixiviación, definida como un proceso hidrometalúrgico en donde la movilización de metales se lleva a cabo desde la fase sólida (mineral) a una fase líquida (fluido lixivador) por reacciones de óxido-reducción aceleradas bajo actividad microbiana [2], es una alternativa aplicable a nivel industrial para obtener cobre en disolución proveniente de minerales sulfurados de baja ley sin causar gran impacto en el medio ambiente. De forma natural se puede apreciar que, en el mineral lixiviado, se encuentran consorcios microbianos (grupos de diferentes microbios capaces de vivir de forma simbiótica) que permiten, mediante reacciones de óxido-reducción, la difusión del cobre al medio acuoso.

Dentro de los microorganismos importantes encontrados en los consorcios se pueden apreciar: *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans* y *Desulfovibrio vulgaris*. Pero el microorganismo de mayor aporte en la biolixiviación es el *Acidithiobacillus ferrooxidans*, bacteria gram negativa que metaboliza hierro y sulfuro para su metabolismo energético. Esta bacteria permite recuperar el férrico reducido, acelerando el proceso de lixiviación [3].

El objetivo de este estudio fue realizar una evaluación comparativa respecto a la capacidad lixivadora de tres grupos microbianos: una cepa aislada de *Acidithiobacillus ferrooxidans*, un consorcio microbiano mixto y un consorcio perteneciente al mineral sulfurado a lixiviar. Todo esto fue realizado en una columna de lixiviación que permite estudiar de forma diferencial lo ocurrido en un pequeño cerro ordenado (pila) del mineral para poder así obtener resultados concretos y extrapolables a la gran industria minera.



Pontificia Universidad Católica de Chile,
Departamento de Ingeniería Química y
Bioprosesos.

Autor:

Francisco Morales, alumno.

Profesores involucrados:

Leandro Herrera, Profesor Asistente Adjunto.

César Sáez, Profesor Asistente.

Contacto: César Sáez - csaez@ing.puc.cl

Leandro Herrera - leandro.herrera@gmail.com

EXPERIMENTACIÓN

Este estudio se está llevando a cabo desde inicios del segundo semestre del 2011 y tiene como meta de realización acabar en enero del 2012. Esta investigación nació ante la idea de generar una memoria con resultados concretos obtenidos sobre la base de la biolixiviación de minerales sulfurados de baja ley. Nos alejamos así de la tendencia recurrente del trabajo típico en laboratorio (utilización de minerales purificados, bacterias completamente aisladas y trabajos realizados en matraz). Buscamos establecer un estudio lo más cercano posible a la realidad con elementos y procesos utilizados en la industria minera.

Este proceso (biolixiviación) permite la obtención de metales desde el mineral que lo contiene (principalmente mineral con alto contenido de azufre, llamado mineral sulfurado). Para ello se requiere, además de un ambiente ácido, la presencia de un agente oxidante en el fluido lixivante. Este agente es principalmente el ión férrico (encontrado en solución como sulfato férrico, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$). Este compuesto realiza una reacción química de carácter oxidativo sobre los sulfuros metálicos del mineral (entre estos el sulfuro de cobre (I), Cu_2S , y el sulfuro de cobre (II), CuS) los cuales son oxidados a sulfatos del metal (como sulfato de cobre (I), Cu_2SO_4 , y el sulfato de cobre (II), CuSO_4) que son solubles, por ende pueden ser obtenidos desde el fluido remanente de la lixivación (más conocido como PLS) gracias a distintos procesos químicos y electroquímicos. Luego de la reacción química, este ión férrico es reducido a ión ferroso (encontrado como sulfato ferroso, FeSO_4) el cual aporta energía a los organismos quimiolitotóxicos, que son capaces de oxidarlo nuevamente a ión férrico volviendo a generar este ciclo de reacciones de óxido-reducción.

Dentro de los microorganismos importantes encontramos: *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans* y *Desulfovibrio vulgaris*. El microorganismo de mayor aporte en la biolixiviación es el *Acidithiobacillus ferrooxidans*, bacteria gram negativa que metaboliza hierro y sulfuro para generar su energía. Esta bacteria permite recuperar el férrico reducido, acelerando el proceso de lixivación.

Se implementarán 3 columnas de biolixiviación con distintas muestras de microorganismos (cepa bacteriana

aislada de *Acidithiobacillus ferrooxidans*, consorcio microbiano externo y consorcio microbiano nativo) que permitirán la lixivación del mineral. Las columnas a utilizar son tubos de PVC, de 45 cm. de alto por 11 centímetros de diámetro, cerrados y conectados a una bomba peristáltica multicanal (regula el flujo del líquido a través de las columnas), a una bomba de aire (otorga oxígeno a los microbios presentes) y a un matraz aforado de 1 L.

Bajo la normativa minera, el mineral a usar (con una ley del 0,2 por ciento) fue chancado a un tamaño de fragmento entre 5 y 10 mm. Luego se trató con una solución ácida, bajo agitación permanente, en donde se le adicionan 16 kg/t de ácido y 90 kg/t de agua para poder tener un pH y Eh (potencial de oxidación del medio, es una medida de la tendencia a capturar electrones por parte de algunas especies químicas) lo más uniforme posible a lo largo de la columna y mejorar la permeabilidad de la misma al unir los finos del mineral a las partículas más grandes del chancado. Este paso comprende las operaciones conocidas como "curado" y "aglomerado" del mineral.

