



Área de Innovación y Desarrollo Estratégico
Centro de Investigación Minera y Metalúrgica
Santiago.

BIOLIXIVIACIÓN, LA NUEVA MINERÍA

Centro de Investigación Minera y Metalúrgica
Septiembre 2005.

Indice

	Pág.
Introducción	3
Desarrollo nacional	3
Mecanismos de acción	4
Avance tecnológico	5
Personas a considerar	6

Introducción

Biolixiviación es el nombre que se le entrega al conjunto de reacciones químicas que tienen como resultado la disolución de minerales por parte de bacterias, las cuales lixivian, es decir, disuelven las rocas o minerales, los solubiliza (por eso el proceso se llama Biolixiviación o Lixiviación Biológica) para obtener la energía que necesitan a expensas de sustancias inorgánicas, liberando de paso cobre en mayor cantidad que con métodos convencionales.

Estos microorganismos, varios de los cuales son autótrofos por ser capaces de sintetizar sus componentes celulares a partir del anhídrido carbónico del aire, son denominados quimiolitotóxicas por ser bacterias que comen piedras, destacándose entre todos ellos el "Acidithiobacillus ferrooxidans", la que fue aislada en 1957 de agua obtenida de filtraciones que presentaba una mina de carbón abandonada en Virginia Oeste, Estados Unidos.

El nombre de este microorganismo no es por azar, sino que refleja sus características: Acidithiobacillus, es acidófilo, porque crece en pH ácido; es thio, es decir, capaz de oxidar compuestos de azufre; es un bacillus, porque tiene forma de bastón, y ferrooxidans, porque además puede oxidar el Hierro. Además, son denominados extremófilos por vivir en condiciones extremas, que son normales en el caso de los minerales: pH ácido, altas temperaturas y concentraciones de metales.

Desarrollo nacional

Las bacterias quimiolitotóxicas comenzaron a ser utilizadas en nuestro país en 1970, cuando se comenzó a experimentar en Chuquicamata con unos microorganismos capaces de obtener cobre de pilas de ripio que contenían mineral de muy baja ley y que no era posible extraerlo con los métodos tradicionales. Este fenómeno se estudio en terreno, aislándose y cultivándose estos microorganismos para luego sembrarlos en pilas de ripio, como una forma de mejorar el proceso que se da en forma natural.

En esa época, el Instituto de Investigaciones Tecnológicas (INTEC) orientó sus esfuerzos en caracterizar y seleccionar distintos tipos de microorganismos que habitaban en ambientes naturales propicios a la lixiviación, como por ejemplo botaderos, aguas que emergían de faenas mineras, etc. Sin embargo, dichas investigaciones se desarrollaron a un ritmo irregular, lográndose recién en 1984 un proyecto a mayor escala con la participación de universidades, entidades estatales y el apoyo económico de las Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial y del Gobierno de Chile.

Este proyecto, denominado "Control de procesos biológicos en la lixiviación bacteriana del cobre de minerales chilenos", se enfocó en el estudio de la genética, fisiología y bioquímica de las bacterias lixiviantes, los mecanismos de interacción de la bacteria con el mineral y cinéticas de biolixiviación en diferentes condiciones,

con el objetivo de modificar algunas características fisiológicas de los microorganismos lixiviantes, de manera de hacerlos más eficientes; y modificar características ambientales para optimizar el proceso de lixiviación que realizan estas bacterias.

Mecanismos de acción

Cuando el material de un yacimiento cuprífero tiene menos de un 0,5% de cobre, el trabajo de refinamiento tradicional deja de ser rentable, una situación que impulsó a los investigadores a buscar nuevos procesos, más baratos y eficientes, que permitieran aprovechar las millones de toneladas de descarte amontonadas, lo que ha sido posible gracias a las bacterias lixiviantes, las que empezaron a ser experimentadas en 1986 en la mina Lo Aguirre, permitiendo separar el cobre de los minerales sólidos con los que se encontraba mezclado.

En el 70% de los casos en que se busca extraer el mineral rojo de la roca, se recurre a la pirometalurgia, proceso que consiste en separar físicamente el cobre de los compuestos a través de la flotación y, luego, la fundición en hornos a 1.200°C, lo que produce que, al pasar al estado líquido, los elementos más livianos queden en la parte superior del fundido, y los pesados, como el cobre, se concentren en la base.

El otro método que se utiliza es la hidrometalurgia, proceso en el que a los minerales oxidados y sulfurados se les aplica una solución de ácido sulfúrico, que produce la lixiviación: la disolución selectiva del cobre, con lo cual se separa de los otros elementos. El inconveniente es que para los minerales sulfurados no basta una solución ácida, por fuerte que ésta sea, sino que también requiere un agente externo que ayude en el proceso, rol que asumen las bacterias como la "Acidithiobacillus ferrooxidans".

Estos microorganismos se alimentan principalmente de dos impurezas que hay que extraer del mineral para producir cobre: el azufre, que las bacterias pueden oxidar y convertir en ácido sulfúrico; y el fierro, el cual es precipitado sobre el mineral de descarte, lo que permite lograr una disolución más barata y simple.

A partir de una serie de experimentos que se desarrollaron en Sudáfrica se descubrió que si se conservan estas bacterias en agua con un bajo contenido de ácido y azufre a una temperatura de unos 75 grados centígrados, en cuatro días pueden convertir el mineral de cobre en una solución de 30 gramos de cobre puro por cada litro de agua, la cual es luego enviada a una refinería, donde se desarrollan las etapas de extracción por solventes y de electro-obtención.

