



**UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS**

Facultad de Ingeniería y Negocios

Ingeniería en Minas

**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DEL MÉTODO DE BIOLIXIVIACIÓN O  
LIXIVIACIÓN BACTERIANA PARA UNA MEJORA DE PRODUCCIÓN EN  
PLANTA DE PROCESOS DE ENAMI**

Trabajo de Título en conformidad a los requisitos para obtener el Título de  
Ingeniero en Minas

Profesor Guía: Alejandro Hernán Ramírez González

Mario Hans Illanes Contreras

2017

## **Agradecimientos**

En primer lugar le doy las gracias a Dios por permitir estar en esta instancia, después de una larga lucha por llegar a esta posición , fue un largo camino en el cual tuve altos y bajos , pero se logró.

Agradecer a mi madre por confiar plenamente en mi y mantener su esperanza de que algún día lograría ser un profesional, por su constancia, apoyo emocional e incondicional que fueron pilares fundamentales para lograr mis objetivos.

Gracias a mis dos hijos Isidora y Mario , por ser mi motivación constante en éste desafío, ya que en cada decisión , ellos estuvieron en mi mente ayudándome a surgir en mis estudios y no decaer en ningún momento.

También agradecer a mis compañeros de estudio y mi profesor guía Don Alejandro Ramírez, quienes fueron la respuesta a todas mis dudas y carencias o debilidades que tuve , ayudándome en las principales actividades y evaluaciones que tuve durante estos años.

¡A todos Muchas Gracias!

## Resumen

Actualmente en la minería en Chile se ocupan diversos métodos metalúrgicos para la recuperación de cobre, la lixiviación es uno de ellos, éste es un proceso hidrometalúrgico que permite obtener el cobre de los minerales oxidados que lo contienen, esto se realiza aplicando una disolución de ácido sulfúrico y agua. Pero también existe un método similar llamado biolixiviación o lixiviación bacteriana, éste método actualmente está siendo muy observado tanto a nivel nacional, como a nivel mundial, debido a muchos factores que se darán a conocer, entre estos factores se puede apreciar que estos microorganismos “las bacterias” permiten extraer cobre a partir de minerales sulfurados de baja ley de manera eficiente y a un costo muy reducido y sin dañar el medio ambiente.

Desde la década de los 60, cuando se concretó la primera aplicación industrial exitosa de la lixiviación bacteriana para el tratamiento de los minerales de cobre de baja ley en botaderos (dump leaching), esta tecnología ha jugado un rol cada vez más importante en la industria minera del cobre. La lixiviación bacteriana en botaderos permitió recuperar el cobre desde materiales de descarte que no podían ser tratados económicamente con las tecnologías convencionales. Su desarrollo alcanzó entonces un gran impacto ya que permitió incorporar como reservas los millones de toneladas de minerales de descarte acumulados en diversas minas de cobre del mundo a través de largos años de explotación.

Posteriormente, a comienzos de los 80, la lixiviación bacteriana se comenzó a aplicar comercialmente en el tratamiento de minerales de cobre secundarios mediante lixiviación pilas. En este caso quedó demostrado que la lixiviación bacteriana podía constituir para estos minerales una alternativa más económica que el procedimiento convencional de tratamiento vía concentración-fusión. La primera aplicación comercial de lixiviación bacteriana en pilas fue en Chile, en la planta Lo Aguirre, con la tecnología desarrollada por el grupo de la Minera Pudahuel.

## **Abstract**

Currently in the mining in Chile several metallurgical methods are used for the recovery of copper, the leaching is one of them, this is a hydrometallurgical process that allows to obtain the copper of the oxidized minerals that contain it, this is realized applying a dissolution of acid Sulfuric and water. But there is also a similar method called bioleaching or bacterial leaching, this method is currently being widely observed both nationally and globally, due to many factors that will be known, among these factors can be seen that these microorganisms " Bacteria "allow copper to be extracted from low-sulfur minerals efficiently and at a very low cost without damaging the environment.

Since the 1960s, when the first successful industrial application of bacterial leaching to the treatment of low-grade copper minerals in dump leaching took place, this technology has played an increasingly important role in the industry Copper mining. Bacterial leaching in dumps allowed the recovery of copper from waste materials that could not be economically treated with conventional technologies. Its development then had a great impact since it allowed to incorporate as reserves the Millions of tons of discard minerals accumulated in various mines of copper throughout the world through long years of exploitation.

Subsequently, in the early 1980s, bacterial leaching began to be commercially applied in the treatment of secondary copper minerals by leaching piles. In this case, it was demonstrated that bacterial leaching could be a cheaper alternative to these minerals than the conventional concentration-melting process. The first commercial application of bacterial leaching in piles was in Chile at the Lo Aguirre plant, with the technology developed by the mining group Pudahuel.

## Tabla de contenido

<b>Capítulo I</b> .....	<b>7</b>
Objetivos .....	7
Objetivos generales .....	7
Objetivos específicos .....	7
Localización.....	8
Ubicación.....	8
Figura 1 localización satelital Planta de procesos Manuel Antonio Matta (ENAMI) .....	8
Fuente Google Maps .....	8
<b>ANTECEDENTES DE LA EMPRESA</b> .....	<b>9</b>
-Nombre de la Planta: .....	9
-Razón Social: .....	9
-Rut:.....	9
-Giro de la Empresa: .....	9
-Representante Legal:.....	9
Numero Trabajadores: .....	9
Principales destinos de venta de cátodos de cobre y ácido sulfúrico: .....	9
<b>Capítulo II</b> .....	<b>10</b>
Introducción .....	10
<b>Capitulo III</b> .....	<b>11</b>
Planteamiento del problema.....	11
<b>Capítulo IV</b> .....	<b>12</b>
Antecedentes Generales.....	12
<b>Capítulo v</b> .....	<b>14</b>
Marco teórico.....	14
¿Como es una bacteria?, análisis de su composición y estructura .....	15
Figura 3 Estructura de una bacteria, fuente Codelco .....	15
Figura 4 bacteria Acidithiobacillus ferrooxidans, fuente Codelco .....	16
Ventajas y desventajas de la biolixiviación .....	17
<b>Capítulo VI</b> .....	<b>18</b>
Metodología.....	18
<b>Capítulo VII</b> .....	<b>19</b>
Presentación del proyecto y fundamentos del proceso de biolixiviación .....	19
Fundamentos de la Biolixiviación .....	19
Solución lixivante:.....	20
Tabla 1, microorganismos, fuente U. de Chile.....	21
Metodología del método de biolixiviación de minerales de cobre en Pilas .....	22
Aireación .....	23
Figura5 pila de biolixiviación, fuente Creces(ciencia y tecnología). .....	23
Optimización de la actividad oxidativa bacteriana.....	24
Figura 6 rípios lixiviados, fuente CODELCO.....	24
Control de la temperatura.....	26
Determinaciones de la metodología de Biolixiviación a través de Bacterias .....	29
Variables del proyecto.....	31

<b>Capítulo VIII.....</b>	<b>32</b>
Desarrollo del proyecto .....	32
1.-Preparación del terreno para la biolixiviación en planta Matta .....	35
<b>Capítulo IX.....</b>	<b>41</b>
Análisis Económico .....	41
Costos de inversión en Materiales de producción de las 4 pilas con un total de 38.400 mt2.....	43
Resultados del cálculo anual de inversión y costos de remuneraciones e insumos .....	47
<b>Flujo de Caja .....</b>	<b>48</b>
Resultados flujo de caja .....	49
<b>Obra financiada por la Empresa Nacional de Minería (ENAMI) .....</b>	<b>50</b>
<b>GUIA METODOLOGICA DE SEGURIDAD PARA PROYECTOS DE PLANTAS DE LIXIVIACION, EXTRACCION POR SOLVENTES Y ELECTROOBTENCION PARA MINERALES DE COBRE (LIX-SX-EW) .....</b>	<b>51</b>
Introducción.....	51
Presentación del proyecto.....	52
Descripción del Proyecto.....	53
2.1 Descripción General. ....	54
<b>3. Plan de Cierre .....</b>	<b>59</b>
3.2 Pilas y Depósitos de Ripios de Lixiviación: .....	60
<b>4. Anexos .....</b>	<b>61</b>
<b>Conclusión.....</b>	<b>62</b>
<b>Bibliografía y Linkografía .....</b>	<b>63</b>

# Capítulo I

## Objetivos

### Objetivos generales

- 1.-Realizar un análisis técnico-económico del método de biolixiviación en planta de proceso Manuel Antonio Matta.
- 2.-Recuperación de cobre de los botaderos y acopios de baja ley, de esa forma obtener utilidades adicionales a través del proceso.

### Objetivos específicos

- 1.-Lograr un 80% de recuperación de cobre fino en los botaderos que existen actualmente en la planta de procesos José Antonio Matta en Paipote con el método de biolixiviación asesorado por la empresa SGS CHILE( expertos en biolixiviación), de esa forma se espera disminuir el impacto ambiental y obtener utilidades adicionales.
- 2.- Permitir que la Empresa Nacional de Minería (ENAMI) disminuya el porcentaje de ley de compra a los pequeños y medianos mineros del norte grande, de esa forma se fomenta la producción de los empresarios y se disminuye de un 1.5 a un 0.5 % de ley y a través de este método de biolixiviación poder recuperar el mineral de baja ley, que muchas veces es desperdiciado o enviado a botaderos.
- 3.-Crear mas empleos en la zona, exactamente un 37% de aumento de empleabilidad de 90 trabajadores a 124 en total. (34 en proyecto de biolixiviación)
- 4.- Disminuir el consumo de agua y energía eléctrica y a su vez comenzar a utilizar el proceso de biolixiviación para la obtención de metales de sus sulfuros minerales y poder con el tiempo reemplazar en parte el proceso de flotación.

## Localización

### Ubicación

La Planta de Beneficio Manuel Antonio Matta se ubica en la localidad de Paipote, ciudad de Copiapó, a menos de mil metros de la Fundación Hernán Videla Lira.



**Figura 1 localización satelital Planta de procesos Manuel Antonio Matta (ENAMI)**

**Fuente Google Maps**



**Figura 2 vista satelital exacta de planta Manuel Antonio Matta (ENAMI)**

**Fuente Google Earth**



## **ANTECEDENTES DE LA EMPRESA**

### **-Nombre de la Planta:**

Manuel Antonio Matta Ruiz

### **-Razón Social:**

EMPRESA NACIONAL DE MINERIA – SUCURSAL MANUEL ANTONIO MATTA RUIZ

### **-Nombre de Fantasía:**

ENAMI

### **-Rut:**

61703000 - 4

### **-Giro de la Empresa:**

FABRICACIÓN DE PRODUCTOS PRIMARIOS DE METALES PRECIOSOS Y DE OTROS METALES NO FERROSOS N.C.P.

