

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALURGICA



TESIS

**Evaluación de la lixiviación bacteriana de minerales mixtos de la mina Utcush
para la recuperación de cobre – Huánuco – 2018**

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autor: Bach. José Luis ESTRADA ARMAS

Asesor: Mg. José Eli CASTILLO MONTALVAN

Cerro De Pasco – Perú – 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALURGICA



TESIS

**Evaluación de la lixiviación bacteriana de minerales mixtos de la mina Utcush
para la recuperación de cobre – Huánuco – 2018**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Antonio Florencio BLAS ARAUCO
PRESIDENTE

Mg. Rubén Edgar PALOMINO ISIDRO
MIEMBRO

Mg. Manuel HUAMAN DE LA CRUZ
MIEMBRO

DEDICATORIA

A mi familia por darme su apoyo incondicional
así mismo a mi esposa por apoyarme y
aconsejarme en las decisiones de mi vida.

RECONOCIMIENTO

A la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por brindarme la oportunidad de desarrollar capacidades, habilidades blandas y duras así mismo competencias y optar el grado de académico de Ingeniero Metalurgista.

A mis padres por su apoyo incondicional; ya que sin ellos no hubiese podido lograr este grado académico.

RESUMEN

En la mina de Utcush tenemos el problema del mineral pues estos son óxidos, carbonatos y sulfuros, es decir tenemos minerales mixtos.

Este problema lo hemos tratado utilizando la lixiviación bacteriana, con el thiobacillus ferrooxidans para el cual se utilizó el nutriente 9 K.

Las bacterias actúan oxidando sulfuros y otros iones produciendo sulfatos solubles y ácido sulfúrico, han lixiviado bien los sulfuros de cobre habiéndose obtenido recuperaciones de 65,3% de cobre a -400 mallas, esta recuperación en realidad es baja, entonces como alternativa en el presente trabajo se propone que los minerales mixtos de cobre de la mina Utcush se debe procesar haciendo una lixiviación acida de la fracción oxidada y luego una lixiviación bacteriana para recuperar el cobre de la fracción sulfurada.

La solución biolixiviada fue cementada con chatarra de hierro, el cemento de cobre analizo 58,7% de cobre, el cual reúne las condiciones para su comercialización en condiciones de rentabilidad.

Inicialmente para capitalizarnos, se propone lixiviar el mineral en pilas de lixiviación seguido de cementación con chatarra de hierro, porque una planta de extracción por solventes seguido de electrodeposición cuesta caro, para el cual debe realizarse una evaluación económica para decidir el proyecto.

Palabras claves: Bacteria thiobacillus ferrooxidans; lixiviación.

SUMMARY

In the Utcush mine we have the problem of the mineral because these are oxides, carbonates and sulphides, that is, we have mixed minerals.

We have treated this problem using bacterial leaching, with *thiobacillus ferrooxidans* for which the 9K nutrient was used.

The bacteria act by oxidizing sulfides and other ions producing soluble sulfates and sulfuric acid, copper sulfides have been leached well, recoveries of 65.3% copper at - 400 mesh have been obtained, this recovery is actually low, then as an alternative here Work proposes that mixed copper minerals from the Utcush mine should be processed by acid leaching of the oxidized fraction and then bacterial leaching to recover copper

of the sulfur fraction.

The bioleaching solution was cemented with iron scrap, the copper cement analyzed 58.7% copper, which meets the conditions for commercialization under profitable conditions.

Initially to capitalize on us, it is proposed to leach the ore into leaching piles followed by cementing with scrap iron, because a solvent extraction plant followed by electrodeposition is expensive, for which an economic evaluation must be carried out to decide the Project.

Keywords: *Thiobacillus ferrooxidans* bacteria; leaching.

INTRODUCCIÓN

La lixiviación bacteriana vinculada a minerales de cobre consiste en la oxidación de sulfuros insolubles a sulfatos solubles por efecto de ciertas bacterias, estos son seres vivos microscópicos.

Aunque son varias las bacterias que pueden realizar la referida oxidación, la más difundida e importante por sus características es el *Thiobacillus ferrooxidans*.

Esta es una bacteria Gram negativa. (El método del gram permite mediante una tinción especial, el reconocimiento de ciertos grupos de bacterias), con LPS (lipopolisacáridos) en su pared más externa tiene forma de bastón, sus dimensiones son desde 0,9 a 2,0 micrones de largo y 0,5 a 0,8 micrones de ancho, posee un flagelo polar el cual le permite cierta movilidad direccionada en medios líquidos.