Los avances en esta área han permitido que en la actualidad se generen en Chile alrededor de 450 mil toneladas de cobre a través de la biolixiviación en plantas como Chuquicamata, Quebrada Blanca, Cerro Colorado, Andacollo, Zaldívar y Dos amigos, con un costo de producción de 850 dólares por tonelada y sin

que se produzcan emisiones de polvo, dióxido de azufre y arsénico. La cantidad de mineral que se obtiene por medio de bacterias alcanza un precio de venta que se ubica en torno a los 900 millones de dólares.

Avance tecnológico

Los beneficios que pueden entregar estos microorganismos han impulsado un importante desarrollo investigativo en el área, el cual ya ha dado importantes resultados, como cuando el año 2004 se descubrió una nueva bacteria capaz de biooxidar azufre y hierro, lo cual se produjo en el marco del proyecto de biolixiviación que lleva a cabo BioSigma S.A., asociación de Codelco (66,66%) y la empresa japonesa Nippon Mining & Metals Co. Ltd. (33,33%).

Junto con descubrir la nueva bacteria y registrarla para obtener la patente respectiva, se trabajó en el secuenciamiento de su genoma, identificando cerca del 95% de su material genético, incluyendo los genes responsables de acelerar el proceso de biolixiviación, en especial el que se refiere a la disolución de la calcopirita, que es la especie mineralógica mayoritaria en los recursos de cobre primario.

BioSigma es una entidad dedicada al desarrollo de biotecnologías comercialmente aplicables a la minería, especialmente a los procesos relacionados con el procesamiento de recursos mineros de cobre, cuya explotación mediante los sistemas tradicionales no sea económicamente viable.

Otro organismo que posee un amplio conocimiento sobre estas bacterias es la Alliance Copper Limited, ACL, una sociedad constituida en partes iguales por Codelco y BHP Billiton, y que es pionera en la biolixiviación de concentrados de cobre en tanques agitados, una técnica que se concretizó a nivel industrial en mayo de 2002, cuando se inició la construcción de la primera planta prototipo comercial. Esta instalación contaba con una capacidad aproximada de veinte mil toneladas de cobre fino al año, con una inversión de 60 millones de dólares y a noviembre de 2003, la planta inició el envío de soluciones enriquecidas a través de una cañería de once kilómetros a los pozos de la planta de óxidos de Chuquicamata. Se espera construir a fines del año 2006 una planta escala industrial, la cual entraría en operaciones durante los primeros meses del 2008.

Junto a la labor científica que realizan estas entidades, también destaca la labor que desarrollan los centros de estudios, como por ejemplo la Universidad Católica del Norte, que este año obtuvo 317 millones de pesos de parte del Fondef con el objetivo de realizar una investigación en base a la Biolixiviación de minerales sulfurados de cobre, trabajo que desarrollará la académica del Departamento de Química del Departamento de Química, Cecilia Demergasso.

El desarrollo de la biolixiviación en Chile también posee otros hitos, como cuando en la década del 80, Codelco se enfocó en desarrollar metodologías de biolixiviación, lo que le ha permitido contar en operación

procesos de lixiviación de minerales sulfurados de baja ley en Chuquicamata y operaciones piloto del mismo tipo en los cráteres de las minas de El Teniente y Salvador. A lo anterior, se suma el acuerdo desarrollado en 1997 por la minera estatal y BHP-Billiton, la primera aportando su experiencia en extracción y electroobtención, y BHP-Billiton sus logros en biolixiviación, el cual tuvo como resultado la operación durante cuatro años (hasta el 2001) de una planta piloto en Chuquicamata, la que permitió validar la tecnología.

A nivel internacional son líderes en este campo investigativo el Instituto de Biología Molecular de Barcelona, el Johannesburg Technology Center, la University of Massachusetts Lowell y el Mathematical Bioscience Institute de Ohio, entre otros.

En la actualidad, junto con buscar la manera de hacer más eficiente los procesos de biolixiviación que realizan estas bacterias “mineras”, los investigadores han centrado sus esfuerzos en lograr una solución para uno de los efectos negativos que causa la labor de estos microorganismos: la producción de ácido.

En el noroeste de Estados Unidos existen diversas minas de carbón, en donde la presencia de estas bacterias en las aguas que fluyen por grietas y filtraciones ha producido problemas de acidificación de suelos fértiles, un inconveniente que tal vez más temprano que tarde pueda ser resuelto gracias a la ingeniería genética.

Personas para tener en cuenta

DOCTOR DAVID HOLMES, investigador en el área de la biolixiviación

dsholmes2000@yahoo.com

Se desempeñó en la Universidad de Santiago, trasladándose posteriormente a la Universidad Andrés Bello (UNAB) y sumándose al grupo de investigadores del Instituto Milenio de Biología Fundamental y Aplicada (MIFAB).

El doctor Holmes está desarrollando una investigación destinada a mejorar los genes de *Acidithiobacillus ferrooxidans*, para aumentar su capacidad de biolixiviación. Con el conocimiento que se pueda obtener, se podrán hacer recomendaciones a las empresas para la implementación de nuevas técnicas de biolixiviación, lo que favorecerá a nuestro país como primer productor mundial de cobre y permitirá enfrentar de mejor manera yacimientos cupríferos de baja ley.

JORGE MENACHO

Gerente Técnico de De Re Metallica Ingeniería (DRM) y Presidente del comité organizador de HydroCopper 2005, como es denominada la tercera versión del Taller Internacional del Hidrometalurgia del Cobre, el que se llevará a cabo en noviembre próximo en el Hotel Sheraton Santiago & Centro de Convenciones.