VENTA AL POR MAYOR DE OTROS PRODUCTOS N.C.P

### **-Representante Legal:**

Carlos Plaza Tello

### **Numero Trabajadores:**

90 trabajadores, excluyendo asesorías contratistas

### **Principales destinos de venta de cátodos de cobre y ácido sulfúrico:**

-China en un 51,6%

-Brasil en un 21,3%

-Taiwán en un 11,9%

-Mediana Minería en Chile en un 13,2%

## Capítulo II

### Introducción

La importancia económica de la producción de cobre en Chile impulsa el óptimo aprovechamiento de los recursos minerales explotados. El cobre se presenta fundamentalmente en dos formas: como minerales oxidados y como minerales sulfurados. Los primeros son fácilmente solubles por lo que son tratados por medio de lixiviación acida, mientras que los minerales sulfurados, principalmente calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), calcosina ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) y covelina ( $\text{CuS}$ ) en Chile, son insolubles incluso en ácidos concentrados. Es en este contexto que la biolixiviación o lixiviación bacteriana se presenta como una opción para recuperar metales de interés a través de su solubilización bajo la acción directa o indirecta de microorganismos desde, por ejemplo, botaderos y pilas.

Dependiendo de la composición del mineral sulfurado, la biolixiviación es una alternativa ventajosa con respecto a las tecnologías pirometalúrgicas. Si bien la lixiviación bacteriana es más lenta que la pirometalurgia en cuanto a la velocidad de obtención del metal, demanda menores inversiones de capital y menores costos de operación. Además se presenta como una tecnología más limpia que las practicadas comúnmente, debido a que no se emite  $\text{SO}_2$  al ambiente en su periodo de operación.

Este proceso se quiere implementar en una de las plantas de la EMPRESA NACIONAL DE MINERIA (ENAMI), esta es Manuel Antonio Matta, la que posee la producción de sulfuros y óxidos más grande de ENAMI, al realizar la biolixiviación se estará promoviendo una mayor cantidad de empleos en la zona, se impulsa una disminución en el impacto ambiental, y finalmente una nueva fuente de ingresos a través del proceso que aumentaría las utilidades aprovechando las menas de sulfuros y el mineral de baja ley que es desperdiciado y a su vez produce un fuerte impacto ambiental.

## Capítulo III

### Planteamiento del problema

La Empresa Nacional de Minería actualmente posee 5 plantas de procesos, en las cuales se procesan óxidos y sulfuros, al implementarse la biolixiviación en estas plantas, el porcentaje de recuperación de cobre se estima que alcanzaría un 80% como máximo en las menas y acopios de baja ley ya que a través de un estudio y pruebas realizadas en Radomiro Tomic (división Codelco) se obtuvieron excelentes resultados y ese fue el porcentaje de aumento de recuperación de cobre fino, que en ocasiones alcanzaba niveles de un 80% de mejora en su recuperación, todo esto se realizó por medio de una empresa llamada "BIOSIGMA", la cual creó esta tecnología industrial y la aplicó en CODELCO. Este método ya utilizado en Chile ayudaría a resolver la problemática que se desarrolla a lo largo del país respecto al impacto ambiental en el sector minero y a su vez nace un nicho de mercado en la empresa estatal para la extracción de cobre en sulfuros de baja ley.

Al realizar la implementación de bacterias a través de la biolixiviación se estaría solucionando un gran problema que actualmente vive esta empresa, ya que los reportes y estado de resultados han sido a través de años con resultados negativos, por lo tanto esto termina afectando a aquellos pequeños y medianos mineros quienes viven de la venta del mineral a la empresa estatal. Al someter a las 5 plantas de ENAMI en el proceso de lixiviación bacteriana se esperan obtener resultados positivos e invertir los resultados negativos que indican los números en sus finanzas, ya que se espera recuperar en demasía todo el mineral de baja ley que se puede extraer de minerales de baja ley y de alto nivel de impureza y además de los relaves. Cabe mencionar que la empresa nacional de minería es una empresa sin fines de lucro que solo busca fomentar el trabajo de aquellos pequeños mineros, pero que al demostrarse un aumento en su producción y altos niveles de recuperación, ayudaría enormemente a quienes proveen el mineral, ya que al mantenerse sólida la empresa, le permite comprar más óxidos y sulfuros a sus proveedores.

## Capítulo IV

### Antecedentes Generales

Durante el transcurso del desarrollo de la civilización se ha requerido el uso de materiales metálicos con el fin de mejorar el bienestar social. Con el tiempo se han desarrollado variadas técnicas innovadoras para mejorar la producción de éstos. En el caso del cobre, su explotación a gran escala en Chile se produce en el siglo XIX, estimulada por la apertura de la economía nacional y dados los avances logrados tras la Revolución Industrial.

En un principio la explotación de cobre sólo se limitaba a los minerales de una alta ley de cobre, mientras que los de baja ley eran depositados cerca de los yacimientos, junto con los residuos provenientes de la flotación y relaves. Sin embargo, a partir de la década del setenta, la metalurgia extractiva se ha visto enfrentada a una fuerte crisis causada por el incremento de los costos de energía y mano de obra, junto con ello, las menas naturales presentan menores leyes de cobre, comenzándose a ver entonces el agotamiento de las reservas de dicho mineral. Es por lo anterior que comienza a ser necesaria la utilización de nuevas materias primas tales como los sulfuros metálicos, y dada la gran acumulación de dichos recursos de baja ley se hace necesaria la búsqueda de nuevas técnicas rentables y eficientes para la recuperación de cobre desde estos.

Mediante métodos pirometalúrgicos es posible la extracción de cobre desde minerales sulfurados; no obstante, los procesos necesarios para ello son altamente contaminantes debido a la emisión de SO<sub>2</sub>, contribuyendo así al problema de la lluvia ácida. Dada la política medioambiental existente y la necesidad de reducir los elevados costos de inversión y de operación que conllevan los procesos convencionales, surgen los procesos hidrometalúrgicos como una alternativa novedosa; sin embargo, estos requieren elevados consumos de reactivos lixiviantes, altas presiones y temperaturas de operación, junto con elevados costos de operación de la molienda final.

Es entonces necesario el desarrollo de nuevas técnicas que sean tan eficientes como rentables y limpias. Dada esta búsqueda, fueron encontradas en los minerales ciertas bacterias catalizadoras de la lixiviación de los minerales sulfurados, haciendo rentable su procesamiento y por tanto convirtiéndolos en reservas minerales económicamente explotable.

La demanda de cobre refinado a fines del año 2010 alcanzó los 19,18 millones de toneladas métricas, mientras que la producción chilena de mina habría totalizado los 5,4 millones de TM. En cuanto a su precio en la Bolsa de Metales de Londres, este alcanzó un promedio de US\$3,42 la libra.

Lo anterior refleja la gran importancia económica del cobre, pues si bien la participación en el Producto Interno Bruto nacional de la minería del cobre bordea aproximadamente el 6% desde el año 2003, el aporte de CODELCO y ENAMI representan aproximadamente el 15% del total de ingresos fiscales. De esta forma, es relevante mantener las metas de producción, lo cual se ve dificultado por el agotamiento de los recursos de mayores leyes de cobre, siendo necesario el aporte de nuevas tecnologías como es la lixiviación biológica. Actualmente, se estima que por medio de esta alternativa de procesamiento, se recuperan anualmente unos 555 mil toneladas de cobre fino, equivalentes al 10,4% de la producción total de cobre.

## Capítulo v

### Marco teórico

La biolixiviación o lixiviación bacteriana es un proceso natural de disolución, ejecutado por un grupo de bacterias 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 el agua y oxígeno atmosférico.

El descubrimiento de bacterias acidófilas, ferro y sulfoxidantes, ha sido primordial en la definición de la lixiviación como un proceso catalizado biológicamente.

En términos generales, 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 metal en su forma soluble.

Los microorganismos más estudiados en estos procesos, son bacterias.

Entre esas bacterias destacan:

-THIOBACILLUS FERROXIDANS

-THIOBACILLUS THIOOXIDANS

-LEPTOSPIRILUM FERROOXIDANS

Estas tres bacterias son mesófilas, es decir, crecen entre 5° y 45°, y acidófilas, ya que soportan vivir en medios cuyo PH oscile entre 1.5 y 3.5.

Básicamente existen 2 mecanismos químicos:

Mecanismos directos e indirectos

## ¿Como es una bacteria?, análisis de su composición y estructura

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

Tal como los seres humanos oxidan la glucosa para conseguir energía y a partir de ésta fabrican todos los componentes celulares, estas bacterias quimiolitotróficas 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.

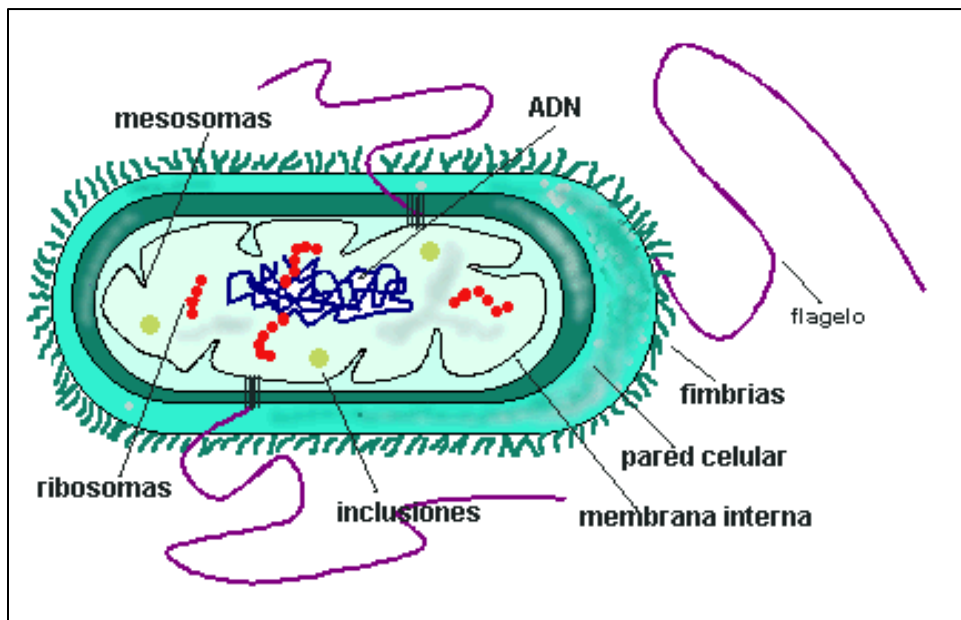
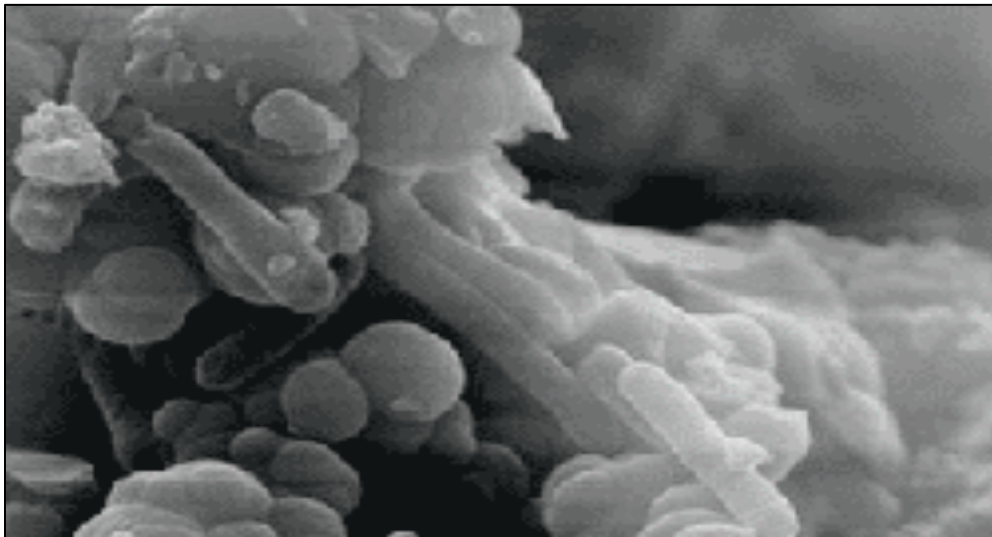