Los microorganismos se inocularon en las columnas bajo la utilización de 5 ml de la cepa o consorcio, según sea el caso, en 100 ml de un medio basal de pH entre 1,6-1,8, que consta de nutrientes esenciales para este tipo de microorganismos. Todo lo anterior conforma nuestro fluido lixivador, el cual es rociado a una tasa de 9 L/hr/m² en las columnas de lixivación correspondientes.

La medición más importante de este estudio es la del potencial de oxidación del medio o Eh, debido a que las reacciones de óxido-reducción son las que regulan la lixivación y la posterior difusión de los metales sulfatados en medio acuoso. Por



Figura 2: Microorganismos a utilizar en el estudio. Matraz izquierda: Cepa aislada de *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Matraz. derecha: Consorcio Microbiano externo.



Figura 1: Pilas de Lixiviación

ende, se necesita medir el Eh de la solución para establecer cuándo se alcanza la mayor diferencia de concentración en solución de ión férrico contra ión ferroso, lo que implica una mayor acción bacteriana. Esto nos permite comparar entre muestras microbianas según Eh máximo alcanzado y tiempo utilizado para alcanzar su máximo. Esta medición se realiza con un electrodo de referencia plata/cloruro de plata.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como este estudio todavía está en marcha, solo es posible discutir acerca de los resultados que se esperan obtener con este trabajo, en base a los experimentos ya realizados y los resultados de otras investigaciones relacionadas. Los resultados esperados se detallan a continuación:

(i) Menor valor de Eh máximo: Posiblemente ocurra en la columna que contiene la cepa aislada de *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Esto porque la falta de microorganismos que realicen simbiosis con esta bacteria, provocaría algunos eventos que reducirían la capacidad lixivadora esperada. Entre estos eventos se encuentran la disminución en el porcentaje de adherencia de la bacteria al mineral, la falta de metabolismos oxidativos alternativos y la nula remoción de los desechos orgánicos producidos por el metabolismo bacteriano

(ii) Llegada más tardía al Eh máximo: La experiencia indica que la columna que más demore en alcanzar el Eh máximo será la que solamente contiene al consorcio nativo. Esto debido a que, para comenzar el proceso de lixivación, recurrentemente se utilizan los denominados "partidores", bacterias que se agregan al medio de forma externa y que permiten que las bacterias pertenecientes

al mineral se adapten de forma rápida al medio lixivante. Por lo tanto, al solo utilizar un medio basal sin la presencia de bacterias externas es probable que los microorganismos nativos no puedan adecuarse de manera rápida al medio, pero que al cabo de un tiempo prolongado logren establecer su máximo desempeño.

(iii) En máximo alcanzado: Las probabilidades están a favor del consorcio microbiano externo debido a que tendrán una adecuación y adherencia rápida al mineral gracias a su diversidad microbiana y la presencia de microorganismos heterotróficos que consuman los desechos orgánicos que originen las bacterias importantes para el proceso de lixiviación.

CONCLUSIONES

Este estudio permite obtener datos concretos basados en la biolixiviación de minerales sulfurados de baja ley que pueden ser extrapolables a grandes faenas mineras. Ello dará una pauta general para la utilización o no de cierto tipo de cepas o consorcios microbianos, estableciendo tiempos de exposición de los mismos microorganismos en el mineral, pronosticando en forma certera el tiempo de mayor extracción de sulfatos desde el mineral y, si es posible, logrando determinar cuándo deja de ser rentable continuar extrayendo cobre según la ley del mineral, lo que sería de gran ayuda en la planificación de proyectos en esta industria.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los profesores César Sáez y Leandro Herrera, del Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos de la PUC. A la profesora Blanca Escobar del Departamento de Ingeniería en Biotecnología de la Universidad de Chile, y a todas las personas que me han ayudado en el desarrollo de este proyecto y que han creído en la importancia del mismo.



REFERENCIAS

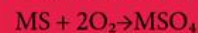
1. CODELCO, Biolixiviación database [en línea]. Chile, Codelco Educa. [fecha de consulta: 20 Septiembre 2011]. Base de datos disponible en el sitio web Codelco Educa, perteneciente a Codelco. Disponible en: <<https://www.codelcoeduca.cl/proceso/biolixiviacion/biolixiviacion.asp>>
2. MENADIER Stavelot, Maurice. Biolixiviación de piritas por Acidithiobacillus ferrooxidans y cepas nativas. Memoria (Ingeniero Civil en Biotecnología). Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, departamento de ingeniería química y biotecnología, 2009. pp. 4-5.
3. Ballester, A. Mecanismo de biolixiviación. En: Acevedo F. y Gentina J.C, Fundamentos y perspectivas de las tecnologías biomineras. Chile, Pontificia universidad católica de Valparaíso, Valparaíso, Ediciones Universitarias de Valparaíso, 2005, pp. 9-24.
4. TRIBUTSCH, Helmut. Direct versus indirect bioleaching. Elsevier Science, (59): 177-185, 2000.

Principio Científico

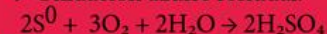
Existen dos mecanismos de acción bacteriana, los cuales trabajan en forma cooperativa para lograr la obtención de sulfatos metálicos desde el mineral:

1) Mecanismo de contacto: Adherencia de la bacteria al mineral permite disolución de este mediante procesos electroquímicos

► Oxidación directa del sulfuro:

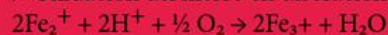


► Oxidación azufre residual:



2) Mecanismo Indirecto: Lixiviación del sulfuro por acción oxidativa del ión férrico producido por la bacteria

► Oxidación del hierro en disolución:



Ambos mecanismos permiten que las reacciones químicas de lixiviación ocurran:

