

LIXIVIACION BACTERIANA DE MINERALES SULFURADOS

Principios teóricos

La Biotecnología, o el empleo de sistemas biológicos en los procesos industriales, ha sido usada desde tiempos inmemoriales en la producción de vino, cerveza, pan, en la fabricación de antibióticos y en la industria alimenticia, entre otras aplicaciones. En el sector minero- metalúrgico la biotecnología ha sido utilizada como una herramienta en la disolución y recuperación de los valores metálicos contenidos en los minerales. Mayormente, los procesos microbianos han sido empleados en la lixiviación de cobre y uranio, en el mejoramiento de la extracción de metales preciosos contenidos en sulfuros refractarios, y en el tratamiento de aguas residuales.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

1

La lixiviación bacteriana, también conocida como "biolixiviación", puede ser definida como un proceso natural de disolución, que resulta de la acción de un grupo de bacterias, principalmente del género *thiobacillus*, que tienen la habilidad de oxidar minerales sulfurados, permitiendo la liberación de los valores metálicos contenidos en ellos. Por mucho tiempo, se pensó que la disolución o lixiviación de metales era un proceso netamente químico, mediado por agua y oxígeno atmosférico. El descubrimiento de bacterias acidófilas, ferro y sulfooxidantes, ha sido primordial en la definición de la lixiviación como un proceso catalizado biológicamente

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

2

En términos más globales, se puede decir que la biolixiviación es una tecnología que emplea bacterias específicas para extraer un metal de valor como uranio, cobre, zinc, níquel o cobalto, presente en la mina o en un concentrado mineral. El producto final de la biolixiviación es una solución ácida que contiene el metal en su forma soluble.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

3

La tecnología microbiana presenta algunas ventajas sobre los métodos no biológicos, entre las cuales se pueden mencionar:

- Requiere poca inversión de capital, ya que las bacterias pueden ser aisladas a partir de aguas ácidas de minas.
- Presenta bajos costos en las operaciones hidrometalúrgicas, en comparación con los procesos convencionales.
- Ausencia de polución o contaminación ambiental durante el proceso.
- Permite el tratamiento del creciente stock de minerales de baja ley que no pueden ser económicamente procesados por los métodos tradicionales.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

4

En la biolixiviación se utilizan microorganismos que obtienen su energía de la oxidación de compuestos inorgánicos. Estas son las bacterias quimiolitóautótrofas, literalmente, bacterias que comen piedras. Son organismos extremófilos, es decir, que viven en condiciones extremas, en este caso, las normales de los minerales: pH ácido y altas concentraciones de metales.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

5

Tal como los seres humanos oxidan la glucosa para conseguir energía y a partir de ésta fabrican todos los componentes celulares, las bacterias quimiolitóautótrofas utilizan la oxidación de compuestos inorgánicos para generar todos los componentes de la célula. Esta capacidad metabólica es la que se aprovecha para solubilizar cobre.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

6



Una de estas bacterias es la "Acidithiobacillus ferrooxidans"; su nombre dice varias cosas: "acidithiobacillus" es acidófilo porque crece en pH ácido, es "thio" porque es capaz de oxidar compuestos de azufre, es un "bacillus" porque tiene forma de bastón y "ferrooxi- dans", porque además puede oxidar el hierro.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

7



Este tipo de bacterias 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 hierro, el cual es precipitado sobre el mineral de descarte, lo que permite lograr una disolución más barata y simple.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

8



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 refinera, donde se desarrollan las etapas de extracción por solventes y de electroobtención.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

9

Las bacterias lixivian, es decir, disuelven las rocas o minerales, los solubilizan, por eso el proceso se llama biolixiviación, o lixiviación biológica. El sulfuro de cobre, CuS , es uno de los minerales que pueden ser convertidos en una forma soluble del metal, que en este caso es cobre. Mediante una reacción de oxidación, las bacterias extraen los electrones y disuelven el sulfuro de cobre (CuS), que es sólido, obteniendo una solución de sulfato de cobre (CuSO_4), a partir de la cual se puede recuperar el cobre como metal.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALLURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

10

Avance tecnológico

Los beneficios que pueden entregar estos microorganismos han impulsado un gran desarrollo investigativo en el área, el cual ya ha dado importantes resultados, como en el año 2004, cuando se descubrió una nueva bacteria capaz de biooxidar azufre y hierro. 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.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALLURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

11

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.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALLURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

12

Otro organismo que posee un amplio conocimiento sobre estas bacterias es 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 concretó 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 20 mil toneladas de cobre fino al año, con una inversión de 60 millones de dólares. A noviembre de 2003, la planta inició el envío de soluciones enriquecidas a través de una cañería de 11 kilómetros a los pozos de la planta de óxidos de Chuquicamata.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALLURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

13

Junto a la labor científica que realizan estas entidades, también destacan los trabajos que desarrollan los centros de estudios, por ejemplo, la Universidad Católica del Norte.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALLURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

14

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 con 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 de una planta piloto en Chuquicamata, la que permitió validar la tecnología.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALLURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

15



Los avances en esta área han permitido que en la actualidad se genere cobre a través de la biolixiviación en Chile, con un costo de producción de alrededor de 0,38 dólar por libra y sin que se produzcan emisiones de polvo, dióxido de azufre y arsénico al ambiente.