Figura 3 Estructura de una bacteria, fuente Codelco

La más conocida es la “Acidithiobacillus ferrooxidans”; su nombre nos indica 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 “ferrooxidans”, porque además puede oxidar el fierro.

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.

Las bacterias lixivian (disuelven), las rocas o minerales y 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. 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<sub>4</sub>) a partir de la cual se puede recuperar el cobre como metal.



**Figura 4 bacteria Acidithiobacillus ferrooxidans, fuente Codelco**



## **Ventajas y desventajas de la biolixiviación**

### **Ventajas:**

- Permite tratar minerales metálicos, cuya ley (proporción de metal en el mineral) sea inferior a 0.5%
- Ausencia de contaminación por gases de azufre
- No existe consumo de ácido como agente lixivante, ya que las bacterias producen ácido en su metabolismo
- Fácil extracción de los compuestos del metal lixiviado para su posterior tratamiento y obtención del metal en estado de oxidación cero.
- Menos consumo de energía eléctrica, ya que en el proceso la temperatura nunca excede de los 100<sup>o</sup>c

### **Posibles Desventajas:**

- El proceso es más lento que el de lixiviación convencional, aproximadamente para lograr un 80% de recuperación demora 350 días.
- Actualmente solo aplicable por motivos económicos, a metales cuyo valor en el mercado, sea elevado: cobre, oro, uranio, entre otros

## Capítulo VI

### Metodología

Para hacer efectivo este proyecto se necesitara la ayuda de la empresa analista bioquímica SGS CHILE (expertos en Chile en el proceso de biolixiviación) , el proyecto estará basado de acuerdo a las pruebas que se realizaron por la empresa “BIOSIGMA” (propiedad de CODELCO) la cual llevo a cabo la labor en la división Radomiro Tomic, con el apoyo de esta empresa y a su vez laboratorio llamado BIOSIGMA y los estudios de factibilidad promovidos por SGS CHILE se comenzarán a realizar labores en primer lugar en la planta Manuel Antonio Matta ubicada en Paipote, la cual posee 2 líneas de producción : la primera para procesar minerales sulfurados con una capacidad de 100.000 ton/mes a través del método de flotación y la segunda de minerales oxidados con una capacidad de 50.000 ton/mes(lix-sx-ew). Con una producción estimativa mensual de 600 toneladas por mes de cátodos y ánodos de cobre de alta pureza de un 99,999 % de Cu.

Cabe mencionar que esta es una opción sustentable que usa 6 veces menos cantidad de agua y 3 veces menos energía eléctrica que el proceso de flotación de sulfuros. Por lo tanto durante todo el proyecto a realizar, estará funcionando en conjunto y en ayuda con el medio ambiente que es uno de los principales problemas que acomplejan los proyectos vinculados a la minería, éste proceso buscara recuperar metales de menas de sulfuros de baja ley y a su vez obtener un beneficio económico a través de su recuperación.

## **Capítulo VII**

### **Presentación del proyecto y fundamentos del proceso de biolixiviación**

En los siguientes pasos se muestra de una manera general el proceso de cómo funciona la biolixiviación a través de Bacterias;

#### **Fundamentos de la Biolixiviación**

La recuperación de cobre desde un mineral sulfurado por la vía hidrometalúrgica requiere de la disolución de las especies sulfuradas de cobre contenidas en el mineral. Para lograr esto es necesario lixiviar el mineral en ambiente ácido y en presencia de un agente oxidante, el cual al reducirse capta electrones desde el mineral y posibilita así el rompimiento de su estructura.

La disolución de los sulfuros minerales en condiciones ambientales es termodinámicamente posible en la presencia del oxígeno del aire. La utilización del oxígeno, que es un reactivo con alto potencial oxidativo pero cinéticamente no muy efectivo en condiciones ambientales, se concretiza indirectamente mediante la incorporación del par redox intermedio  $Fe^{+3}/Fe^{+2}$  presente en las soluciones lixiviantes.

De este modo el proceso involucra el siguiente ciclo de reacciones:

a) En una primera etapa se requiere que el oxígeno se disuelva en la

**Solución lixiviante:**

1.-  $O_2$  (aire)  $\rightarrow$   $O_2$  (solución)

b) El oxígeno en solución oxida al ión ferroso disuelto de acuerdo a la reacción:

2.-  $\frac{1}{2} O_2$  (sol) +  $2 Fe^{+2}$  +  $2 H^+$   $\rightarrow$   $2 Fe^{+3}$  +  $H_2O$

c) El ión férrico lixivia químicamente a los sulfuros de cobre presentes, que se pueden tipificar aquí en el  $CuS$ , de acuerdo a la reacción:

3.-  $2 Fe^{+3}$  +  $CuS$   $\rightarrow$   $2 Fe^{+2}$  +  $Cu^{+2}$  +  $S$

De estas reacciones se ve que el hierro es un portador de carga intermedio que es continuamente oxidado y reducido, de modo que la reacción global neta es:

4.-  $CuS$  +  $\frac{1}{2} O_2$  +  $2 H^+$   $\rightarrow$   $Cu^{+2}$  +  $S$  +  $H_2O$

La lixiviación de sulfuros minerales en base a la cadena de reacciones (1-4) ocurre espontáneamente en soluciones ácidas aireadas, pero la velocidad de disolución del mineral en soluciones abióticas es muy lenta como para ser de interés comercial. Sin embargo, la velocidad de lixiviación del mineral es fuertemente catalizada en la presencia de ciertos microorganismos lixiviantes acidófilos, es decir que son activos y crecen en medio ácido, y autótrofos, es decir para crecer utilizan carbón proveniente del CO<sub>2</sub> del aire. En la Tabla 1 se incluye una lista de los principales microorganismos utilizados detallando el rango de temperatura y acidez en que operan y los sustratos que utilizan.

MICROORGANISMO	FUENTE ENERGETICA	pH	TEMPERATURA (°C)
<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	Fe <sup>+2</sup> , U <sup>+4</sup> , S <sup>0</sup>	1.5	25 - 35
<i>Thiobacillus thiooxidans</i>	S <sup>0</sup>	2.0	25 - 35
<i>Leptospirillum ferrooxidans</i>	Fe <sup>+2</sup>	1.5	25 - 35
<i>Sulfolobus</i>	S <sup>0</sup> , Fe <sup>+2</sup> , C orgánico	2.0	> a 60
<i>Acidiphilium cryptum</i>	C orgánico	2.0	25 - 35
<i>Th. intermedius</i>	S <sup>0</sup> , S <sup>-2</sup> , C orgánico	2.5	30
<i>Th. napolitanus</i>	S <sup>0</sup> , S <sup>-2</sup>	2.8	30
<i>Th. acidophilus</i>	S <sup>0</sup> , S <sup>-2</sup>	3.0	
<i>Th. thioparus</i>	S <sup>0</sup> , S <sup>-2</sup>	3.5	
<i>Thiobacillus TH2 y TH3</i>	Fe <sup>+2</sup> , S <sup>-2</sup>	6.0	50
<i>Metallogenium sp.</i>	Fe <sup>+2</sup>	4.5	
Heterotrofos	C orgánico		25 - 40

**Tabla 1, microorganismos, fuente U. de Chile**

## **Metodología del método de biolixiviación de minerales de cobre en Pilas**

El proceso de biolixiviación en pilas es muy flexible en cuanto a la escala de producción. Se tienen plantas Bio LIX-SX-EW (lixiviación, extracción por solventes, electrowining) con grandes producciones, en el orden de 100.000 ton/año de cátodos, o de pequeña escala, 10.000 ton/año de cátodos, todas las cuales operan rentablemente. La altura de las pilas es usualmente entre 6 y 8 metros. El mineral es previamente chancado a  $-1/2''$  ó  $-3/8''$ . En la práctica más convencional el mineral es previamente curado con ácido y aglomerado en tambores de modo de producir un lecho de buena permeabilidad gaseosa y mejorar la distribución de solución percolante. Una alternativa también usada es la previa remoción de los finos del mineral chancado, los que se derivan a procesos alternativos. Las pilas se irrigan por goteo y/o aspersion con solución ácida recirculada desde SX (extracción por solvente), con flujos de 10 a 30 lt/hr por metro cuadrado. Los períodos de irrigación son combinados con períodos de reposo (irrigación detenida), variando la duración de ambos según la planta. La solución cargada con cobre se recolecta en tubos y/o carpetas recolectoras posicionadas adecuadamente en la zona inferior de la pila. La fracción más importante de la población bacteriana se encuentra retenida en el lecho de mineral, ya sea adherida a la superficie de las partículas o presente en la solución intersticial retenida capilarmente en los aglomerados.

## Aireación

Para que una pila opere eficientemente en el lecho de mineral deben estar presentes las 3 fases: sólido (el mineral), líquido (la solución lixivante), y gas (el aire). Solo de este modo se tiene una adecuada área de interface gas/líquido para la transferencia de oxígeno a la solución y la eficiente oxidación del ión ferroso en presencia bacterias. Está claro que el inadecuado suministro de aire o solución en alguna zona del lecho imposibilita el proceso de lixiviación localmente y contribuye a disminuir la eficiencia del proceso.

En las primeras operaciones de “lixiviación bacteriana” en pilas se operará utilizando solo aireación natural. En este caso el suministro de oxígeno al seno del lecho mineral debería ocurrir por los siguientes mecanismos principales:

- convección natural ascendente en los taludes de la pila
- convección natural ascendente en la base de la pila desde los tubos recolectores de solución ubicados en la base de la pila
- difusión de oxígeno desde la superficie superior de la pila.