Este es una bacteria quimio-autotrófica, es capaz de nutrirse utilizando solo sustancias inorgánicas simples. Estas bacterias están constituidas por elementos subcelulares de morfología y estructura bien definida.

Su forma de reproducción es por fisión binaria encontrándose normalmente aislada o en pares creciendo en medios ácidos donde existen iones ferrosos, azufre o minerales sulfurados, adhiriéndose a ellos por la formación de cápsulas de mucosas.

En general se sabe que las bacterias son organismos unicelulares, que constituyen una de las formas de vida más arcaicas y primarias. Estos microorganismos, inferiores a los animales y a las plantas se denominan genéricamente como procariotes. Una desventaja más saltante durante la experimentación de lixiviación bacteriana radica en el tiempo relativamente prolongado que ha tomado la prueba (42 días), para recuperar 65,3% de cobre a -400 mallas.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
RECONOCIMIENTO	
RESUMEN	
SUMMARY	
INTRODUCCION	

CAPÍTULO I PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema.....	10
1.2.	Delimitación de la investigación.....	10
1.3.	Formulación del problema.....	11
	1.3.1. Problema general	11
	1.3.2. Problemas específicos.....	12
1.4.	Formulación de objetivos.....	12
	1.4.1. Objetivo general.....	12
	1.4.2. Objetivos específicos.....	12
1.5.	Justificación de la investigación.....	12
1.6.	Limitaciones de la investigación.....	14

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio	15
2.2.	Bases teóricas – científicas	17
2.3.	Definición de términos básicos.....	27
2.4.	Formulación de hipótesis.....	32
	2.4.1. Hipótesis general.....	32
	2.4.2. Hipótesis específicas.....	32
2.5.	Identificación de variables.....	32
2.6.	Definición Operacional de variables e indicadores.....	33

CAPITULO III
METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación.....	34
3.2.	Métodos de investigación.....	34
3.3.	Diseño de la investigación.....	35
3.4.	Población y muestra.....	38
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	44
3.6.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	45
3.7.	Tratamiento estadístico.....	45
3.8.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	45
3.9.	Orientación ética.....	46

CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	47
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados	50
4.3.	Prueba de hipótesis.....	53
4.4.	Discusión de resultados.....	53

CONCLUSIONES.....58

RECOMENDACIONES.....59

BIBLIOGRAFÍA.....60

ANEXOS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

El Perú cuenta con numerosos yacimientos mineros, cuyos desafíos para iniciar los procesos productivos son, yacimientos con menores leyes, mayor complejidad, mayor cantidad de minerales penalizables, yacimientos cada vez más profundos y con mayor dureza, además tenemos mayor limitación de infraestructura como la falta de carreteras, y otros aspectos, razón por la cual, debemos analizar bien el mineral de la mina Utcush, ubicado en el distrito de Caina, provincia de Ambo región Huánuco, que tiene importantes valores de cobre, para plantear que se lleve a cabo definitivamente el proyecto de explotación, puesto que el riesgo del proyecto debe ser manejado más cuidadosamente, si esperamos de el que atraiga exitosamente el financiamiento, debido a que en definitiva el riesgo en inversión de capital es crítico.

1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo a informes (Empresa Diamond, 2014, tomado de USGS, 2013), el Perú cuenta con 11% de reservas mundiales de cobre, Australia 12,7% y Chile 27,9%.

El Perú, al 2016 es el tercer productor mundial de cobre y a la fecha existen megaproyectos que superan los treinticinco mil millones de dólares, estos son Toromocho, Michiquillay, Tía María y entre otros.

La empresa Minera Caolín SRL, propietaria de la mina Utcush, está realizando el proyecto para su producción, desde la caracterización del mineral, del yacimiento y sus diversas etapas, a la fecha se han cubicado más de doscientos mil toneladas de reservas de mineral, cuyos contenidos son:

Cuadro No.1 Leyes químicas reportadas por laboratorios Plenge –Lima.

Mina Utcush	%Cu	%Pb	Ag (Oz/TM)
	2.26	0.13	0.38

Fuente: Laboratorios Plenge

En el yacimiento en la superficie se observan la presencia del mineral malaquita que es un carbonato, ya en gabinete se confirma y además se han determinado la presencia de cuprita y calcocita que son óxidos y también en las calicatas encontramos minerales sulfurados como la calcopirita en abundancia con presencia de enargita.