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, el Mathematical Bioscience Institute de Ohio, entre otros.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALLURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

16



Lixiviación bacteriana de minerales, concentrados y relaves

La posibilidad de aprovechar millones de toneladas de mineral cuprífero de descarte estoqueado a través de decenas de años de operación minera, fue lo que impulsó a los investigadores a buscar nuevos procesos, más baratos y eficientes. Las bacterias lixiviantes permitieron separar el cobre de los minerales sólidos con los que se encontraba mezclado, haciendo rentable su procesamiento.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALLURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

17



La biolixiviación de minerales, concentrados y relaves sulfurados que contienen Au y Cu encapsulados, es un concepto relativamente nuevo en comparación a los procesos de tostación, oxidación a presión y oxidación química, pero rápidamente fue establecido como un pretratamiento alternativo de oxidación viable.

La técnica de oxidación bacteriana empleada para el tratamiento de minerales sulfurados auríferos se fundamenta en la acción efectiva de la bacteria *Thiobacillus ferrooxidans* para oxidar especies reducidas de azufre a sulfato y para oxidar el ion ferroso a ion férrico.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALLURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

18

El *Thiobacillus ferrooxidans* es eficaz en ambiente ácido, aeróbico, móvil y quimioautotrófico, presentándose en forma de bastoncitos de 1-2 micrones de largo por 0.5-1.0 micrones de ancho. Presentan un punto isoeléctrico en torno de 4.0 - 5.0 y se desvuelven en el intervalo de temperatura de 28 °C a 35 °C. La fuente de energía fundamental para el *Thiobacillus ferrooxidans* es el ion Fe^{+2} , pudiendo ser utilizados también el azufre y sus formas reducidas. Usa nutrientes básicos para su metabolismo a base de N, P, K, y como elementos de trazo, Mg y Ca.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

19

La biolixiviación de sulfuros como proceso biohidrometalúrgico involucra un conjunto de reacciones químicas, metabólicas, enzimáticas y no enzimáticas, en las cuales el mineral insoluble es oxidado y otros metales de interés son liberados en solución. Actualmente, los siguientes procesos microbiológicos son de importancia en la hidrometalurgia:

- Oxidación de sulfuros, azufre elemental y hierro ferroso.
- Producción de compuestos orgánicos, peróxidos, etc., por microorganismos organotróficos, los cuales atacan minerales oxidando o reduciendo los elementos con valencia variable.
- Acumulación de elementos químicos o su precipitación por microorganismos.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

20

-Oxidación de hierro (Fe)

La reacción de oxidación del Fe^{+2} se realiza probablemente de acuerdo al esquema siguiente:

$$4\text{Fe}^{+2} + \text{O}_2 + 4\text{H}^+ \rightarrow 4\text{Fe}^{+3} + 2\text{H}_2\text{O} \quad (1)$$

Esta reacción es importante para lixiviación de metales, pues permite la acumulación de biomasa bacteriana en minerales y soluciones, además de obtener una fuerte oxidación de muchos sulfuros y producir un alto potencial redox en el medio.

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

21

La bacteria es capaz de oxidar los siguientes sulfuros:

Pirita y Marcasita (FeS_2)	Petlandita (Fe, Ni) S_8
Pirrotita (FeS)	Violanita (Ni_2FeS_4)
Chalcopirita (CuFeS_2)	Bravoita (Ni, Fe) S_2
Bornita (Cu_3FeS_4)	Polidimita (Ni_3S_4)
Covelita (Cu_2S)	Antimonita (Sb_2S_3)
Tetrahedrita ($\text{Cu}_5\text{Sb}_2\text{S}_{11}$)	Molibdenita (MoS_2)
Enargita (Cu_3AsS_4)	Esferita ó Blenda (ZnS)
Arsenopirita (FeAsS)	Marmatita (ZnS)
Realgar (AsS)	Galena (PbS)
Orpimento (As_2S_3)	Geocronita Pb_2 (Sb, As_2) S_8 , Ga_2S_3
Cobaltita (CoAsS)	Milerita (NiS)

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

22

CUARTO I

MÓDULO 8 (Clase 4 classroom)

PREGUNTAS

- En términos más globales, se puede decir que la biolixiviación es... **(responda brevemente)**
- La tecnología microbiana presenta algunas ventajas sobre los métodos no biológicos, entre las cuales se pueden mencionar: **(nombre 2 aspectos)**
- ¿Qué es BioSigma?
- Actualmente, los procesos microbiológicos son de importancia en la hidrometalurgia: **(nombre 2 procesos)**
- Nombre 5 sulfuros** que la bacteria es capaz de oxidar

ENTREGA RESPUESTAS: REGRESO A CLASES PRESENCIALES entrega a profesor c molina)
Nota trabajo igual a 20% nota final de evaluación no presencial N° 1)

CLASE 4 Módulo 8 HIDROMETALURGIA CUARTO I (Carlos Molina)

23