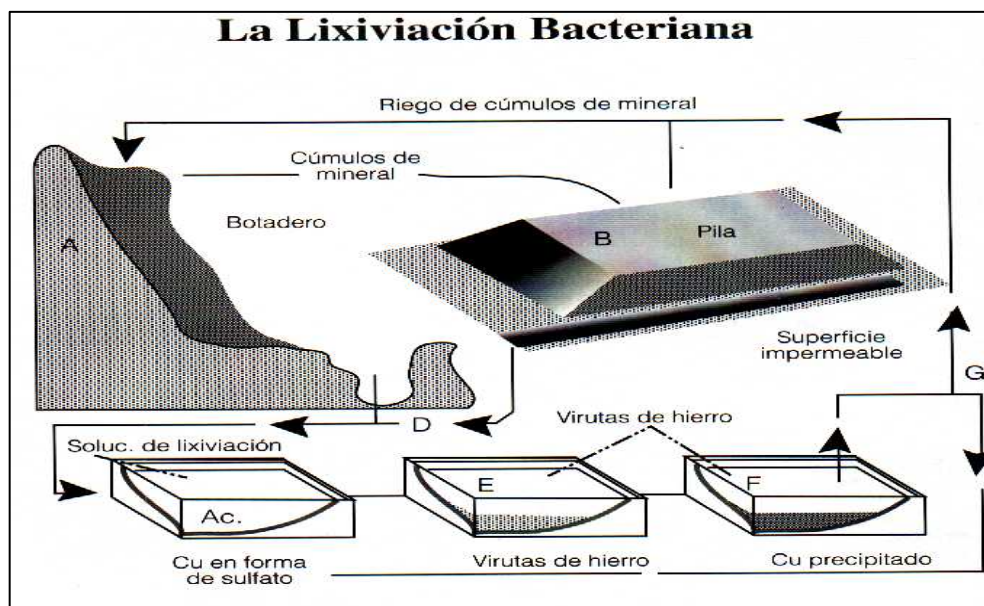


Figura5 pila de biolixiviación, fuente Creces (ciencia y tecnología).

## Optimización de la actividad oxidativa bacteriana

Para tener un impacto adecuado de la catálisis bacteriana la población bacteriana debe ser suficientemente grande y activa como para mantener el hierro disuelto como ión férrico. Poblaciones del orden de  $10^8$ - $10^9$  bacterias/kg mineral se consideran usualmente valores adecuados. Sin embargo, se ha observado que en la práctica operacional se puede obtener valores mucho menores, lo que indica que no se han creado condiciones para un adecuado poblamiento del mineral. A este respecto hay que considerar que el proceso inicial de curado, en que el mineral es expuesto momentáneamente a concentraciones de ácido del orden de 50 g/l puede tener un efecto inhibitorio sobre el crecimiento de cualquier microflora inicialmente presente en el mineral. Una vez que el mineral está en la pila es en parte colonizado por las bacterias presentes en la solución lixivante recirculante, acumuladas en los ciclos anteriores. Sin embargo, este proceso puede ser lento ya que la población sobrenadante recirculante es fuertemente reducida al paso de la solución por SX. En algunos casos es recomendable evaluar la inoculación adicional del lecho, la que se puede efectuar mediante la irrigación de soluciones bacteriales crecidas en reactores ad-hoc o incorporando en el lecho del mineral una fracción de los rípios ya lixiviados, poblados con bacterias.

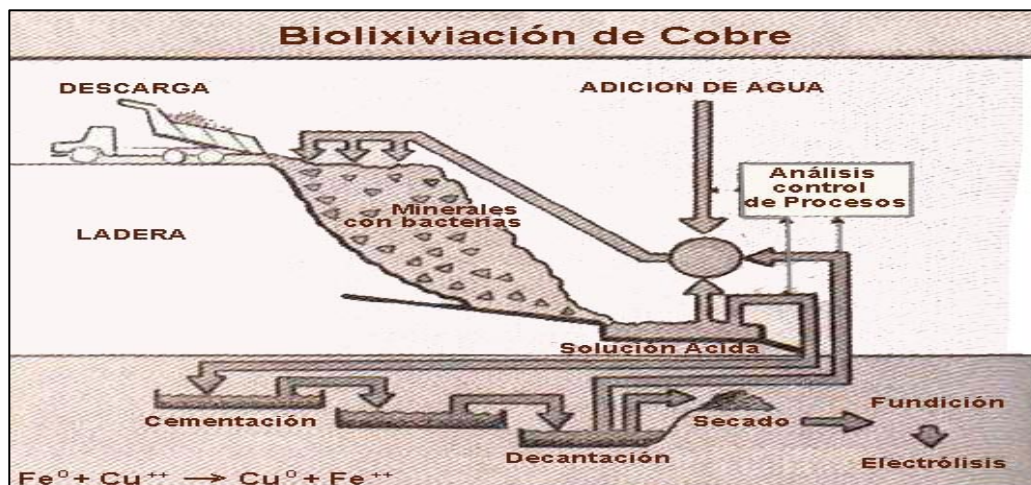


Figura 6 rípios lixiviados, fuente CODELCO



En las plantas de biolixiviación las soluciones lixiviantes circulan en circuito cerrado entre las pilas y SX, siendo el único drenaje la solución retirada como humedad contenida en los rípios lixiviados retirados del circuito (aproximadamente 120 lt/ton mineral). Este tipo de operación resulta en el aumento de la fuerza iónica de la solución por acumulación de iones provenientes de la disolución de la ganga del mineral.

El anión mayoritario es el ión sulfato y los cationes mayoritarios son usualmente aluminio, hierro, magnesio, manganeso, etc. Se ha comprobado que la actividad oxidativa bacteriana comienza a ser parcialmente inhibida cuando las soluciones de sulfato están por sobre 50 g/l. La inhibición es prácticamente completa si la concentración de este ión sobrepasa los 100 g/l. La concentración estacionaria de ión sulfato está determinada directamente por el agregado de ácido al sistema, en particular el incorporado en la etapa de curado. Del balance global del circuito se puede estimar, por ejemplo, que si en el curado se agregan sólo 10 kg ácido/ton mineral, la concentración estacionaria de sulfato en el circuito puede alcanzar a 84 g/l. De este ejemplo se deduce la importancia de revisar las necesidades de ácido en el curado, ya que el agregado indiscriminado de este reactivo en esta etapa puede resultar en una sub utilización del poder catalítico de los microorganismos lixiviantes en el proceso.

## **Control de la temperatura**

La actividad oxidativa de los microorganismos lixiviantes es influenciada por la temperatura. Por ejemplo, *Acidithiobacillus ferrooxidans* y *Acidithiobacillus thiooxidans* crecen de manera óptima a 20 - 25 °C y se sabe que su actividad decae prácticamente un 50% por cada 7 °C de caída de la temperatura.

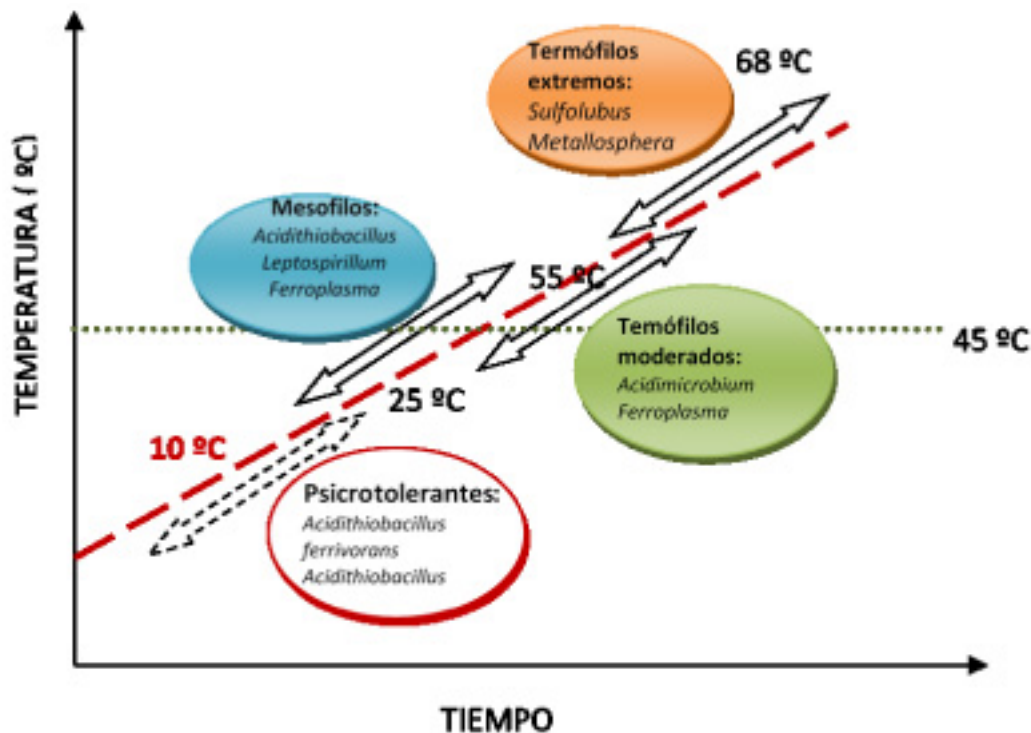
La temperatura dentro de una pila está generalmente determinada por los siguientes factores principales: el clima local (temperatura, ambiente, radiación solar, velocidad del viento), velocidad de evaporación, calor de reacción de los procesos oxidativos, temperatura solución de irrigación, régimen y flujos de irrigación, velocidad de aireación.

La evaporación es un aspecto particularmente importante en el balance de calor de una pila y es afectado por factores como los flujos y régimen de irrigación, temperaturas de la pila y las soluciones y por las condiciones climáticas locales. La aireación, si bien es recomendable dado su efecto positivo sobre la oxigenación y población bacteriana del lecho, debe aplicarse con mesura dado el enfriamiento que puede ocasionar la evaporación que produce en el interior del lecho.

En la irrigación, la evaporación se puede minimizar usando el sistema de drippers que evita el enfriamiento de las pilas incluso en climas templados. En la operación de Quebrada Blanca, por ejemplo, el uso de drippers, el calentamiento del aglomerado, y conjugado con el uso de aislamiento térmico de las pilas, resultó en una operación a 20° C en una zona climática en donde la temperatura promedio es 5 °C.