Entonces, se han caracterizado minerales mixtos (óxidos y sulfuros de cobre), para el cual realizaremos pruebas hidrometalúrgicas de lixiviación bacteriana por el método de agitación.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo recuperar cobre contenido en los minerales mixtos de la mina Utcush-Huánuco, evaluando por el método de la lixiviación bacteriana? Ya que la minera no tiene inversión suficiente para optar por otros métodos.

1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- Insuficiente equipos, materiales e instrumentos para la realización de la lixiviación bacteriana.
- Presupuesto bajo para optar por otros métodos con mayor recuperación.
- Potencial de las bacterias variable.

1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Recuperar cobre contenido en los minerales mixtos de la mina Utcush- Huánuco, evaluando por el método de la lixiviación bacteriana.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar e identificar individualmente la presencia de minerales, dentro de los minerales mixtos de la mina Utcush.
- Hallar el porcentaje de extracción del cobre presente en los minerales.
- Calcular el consumo o generación de ácido.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio se justifica por la existencia de fuerte demanda del cobre a nivel mundial, y la manifestación de la subida de precios de este importante metal este año 2018.

La evolución del precio del cobre en la bolsa de metales de Londres en el mes de agosto reporto el punto más bajo \$265.079 / libra, el día 09 de agosto, el punto más alto \$283.359 / libra, el día 17 de agosto.

La subida se debe a la disminución de stocks en el mercado chino y a la política de aranceles que se viene implementando en Estados Unidos respecto al mercado chino. Se justifica porque el Perú cuenta con importantes megaproyectos mineros de cobre y otros metales.

De acuerdo a la información del Ministerio de Energía y minas, además publicado en el periódico La republica día 11 de abril del 2018, este año en inversión y construcción de proyectos mineros se invertirán US \$ 2.150 millones. Se tiene la Ampliación del proyecto de oro Shauindo, Ampliacion Mina Pachapaqui de zinc, ampliación Toromocho mineral de cobre por la empresa Chinalco Perú, Proyecto Mina Justa de cobre por la empresa Marcobre SAC, Proyecto Pampa de pongo mineral de hierro por la empresa Jinzhao Mining, Quellaveco mineral de cobre, Quecher Main mineral del oro, Ariana mineral de cobre, Corani mineral de plata, Relaves B2 San Rafael mineral de estaño, Ampliación Toquepala, mineral de cobre. Esta investigación se realiza porque en la mina Utcush existen importantes volúmenes de reservas de minerales mixtos de cobre, entre óxidos y sulfuros, produciendo estos minerales de mena de cobre se recibirían ingresos económicos importantes para el empresario y la comunidad generando puestos de trabajo, y además el Perú se beneficia por regalías mineras e impuestos que parte de ello regresa a las comunidades como Canon Minero.

Entonces, la lixiviación lo realizamos para recuperar metales de cobre.

IMPORTANCIA Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

a) IMPORTANCIA TECNOLÓGICA

Los conocimientos y la experiencia de esta tecnología de la lixiviación bacteriana nos ayudarán a recuperar valores de cobre de los minerales mixtos,

contenidos en el yacimiento, y los datos técnicos servirán como referencia para beneficiar otros depósitos mineralizados similares.

b) IMPORTANCIA ECONÓMICA Y SOCIAL

De acuerdo a la fuente, periódico la Republica 11/04/18, dentro de la estructura de las exportaciones peruanas, el 59,5% es el minero metálico, y el de mayor exportación es el cobre que alcanza el 30,7%, esto beneficia a la economía y por ende a la sociedad peruana.

Al utilizar el “Know-How” es decir la interrelación entre la aplicación de la tecnología, la operación y operatividad de la planta, podremos beneficiar y recuperar cobre, obteniendo resultados económicos, que beneficiara a los accionistas de la empresa, al Estado Peruano por el pago de impuestos y a los trabajadores con un sueldo digno y a la sociedad permitiendo su desarrollo.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

En la Región Huánuco no existen plantas que trabajan utilizando la lixiviación bacteriana, ni menos la tecnología de la lixiviación convencional, entonces existe mínima información que se traduce en bibliográfica.

La falta de personal especializado se superará con capacitación.

A nivel nacional existen referencias del trabajo de lixiviación bacteriana en Cerro Verde Arequipa, además en; Michiquillay estas informaciones son limitadas, sin mayores argumentos porque el empresario siempre limita su información.

Se han tenido limitaciones económicas, puesto que, este trabajo de investigación necesita de una serie de ensayos con equipos bien controlados y los ensayos químicos cuestan caro, alrededor de veinte dólares por metal.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO

La lixiviación bacteriana de minerales de cobre existe desde la aparición de la naturaleza, pero recién fue conocida mediante el primer trabajo publicado sobre microorganismos que oxidaban pirita en el año de 1922.