La producción de calor asociada a la naturaleza exotérmica de las reacciones de lixiviación puede ser significativa solo cuando importantes cantidades de sulfuros se oxidan en períodos de tiempo relativamente cortos. En este contexto, el contenido de pirita del mineral tiene un rol determinante dado la gran exotermicidad asociada a la oxidación de este sulfuro. También el uso de altas concentraciones de sulfuro por unidad de lecho favorece la generación de calor, como es el caso del proceso Geocoat que opera con pilas de mineral enriquecidas con una capa superficial de concentrado. La acumulación del calor generado en las reacciones de oxidación se puede optimizar también si se controla adecuadamente la irrigación de soluciones y la aireación. Trabajos de modelación han demostrado que el alto de la pila es un factor que también ayuda a la temperatura de las pila, encontrándose que esta aumenta con el cuadrado del alto de la pila.

El control y optimización de la temperatura en pilas de biolixiviación se está explorando particularmente en relación con la aplicación de este proceso al tratamiento de minerales calcopiríticos, sulfuro que se lixivia más eficientemente con microorganismos termófilos. La idea es que las pilas se calienten inicialmente en base a la acción oxidativa de los organismos mesófilos, que operan a 20 - 30 °C. En la medida que la temperatura de las pilas aumenta sobre 40 °C, los mesófilos son desplazados por termófilos moderados que operan a 40 -60 °C y oxidan ferroso y azufre. Los termófilos moderados pueden desplazar eventualmente a los termófilos extremos si se llega a temperaturas sobre 60 °C. El cálculo en base a modelos indica que la temperatura que se alcance cuando se traten minerales calcopirita en pilas solo será suficiente para activar a los termófilos moderados. Sin embargo, la lixiviación con este tipo de microorganismo ya ofrece una importante ventaja en relación a la operación con mesófilos a temperatura ambiente, en la cual este mineral se pasiva obteniéndose muy bajas recuperaciones. (ver fig.)



**Gráfico 1, temperaturas por tipo de bacterias, fuente Pontificia U. Católica de Chile**

## **Determinaciones de la metodología de Biolixiviación a través de Bacterias**

Con los criterios actuales de diseño y operación con esta tecnología es posible recuperar desde estos minerales entre el 75 y 95% del cobre contenido en períodos de lixiviación que oscilan entre 6 y 12 meses, en el caso de operar con el proceso en la planta principal de ENAMI se espera que el proceso dure aproximadamente 120 días, 4 meses aproximadamente , ya que el concentrado de baja ley es inferior al de las plantas con lo que se ha realizado el estudio, además se espera la obtención de un 80%de recuperación en un principio de cobre de 0.4% de ley, debido a los estudios de factibilidad y estimación que se comenzaran a realizar a través de la empresa asesora SGS CHILE.

Sin embargo, en muchos casos las plantas operan con eficiencias por debajo de las estimadas en las etapas de diseño. Para mejorar en forma sistemática la eficiencia del proceso a nivel industrial se requiere afianzar los criterios de diseño y operación del proceso.

En particular:

- a) se debe determinar más rigurosamente en el diseño de cada operación las condiciones que permiten maximizar la actividad y población de los microorganismos lixiviantes
- b) la optimización del suministro adecuado de oxígeno al lecho requiere de un mejor control del proceso de aglomeración del mineral y de construcción del lecho de la pila de modo de minimizar la formación de la zona de saturación.

A continuación se muestran 2 tipos de bacterias y el control de estéril con determinantes en porcentaje de recuperación y días de transcurso, (ver gráfico)

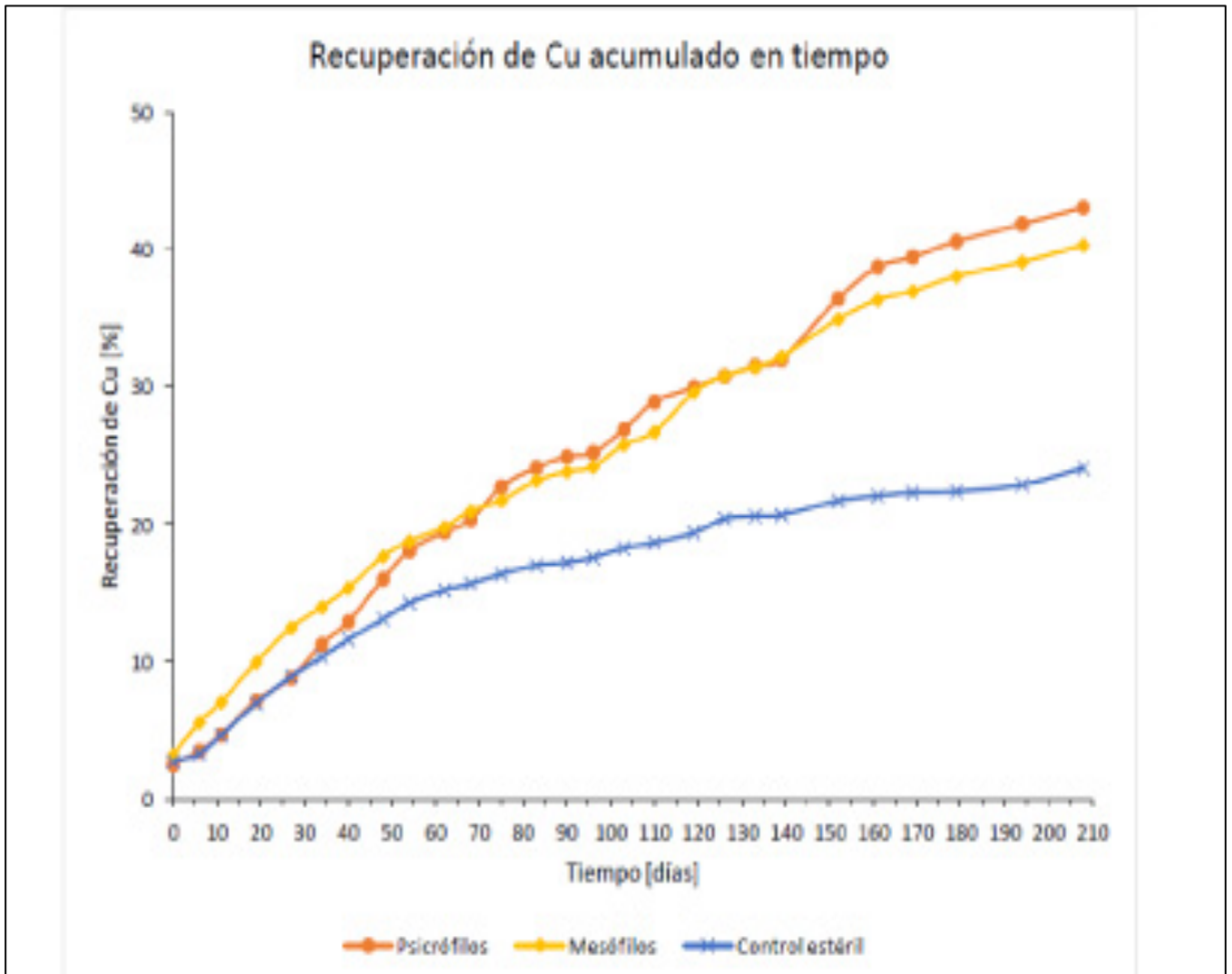


Gráfico 2, (fuente Pontificia U. Católica de Chile)

## **Variables del proyecto**

Para el actual estado de desarrollo de la planta Manuel Antonio Matta, la aplicación económica de esta tecnología está restringida a minerales de cobre secundarios, es decir aquellos en que predominan las especies minerales calcosina, covelina y bornita, cuyas velocidades de lixiviación son suficientemente rápidas en condiciones ambientales. En este tipo de minerales ofrece una alternativa de tratamiento más económica y menos contaminante que el proceso convencional de concentración-fusión. Sin embargo, la gran limitación de la biolixiviación en pilas es que la tecnología actual nos es aplicable para tratar económicamente minerales ricos en calcopirita, un mineral muy refractario a la lixiviación en condiciones ambientales y que es constituyente mayoritario en los minerales sulfurados de cobre. De estudios de en reactores agitados con concentrados de calcopirita, se sabe que este mineral puede ser lixiviado en forma mucho más eficiente bajo la acción catalítica de microorganismos termófilos -que operan a temperaturas del orden de 60- 80°C. Por lo tanto, es interesante explorar la factibilidad de operar las pilas de biolixiviación en condiciones de operación tales que permitan activar el desarrollo de este tipo de microorganismos.

Finalmente hay que señalar que la biolixiviación, siendo un proceso que incorpora aspectos biotecnológicos, requiere de incluir en su diseño y operación los criterios conceptuales de la bioquímica y la microbiología. Dado que estos conocimientos no forman usualmente parte de la formación curricular de los ingenieros metalurgistas, químicos o de minas que están a cargo de estos proyectos, es aconsejable incorporar en los equipos de ingenieros también personal entrenado en bioquímica y/o microbiología. Está comprobado que los equipos multidisciplinarios en este campo son los que han permitido los avances cualitativos en el desarrollo de las diversas tecnologías de biolixiviación existentes, esto quiere decir que en el futuro proyecto necesitaremos la asesoría de BIOSIGMA y SGS Chile, empresas bioquímicas las cuales se especializan y focalizan especialmente en la biolixiviación y biooxidación de bacterias en minerales.

## Capítulo VIII

### Desarrollo del proyecto

Al comenzar con la aplicación de biolixiviación en la planta Matta , se procesara el material recién extraído de la mina y mineral chancado, minerales de ley intermedia, sulfuros secundarios y primarios. La extracción de cobre desde minerales secundarios de cobre, como la calcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) y la covelina ( $\text{CuS}$ ), por biolixiviación en pila, es ampliamente practicada por algunas divisiones de Codelco, de la misma forma se realizara de la siguiente forma;

#### **Paso 1 :**

-Se construirán las pilas con material previamente chancado, de 19mm o menos, que es llevado por correas transportadoras al área o patio de acopio, lugar donde se forma la pila.

#### **Paso 2 :**

-En el trayecto el mineral será curado, irrigado con una solución de ácido sulfúrico concentrado o puede ser previamente aglomerado en tambores rotativos con agua acidificada para acondicionar el mineral a los microorganismos y también para fijar las partículas finas a las partículas más grandes de mineral. Luego el mineral es apilado en las áreas o canchas de acopio que están especialmente diseñadas. Los patios serán revestidos con polietileno de alta densidad (HDPE) y se instalara un sistema de drenaje con tuberías de plástico perforadas, que permiten capturar la solución lixiviada desde la base.

#### **Paso 3:**

-También se instalará una red de líneas de aire de plástico perforado, mediante la cual el aire es forzado por ventiladores externos a la pila, lo que asegura la disponibilidad de aire a los microorganismos. Una vez preparada la base, el mineral se apila ordenadamente con apiladores automatizados, formando un terraplén o pila de 6-8 m de altura.



**Paso 4 :**

-Las pilas pueden ser dinámicas si después de la lixiviación, el mineral se remueve para enviarlo al botadero y la base de la pila se reutiliza; o pilas permanentes si las nuevas pilas se cargan sobre las anteriores.

**Paso 5:**

-El sistema de pilas permanentes permite no trasladar el material ya lixiviado a un botadero final, ya que el área de lixiviación se convierte en botadero al terminar los ciclos de riego.

**Paso 6:**

-Sobre la pila se instalará un sistema de riego por goteo o aspersores los que riegan la pila con una solución de ácido sulfúrico, agua y “microorganismos”.

**Paso 7:**

-Los microorganismos serán adquiridos y desarrollados en el laboratorio de Paipote, implementados bajo la asesoría de BIOSIGMA y SGS CHILE.

**Paso 8:**

-Los microorganismos crecen naturalmente en la pila pero a objeto de mejorar el rendimiento de la operación, es que en una etapa previa de laboratorio se aíslan los microorganismos más adecuados a las condiciones existentes en la pila y se hacen crecer para luego introducirlos en el mineral oinocular, sembrándolos mediante aspersores.

**Paso 9:**

- La solución ácida que se infiltra a través de la pila va disolviendo el cobre contenido en los minerales sulfurados, formando una solución de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) que es recogida por el sistema de drenaje, y llevada fuera del sector de las pilas en canaletas impermeabilizadas hasta la planta de extracción por solvente. Aquí se recupera el cobre de la solución para luego formar los cátodos en la etapa de electroobtención, y el ácido es refinado y recirculado para el riego de las pilas.

**Finalizado los procedimientos se determina lo siguiente:**

-Se estima que para lograr un máximo de recuperación de cobre de un 80% se requieren de 250-350 días de biolixiviación. Las bacterias existentes en los minerales liberan al metal del mineral que finalmente es recuperado a partir de las soluciones que emergen de la parte inferior de la pila.

-Las principales ventajas del proyecto de biolixiviación en pila a realizar ; son el bajo capital y costos de operación, la ausencia de emisiones tóxicas y la minimización o la completa eliminación de cualquier descarga de agua porque se reciclan todas las soluciones.

## **1.-Preparación del terreno para la biolixiviación en planta Matta**

Todo este proceso en el cual se extrae el mineral de la roca comienza con al preparación del terreno donde se empareja el lugar donde posteriormente se ubicara la pila (botadero de material de baja ley), el terreno tiene que estar en optimas condiciones para que la etapa que continua después no se vea afectada.



**Figura 7, terreno modificado ,fuente Codelco**

## 2.-Colocación de Liner o Geomembrana

La siguiente etapa es el proceso de colocación de Liner, que consiste en crear un manto que no deje que el material lixiviado se filtre sobre la tierra, así se evita la pérdida de mineral y la contaminación del terreno. Todas estas diferentes capas se unen mediante la Termo fusión, que es en poner un parche sobre todas las uniones de las diferentes capas de Geomembrana.



**Figura 8, Liner o geomembrana, fuente Codelco**

### 3.- Colocación de Tuberías HDPE

La siguiente etapa es la ubicación de las tuberías que llevarán el mineral lixiviado (ya sea Cobre, Oro, Pirita, etc.) estas tuberías son elegidas para esta tarea ya que son de alta durabilidad, son de bajo costo, y resisten las oxidación, y las corrosión de materiales químicos.



**Figura 9, tuberías hdpe, fuente Codelco**

#### 4.- Capa de material o Cover

Luego colocar las tuberías HDPE prosigue la etapa de colocar la primera capa de material o Cover que es la capa que filtrara el material escurrido a través de las rocas de la parte superior de la pila, este material tiene una medida especifica, que no puede superar las 2 " de grosor en todas sus direcciones, ya sea alto, largo y ancho como se muestra en la siguiente imagen.



**Figura 10, capa de Cover, fuente Codelco**

## 5.- Capa de Material más grueso (colpas)

Luego del proceso anterior continua una nueva capa de material, esta vez más grueso de la misma índole y con las mismas características que el material anterior pero con dimensiones más grandes de hasta 15" en todas sus direcciones, como las rocas que se ven en el fondo de la siguiente imagen.



**Figura 11, capa de material grueso, fuente Codelco.**

## 6.-Construcción de la pila

Y el procedimiento final es el llenado con material que contiene sulfato de cobre con cualquier porcentaje por lo general son rocas con mineral de baja ley, ya que las rocas que poseen un nivel de alta ley son derivadas directamente a las plantas de proceso para extraer el mineral directamente por otro procedimiento.(lixiviación, método tradicional), en la planta Matta el proceso de lixiviación bacteriana se realizara en conjunto con el proceso de lixiviación , ya que la superficie territorial así lo permite, además de las grandes cantidades de botadero y acopios de baja ley que existen en la planta de procesos más grande de Enami.



**Figura 12, construcción de pilas, fuente Enami.**



## Capítulo IX

### Análisis Económico

El proceso de Biolixiviación en la planta Manuel Antonio Matta se realizará en una superficie de 38.400mt<sup>2</sup> aproximadamente, esto se va a subdividir en 4 pilas de biolixiviación, cada una con (120mts de largo x 80mt de ancho x 3mts de altura del material de baja ley), esto nos da una cantidad por pila de 28.800 mt<sup>3</sup> de material a biolixiviar por cada una de ellas, dando un total por las 4 pilas de 115.200 mt<sup>3</sup> de material de baja ley ,de esa ley se estima que el porcentaje en promedio de baja ley con el que se va a recuperar es de un 0.4% por tonelada, esto quedaría en una razón 0,004 % de ley de (Cu) por 1000 kg de material particulado, en total se trabajara con 115.200 mts<sup>3</sup> de material de baja ley, según datos verídicos de la planta Manuel Antonio Matta. A continuación se realizara el cálculo por pila;

#### Calculo de superficie realizado por pila

L (largo)= 120mts

A (ancho)= 80mts

H (alto)= 3mts

$$120 \times 80 \times 3 = \mathbf{28.800 \text{ mts}^3}$$

#### Calculo de ley de mineral realizado:

Toneladas en mts cúbicos totales de la superficie = 28.800 mt<sup>3</sup>

Porcentaje de ley del mineral = 0,004 % de Cu

$$28.800 \times 0,004 = \mathbf{115,2 \text{ toneladas totales de mineral de Cu}}$$

El proceso de Lixiviación por bacterias tarda 350 días aproximados en obtener un 80% del Cu soluble que poseen las 115,2 toneladas mineral, por lo tanto:

$$115,2 \text{ Toneladas} \times 80\% \text{ de Cu} = \mathbf{92.16 \text{ toneladas}}$$

En total son 4 pilas cada una con una producción de **92,16 toneladas**, dando una totalidad de producción por **1 año de 368,64 toneladas de cobre.**

Las **368,64 toneladas** son procesadas finalmente por extracción por solventes y electro-obtención EW, donde se reducen por el proceso en un 30% y finalmente se obtienen **258 toneladas** de cátodos de alta pureza de un 99.999% de cobre aproximadamente, las cuales serán obtenidas durante un periodo de 12 meses + 4 meses de creación de la pila de biolixiviación.

Las utilidades obtenidas según los valores de la libra en dólares de la bolsa de metales de Londres serian los siguientes:

Valor de la libra de cobre en dólares = **US \$2,65**

1 Tonelada= **2.204 libras**

Al realizar el cálculo tenemos como resultado:

$$\text{US\$ } 2,65 \times 2.204 \text{ lb} = \text{US\$ } 5.840 \text{ total}$$

El valor total obtenido por 1 tonelada de Cátodo de Cu en dólares es de **US\$5.840**

Al multiplicar la cantidad de toneladas obtenidas por nuestro método de biolixiviación a través de bacterias es de **258 toneladas**, obtenidas durante un periodo biolixivante de 12 meses (350 días aprox), por lo tanto:

$$258 \text{ toneladas} \times \text{US\$ } 5.840 = \text{US\$ } 1.506.720$$

El resultado final en dólares es de **US\$ 1.506.720** que al traspasarlo a la moneda nacional por CLP\$650 nos da como resultado **CLP\$978.368.000** de ingresos obtenidos aproximadamente durante 1 año de trabajo, las utilidades se ven reflejadas en el Flujo de Caja, debido a que hay que restar los Costos.

**Costos de inversión en Materiales de producción de las 4 pilas con un total de 38.400 mt2**

**Costos de liner o Geomembrana**

Estanques de geomembrana 2mm para los 38.400 mt2/ \$3.670 el mt2 aprox.	\$140.928.000
<b>Total</b>	<b>\$140.928.000</b>

**Costos tuberías HDPE**

Tuberías HDPE, viene en rollos de 100mts. Valor por metro lineal = CLP\$ 2200 x 120(superficie a cubrir) x 4 (pilas)	Valor total de las 4 pilas \$8.800.000 x 4
<b>Total</b>	<b>\$ 35.200.000</b>

**Material cover o de mezcla**

Material de mezcla 38.400 mts^2	\$6.500.000 x 4 pilas
Capa de 2" de grosor + capa de material grueso (colpas de desecho)	\$ 26.000.000
<b>Total</b>	<b>\$26.000.000</b>

Asesoramiento de bacterias y materiales y mano de obra especializados por empresa SGS CHILE Y BIOSIGMA	<b>\$20.000.000</b>
<b>Total</b>	<b>\$20.000.000</b>

### Costos de Mano de obra y operacionales.

Para realizar la instalación de la pila de 38.400 mt<sup>2</sup> se estima un tiempo de construcción de 120 días (4 meses) con 1 turno de 8 horas, debido a que las normas laborales de ENAMI así lo permiten, en cuanto a la maquinaria en general, contaremos con el respaldo de las que actualmente existen y operan en la planta de lixiviación SX, EW de ENAMI, pero se consideran los costos de operación y combustible.

Los profesionales y operadores o personal de trabajo se regirán por un contrato semanal de **45 horas semanales**.

CARGO	REMUNERACIÓN
- 6 trabajadores de ejecución por 4 pilas de biolixiviación , total = 24 trabajadores - <b>Total</b>	\$ 750.000 x 24  <b>=<u>\$18.000.000</u></b>
- 1Ingeniero Civil bioquímico - (BIOSIGMA asesoría bacterias) - 2 Prevencioncitas de Riesgo <b>Total</b>	\$3.500.000+ 2 x \$1.500.000  <b>=<u>\$6.500.000</u></b>
-1Ingeniero Metalurgista <b>Total</b>	\$1.800.000 x 1  <b>=<u>\$1.800.000</u></b>
- 1 supervisor de obra (Ingeniero de ejecución en Minas) 45 hrs semanales <b>Total</b>	\$ 1.200.000 x 1  <b>=<u>\$1.200.000</u></b>

3 Operadores maquinaria pesada:	\$900.000 x 5
-retroexcavadora	
-excavadora	
-aplanadora	
-2 para bulldozer	
<b>Total</b>	<b><u>\$4.500.000</u></b>

### Insumos

INSUMO	VALOR
-Petróleo,4.500LTS mensuales por \$495 valor actual (por 20 días)	
<b>Total</b>	<b><u>\$2.227.500</u></b>
Otros (agua, energía eléctrica, otros, implementos de seguridad, repuestos maquinaria, etc )	
<b>Total</b>	<b><u>\$10.500.000</u></b>

## **Resultados del cálculo anual de inversión y costos de remuneraciones e insumos**

La inversión suma un total mensual de **\$222.128.000** que es el total de todos los materiales que se utilizaran en el proyecto.

Los costos de remuneraciones e insumos suman un total mensual de \$44.727.500 y un total anual de **\$536.730.000**

El valor calculado en el Flujo de Caja es anual , por lo tanto todas las remuneraciones e insumos están proyectados por 1 año (365 días), así como el cálculo de los ingresos – costos.

Todas las cotizaciones, insumos, materiales, mano de obra están estipulados completamente de acuerdo a los valores actuales del mercado en dólares y pesos chilenos.

## Flujo de Caja

FLUJO DE CAJA (\$)						
ITEM	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INVERSIÓN	\$222.128.000					
INGRESOS		\$978.368.000	\$1.017.502.720	\$1.058.202.829	\$1.100.530.942	\$1.144.552.180
DEPRECIACIÓN -		\$44.425.600	\$44.425.600	\$44.425.600	\$44.425.600	\$44.425.600
COSTOS		\$536.730.000	\$558.199.200	\$580.527.168	\$603.748.255	\$627.898.185
UTILIDAD BRUTA		\$397.212.400	\$414.877.920	\$433.250.061	\$452.357.087	\$472.228.395
IMPUESTOS 26%		\$103.275.224	\$107.868.259	\$112.645.016	\$117.612.843	\$122.779.383
UTILIDAD NETA		\$293.937.176	\$307.009.661	\$320.605.045	\$334.744.245	\$349.449.012
DEPRECIACIÓN +		\$44.425.600	\$44.425.600	\$44.425.600	\$44.425.600	\$44.425.600
FLUJO DE CAJA	\$-222.128.000	\$338.362.776	\$351.435.261	\$365.030.645	\$379.169.845	\$393.874.612
F.D.C. ACTUALIZADO	\$-222.128.000	\$294.228.501	\$265.735.547	\$240.013.574	\$216.791.589	\$195.825.294
VAN	\$990.466.505					
TIR	154%					
TASA DESCUENTO	15%					
ACEPTAR INVERSIÓN	SÍ <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>				



## **Resultados flujo de caja**

Podemos deducir según el flujo de caja que el proyecto al ser trabajado bajo una ley del 0.4% por tonelada es completamente viable y se obtiene una utilidad bruta anual en el primer año de \$397.212.400 aproximados, generando una utilidad mensual \$33.101.033 de los botaderos de baja ley.

El VAN es positivo y la TIR supera el 100% de tasa de retorno, por lo tanto el proyecto es viable.

## **Obra financiada por la Empresa Nacional de Minería (ENAMI)**

Todos los costos asociados a la inversión están respaldados y son cubiertos en un 100% por la empresa nacional de minería con un total de inversión de \$222.128.000 más los costos anuales de remuneraciones e insumos con un total de \$536.730.000.

Las obras serán realizadas en la planta de procesos mineros Manuel Antonio Matta, ubicada en Copiapó y serán supervisadas de acuerdo a las normas establecidas y permisos legales del Servicio Nacional de Minería y Geología.

El área actual de contabilidad de la planta Manuel Antonio Matta , respaldara y desarrollara todos los procesos contables del proyecto, en su primer año de desarrollo.

El proyecto se desarrollara bajo las actuales normas ambientales seguidas por la planta de procesos, rigurosamente supervisada por el Sernageomin y Enami.

# **GUIA METODOLOGICA DE SEGURIDAD PARA PROYECTOS DE PLANTAS DE LIXIVIACION, EXTRACCION POR SOLVENTES Y ELECTROOBTENCION PARA MINERALES DE COBRE (LIX-SX-EW)**

Antecedentes según Decreto Supremo No 72, “Reglamento de Seguridad Minera”, del año 1985, cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado fue fijado mediante D.S. No 132, de 2002, ambos del Ministerio de Minería.

## **Introducción**

El Decreto Supremo N° 72, de 1985, Reglamento de Seguridad Minera, cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado fue fijado mediante el D.S. No 132, de 2002, del Ministerio de Minería, entró en vigencia el 7 de febrero de 2004, fecha de su publicación en el Diario Oficial.

El objetivo del Reglamento de Seguridad Minera, que se encuentra definido en su Artículo No1, es el de “establecer el marco regulatorio general al que deben someterse las faenas mineras de la Industria Extractiva Minera Nacional para:

- a) Proteger la vida e integridad física de las personas que se desempeñan en dicha Industria y de aquellas que bajo circunstancias específicas y definidas están ligadas a ellas.
- b) Proteger las instalaciones e infraestructuras que hacen posible las operaciones mineras, y por ende, la continuidad de sus procesos”.

Como cada actividad u operación minera específica tiene sus características particulares que la diferencian de las demás, significa que los aspectos a vigilar respecto a la Seguridad de cada una de ellas debe ser analizada por separado. Además, las Faenas Mineras y sus Instalaciones Mineras se desarrollan a través de ciclos o etapas constituidas por: diseño, construcción, operación y cierre.

El Reglamento de Seguridad Minera, en su Artículo 22, establece que las empresas mineras deberán presentar, antes del inicio de sus operaciones, para la aprobación del SERNAGEOMIN, el método de explotación o cualquier

modificación mayor al método aceptado. Asimismo, deberán presentar un Proyecto de Plan de Cierre de la faena respectiva.

Por lo anteriormente expuesto es que surge la necesidad de publicar un conjunto de Guías Metodológicas para los Proyectos Mineros, cuya intención es orientar a los diferentes usuarios respecto a los contenidos que deben tener los que se presenten para aprobación de SERNAGEOMIN.

Esta Guía contiene las indicaciones necesarias para la presentación de un Proyecto de Planta de Lixiviación, Extracción por Solventes y Electroobtención de Minerales de Cobre (LIX-SX-EW), en el sentido de que su confección se enmarque dentro de la reglamentación contenida en el Reglamento de Seguridad Minera.

### **Presentación del proyecto**

La presente guía se basa en la experiencia acumulada por el Servicio a través del tiempo, en manuales especializados de Lixiviación – Extracción por Solvente – Electroobtención de Minerales Cupríferos (LIX-SX-EW), y en algunas experiencias extranjeras que han sido consultadas para este tipo de tratamiento.

Conforme a lo que SERNAGEOMIN considera necesario para cumplir con lo establecido en el "Reglamento de Seguridad Minera", y teniendo en consideración sus Artículos relacionados con la presentación de este tipo de Proyectos, el Proyecto de Planta LIX-SX- EW deberá ser presentado a través de un documento impreso que comprenda, al menos, los siguientes capítulos:

- Índice
- Descripción del Proyecto
- Plan de Cierre
- Anexos

A continuación se explica los contenidos mínimos que deben tener estos capítulos:

#### **INDICE DEL PROYECTO**

Para una mejor lectura y una fácil ubicación de algún punto específico, el documento que se presente debe venir con sus páginas numeradas.

Al comienzo del documento se debe incluir un Índice de las materias que contiene, con indicación del número de la página correspondiente a cada materia.

## **Descripción del Proyecto**

La descripción del proyecto proporciona la base sobre la cual se lleva a cabo la revisión de las normas que protegen la vida y salud de los trabajadores, las instalaciones e infraestructura que hacen posible las operaciones mineras y la continuidad de sus procesos.

Se debe por tanto incluir una Descripción General y una Descripción Técnica del Proyecto.

En todos los casos, la información presentada en los proyectos, debe ser lo suficientemente detallada para que el lector o revisor comprenda totalmente la naturaleza y extensión del proyecto propuesto, a fin de contar con los detalles suficientes que permitan una adecuada evaluación. Los planos y figuras que se presenten, deben ir ubicados dentro del informe, de manera que el acceso a ellos sea fácil, y a una escala adecuada. Puede presentarse una copia reducida que se incluya dentro del capítulo de descripción, adjuntando en el apéndice los planos tamaño original.

El nivel de profundidad con que se debe desarrollar cada tema dependerá de la etapa en que se encuentre, de la magnitud del proyecto y de su nivel de complejidad.

Si corresponde, será obligatorio contar con una RCA (Resolución de Calificación Ambiental) favorable, cuyos compromisos estén considerados en la correspondiente evaluación del proyecto.

## 2.1 Descripción General.

La descripción general del Proyecto de Planta de Lixiviación, Extracción por Solventes y Electroobtención de Minerales de Cobre (LIX-SX-EW) debe incluir un resumen, que abarque desde la etapa de recepción del mineral que se procesará, hasta el embarque de los productos.

La Descripción General del proyecto deberá contener, al menos, la siguiente información:

Nombre del Proyecto y objetivo del mismo.

Nombre de la Planta y la compañía o empresa minera que la opera.

Nombre del propietario y representante legal de la empresa.

Ubicación geográfica y política del proyecto:

- Ubicación Regional y Comunal.
- Coordenadas UTM de las Instalaciones.
- Planos de ubicación general de la instalación y sus principales vías de acceso.

Resolución de Calificación Ambiental de la COREMA.

Carta GANTT del proyecto u otro sistema de control de proyecto donde se presente las distintas etapas (ingeniería, adquisiciones, construcción, puesta en marcha, operación y cierre).

Organigrama general con las unidades productivas y de servicio y sus dotaciones de personal.

Recursos utilizados (agua potable, agua industrial, reactivos, energía y comunicaciones).

Vida útil de la Planta.

## 2.2 Descripción técnica .

La Descripción Técnica del Proyecto deberá aportar información completa y detallada, basado en los estudios de factibilidad, informes de diseño, de ingeniería, planes de construcción, etc.

Se debe describir la etapa de construcción del proyecto, indicando las acciones y requerimientos necesarios para materializar las obras físicas del proyecto, y los plazos asociados a cada etapa.

Se debe describir la etapa de operación del Proyecto con los requerimientos, manejo de materiales e insumos y todos los aspectos necesarios para su funcionamiento, incluyendo las medidas de mantención y conservación.

En la descripción técnica de los procesos (LIX-SX-EW) se deberá incluir, al menos, la siguiente información:

Diagramas de Flujo y esquemas de las operaciones, incluyendo transporte de mineral, insumos, productos y subproductos.

Cantidad de producción.

Planos de Planta y Perfiles de las instalaciones principales.

Cantidad de personal participante en la operación.

Tipo y cantidad de equipos y maquinarias utilizados para cada proceso.

Sistemas de manejo de soluciones (Ácido, PLS, ILS).

Sistemas de manejo de efluentes, derrames y aguas lluvia.

Descripción de materias primas e insumos.

Diseño de piscinas, estanques y pozos para soluciones intermedias y finales.

Sistemas de contención de derrames.

En cada caso indicar el material con que serán construidas las instalaciones, revestimientos y coberturas utilizados, sistemas de rebose y pretilas de contención.

Descripción de Piping, bombas, válvulas y equipos de control.

Descripción de reactivos, solventes y aditivos utilizados.

### **2.2.1 Lixiviación:**

En el caso de la etapa de Lixiviación se deberá incluir además información relacionada con:

Preparación del Mineral.

Granulometría del mineral.

Sistema de transporte.

Etapa de Curado.

Descripción del tipo de Pila (fija o dinámica).

Dimensiones de las Pilas (largo, ancho, alto, ángulo de talud).

Rampa de Acceso y Salida para Equipos de Apilamiento

Características Geotecnicas de los suelos de Emplazamiento de las Pilas.

Preparación de la base e impermeabilización utilizada.

Análisis de estabilidad. (Estático y Dinámico).

Sistema de carguío de la Pila.

Sistema de irrigación (tipo de goteros o aspersores), tasa de riego.

Sistema de conducción e impulsión de refino, conducción de soluciones.

Sistema de Recolección de Soluciones Enriquecidas.

Descripción de piscinas de soluciones y de emergencia.



### **2.2.2 Ripios de Lixiviación:**

En el caso del Depósito de Ripios de Lixiviación, se deberá incluir además el siguiente tipo de información:

Preparación de la base e impermeabilización utilizada.

Dimensiones del depósito (largo, ancho, alto, ángulo de talud).

Análisis de estabilidad. (Estático y Dinámico).

Características Geotecnicas de los suelos de Emplazamiento de los Ripios de Lixiviación.

Sistema de transporte.

Descripción del método de carguío del depósito.

### **2.2.3 Extracción por Solvente:**

En el caso de la etapa de Extracción por Solvente incluir además información de:

Sistemas de Alimentación del Extractante Orgánico al Estanque respectivo.

Carácterísticas de los pretilos de protección frente a derrames de los Estanques de Orgánico Cargado y Descargado.

Etapas de Extracción y Re-Extracción

Equipos Mezcladores Decantadores (Características Principales)

Circuito del electrolito.(Flujos Avance y Spent, y sus características)

Circuito del Orgánico/ Acuoso (Cargados y Descargados).

Sistemas de filtros o separación de impurezas.

Sistema de tratamiento de Borrás y recuperación de Orgánico

Estanques de tratamiento del electrolito circulante.

## 2.2.4 Electroobtención

En el caso de la etapa de Electroobtención se deberá incluir además información relacionada con:

Distribución de las celdas: cantidad de bancos o filas, cantidad de celdas por banco, celdas de limpieza, etc.

Cantidad de cátodos por celda, espaciamiento entre ellos, intensidad, etc.

Operación de cosecha y lavado de cátodos.

Descripción del Sistema de Ventilación.

Descripción del Sistema Eléctrico e Iluminación.

Características Eléctricas de los Rectificadores (Amperaje, Voltaje y Potencia).

Características de las Malla de Tierra de los Transformadores.

Manejo de borras y otros sedimentos.

Sistema de cobertura de celdas y tubos de aspiración de aire.

Sistema de volteo de cátodos.

Sistemas de extinción de Incendios.

Para cada una de las etapas o procesos descritos en el Proyecto deberá asegurarse la estabilidad de las estructuras y aplicar todas las medidas de seguridad para que las operaciones se efectúen previniendo los riesgos de accidentes a las personas que las realicen o a quienes circulen por el lugar, de acuerdo con sus propios Planes y Procedimientos de seguridad.

La información presentada debe ser lo suficientemente clara para permitir una adecuada evaluación técnica del Proyecto.

Los planos y mapas que se adjunten deben presentarse a una escala adecuada, que permita su lectura y comprensión sin dificultad.

### 3. Plan de Cierre

Se deberá incluir en el Proyecto todas las medidas que serán implementadas para prevenir los riesgos que se puedan presentar con motivo del cese de las operaciones de la Planta LIX-SX-EW.

Se deberá tener en consideración lo indicado en la Resolución de Calificación Ambiental de la COREMA para el proyecto, si la hubiere, en lo relativo al cierre de faena.

#### 3.1 Plantas LIX-SX-EW

El Proyecto de Plan de Cierre de Plantas LIX-SX-EW y sus Instalaciones Auxiliares deberá referirse a lo menos a los siguientes aspectos técnicos:

a) Desmantelamiento de instalaciones, edificios, equipos y maquinarias, cuando fuese necesario:

Significa el desarme de estructuras, demolición y retiro de los materiales. Cubrir fundaciones remanentes con estériles o material de empréstito

b) Desenergizar instalaciones:

Cortar suministro eléctrico.

Retiro de cables conductores y postaciones.

Retiro de generadores, transformadores y otros equipos.

c) Cierre de accesos:

Bloquear el paso de vehículos y/o peatones.

Construcción de muros, pretilas o pedraplenes, cuando corresponda.

d) Estabilización de taludes:

Dejar estables los taludes de las obras o nivelaciones que fueron necesario hacer para la construcción y para el cierre de las Plantas de Procesamiento.

e) Señalizaciones:

Instalación de letreros o señales que indiquen lo que alguna vez operó en esa área y la indicación de peligro, si se requiere.

f) Retiro de materiales y repuestos:

Retirar todo los elementos de desecho y envié a algún lugar de reciclaje o depósito autorizado.

g) Protección de estructuras remanentes:

Aquellas estructuras o instalaciones que por alguna razón justificada permanecerán en el lugar deberán ser protegidas y reforzadas, evitando su deterioro.

### **3.2 Pilas y Depósitos de Ripios de Lixiviación:**

El Proyecto de Cierre de Pilas y Ripios de Lixiviación deberá referirse a lo menos a los siguientes aspectos técnicos:

a) Construcción de diques interceptores y canales evacuadores de aguas lluvia:

Estas obras se requieren para impedir que lluvias o escorrentías superficiales inunden y debiliten estas estructuras.

b) Estabilización de taludes:

Dejar estables los taludes de Pilas y Depósito de Ripios.

c) Coberturas:

Cubrimiento con estériles y suelo natural, u otros materiales.

d) Nivelación:

Compactación y definición de pendientes de superficie.

e) Lavado de ripios:

Dejar los ripios neutralizados o con un sistema de captación de drenajes y evaporación.

Deberá considerarse además, cuando corresponda, otros aspectos relativos al Cierre de Faenas, tales como:

- Evaluar los caminos que se dejaran transitables y los caminos que deben ser cerrados.
- Retiro y disposición final de residuos.
- Retiro de escombros.
- Disposición final y estable de residuos mineros que permanecerán en el lugar.

## **4. Anexos**

En esta sección se deberá incluir todos los antecedentes necesarios para completar el Proyecto, tales como:

- Planos.
- Diagramas.
- Planes de Prevención de Riesgos, Métodos de Operación, Planes de Emergencia y Medidas de Seguridad apropiadas para este tipo de Proyecto.
- Informes Técnicos.
- Fotografías.
- Estudios y análisis complementarios.
- Copias de documentos informativos.
- Resoluciones otorgadas por otros Organismos para este Proyecto.
- etc.

## Conclusión

En este proyecto que se desarrollara en la planta de procesos Manuel Antonio Matta, propiedad de la Empresa Nacional de Minería (Enami), se analizaron los diferentes estudios técnico-económicos de factibilidad del proyecto, con una proyección económica de 5 años, donde se pudo observar bajo diferentes criterios que el proyecto es económicamente viable anualmente y durante los próximos 5 años.

Se observaron utilidades proyectadas y aproximadas de US\$ 611.000 anuales, en CLP\$397.212.400, bajo criterios de valores de la bolsa de metales de Londres, valor del dólar, valor por tonelada, porcentaje de recuperación durante 1 año, etc. Dejando en evidencia la rentabilidad que posee el proyecto, de una forma muy similar a los resultados obtenidos por la empresa perteneciente a Codelco , Biosigma.

Se observo que en la planta existía una cantidad enorme de mineral de botadero de baja ley, exactamente un 0.4% de ley de cobre por tonelada de material. Esto no era procesado por Enami, convirtiéndolo plenamente en un desecho, provocando un leve impacto ambiental y a su vez no explotando la ley existente en los botaderos, que bajo estudios químicos arroja una ley promedio, que es completamente recuperable bajo el método de biolixiviación o lixiviación por bacterias, especialmente la más reconocida y llamada “Acidobacillus Ferrooxidans”, cuya bacteria es reconocida e utilizada a nivel mundial por el método de biolixiviación, debido a su sobrevivencia en ambientes con bajo nivel de oxígeno y temperatura. Esta bacteria a su vez fue empleada y estudiada por la empresa de biotecnología “Biosigma”. Esta empresa llamada Biosigma fue la impulsora del proyecto de biolixiviación de la división de Codelco Radomiro Tomic y de acuerdo a esta labor , se decidió llevar esta tecnología a una de las plantas más grandes de Enami, y lograr en un futuro muy cercano poder abastecer, recuperar y explotar las 5 plantas que posee la Empresa Nacional de Minería, todo desarrollado de una forma sustentable y amigable frente al medio ambiente.

## **Bibliografía y Linkografía**

[http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/seguridad/guia\\_metodologica\\_seguridad\\_proyectos\\_plantas\\_lixiviacion\\_extraccion\\_solventes.pdf](http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/seguridad/guia_metodologica_seguridad_proyectos_plantas_lixiviacion_extraccion_solventes.pdf)

<http://www.enami.cl>

<http://www.maquiventa.com/grupodanini/04danini.htm>

<https://es.scribd.com/document/106678983/Dimensionamiento-de-pilas-de-lixiviacion>

<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/131559/Estudio-de-comportamiento-termico-en-pilas-de-biolixiviacion.pdf?sequence=1>

<http://slideplayer.es/slide/1030771/>

<https://es.slideshare.net/biovia09/impacto-y-repercusiones-de-la-biotecnologia-en-la-minera-a-nivel-latinoamericano-en-la-aplicacin-de-la-biolixiviacin-como-herramienta-de-la-biomineria>

[https://www.codelcoeduca.cl/procesos\\_productivos/tecnicos\\_biolixiviacion.asp](https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/tecnicos_biolixiviacion.asp)

<https://es.slideshare.net/joshuataglio/biolixiviacin>

<http://www.sgs.cl/es-ES/Mining/Metallurgy-and-Process-Design/Unit-Operations-and-Metallurgical-Services/Pressure-and-Ambient-Leaching/Bacterial-Leach.aspx>

<http://www.mch.cl/reportajes/el-fin-de-los-relaves/#>

<https://spanish.alibaba.com/wholesale/Venta-al-por-mayor-tuberias-de-hdpe-precios.html>