Este descubrimiento se realizó debido a la observación de acides de aguas de las minas de carbón que contenían pirita. En la década del 50 se realizaron los mejores trabajos en este campo y se llegó a comprender bien este fenómeno.

El presente estudio tiene como marco de referencia, los siguientes trabajos:

Aspectos de la lixiviación de minerales y menas oxidadas de cobre, realizado por W. Charles Cooper, en Cuajone –Perú, en el que manifiesta que la crisocola parece ser microcristalina y exhibir una estructura fibrosa. Los análisis de sílice, alúmina, óxido de calcio y magnesio en la crisocola indicaron alguna variación en la

composición como una posible sustitución reticular del cobre por el aluminio. La cantidad relativa de cobre parece bastante uniforme.

La lixiviación de la crisocola con ácido sulfúrico, es facilitada por una estructura de superficie microfisurada se evidencia un marcado cambio estructural a medida que los iones de hidrogeno reemplazan al cobre, que ha sido extraído por lixiviación. El resultado final es una capa de sílice de superficie discontinua que, por si misma, no parece limitar el proceso de lixiviación.

Se comparan velocidades relativas de lixiviación de la malaquita y la goetita en una mena de cobre oxidado de baja ley, considerando la importancia de limitar la extracción de fierro en el tratamiento de tales menas. Se señalan las condiciones para el uso óptimo del ácido sulfúrico como lixivante. Pareciera que cualquier ventaja presentada por lixivantes, como el EDTA y el bisulfato de amonio, está muy relacionada a las características de las menas oxidadas mismas.

También tenemos el trabajo de la lixiviación bacteriana realizado al mineral marginal de Michiquillay por Alberto Herrera, Juan Fernández y Aurelio Curimaya, se lixivio usando una columna de plexiglass de 14 cm de diámetro, se cargaron 25kg a -3/8 pulg., el pH=2.

Al termino de 19 semanas de lixiviación la extracción de cobre fue de 42%, la extracción es bastante rápida al inicio de la prueba esto se debe a la puesta en solución de una cierta cantidad de cobre fácilmente soluble contenido en el mineral. La extracción, luego, decrece rápidamente después de La semana 11. Después de 19 semanas de lixiviación el pH decayó desde el valor inicial de 2,0 hasta 1,4 indicando con esto que el mineral es un fuerte productor de ácido. El fierro de la solución alcanzó un valor de 18 g/l, casi todo proveniente del mineral.

Otro antecedente importante es el trabajo: LIXIVIACION ACIDA – BACTERIANA EN PILAS O BOTADEROS: UNA TECNICA ECONOMICA PARA BENEFICIAR MINERALES MARGINALES DE COBRE, presentado por Julio Bonelli, Raúl Vásquez, (JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA LIMA PERU)1990, cuyas conclusiones son:

1. “En el tratamiento de minerales de cobre de baja ley por lixiviación ácido-bacteriana y recuperación empleando cementación con chatarra de fierro podría representar una operación complementaria muy rentable en las actuales operaciones mineras, tal como se ha mostrado en el ejemplo propuesto, son proyectos que involucran relativamente bajos capitales de inversión y costos de producción. Además, se encuentran disponibles tecnología e ingeniería para desarrollar este tipo de proyectos.
2. Con la presentación del esquema anterior se han logrado establecer relaciones muy interesantes entre la lixivabilidad del mineral, volumen de reservas de baja ley, mineralogía de las especies valiosas y costos de producción, todos ellos enmarcados dentro de los parámetros económicos que definen la atraktividad del proyecto.
3. Un estudio de prefactibilidad, conforme al esquema técnico económico planteado, podría estructurarse en un lapso de 60 días plazo en el cual se conocería el verdadero potencial de las reservas marginales de una empresa minera. Más aun el planteamiento propuesto es de carácter muy general, de manera que podría ser aplicable a minerales de leyes más altas, cuyo tratamiento no sea muy atractivo en plantas convencionales de flotación.

2.2. BASES TEÓRICAS – CIENTÍFICAS

La lixiviación bacteriana consiste en la oxidación de sulfuros insolubles a sulfatos solubles por efecto de ciertas bacterias. Aunque son varias las bacterias que pueden realizar la referida oxidación, la más difundida e importante por sus características es el *Thiobacillus ferrooxidans*. Se trata de una célula pequeña, a menudo de menos de un micrón de largo, la cual no presenta movilidad ni esporulación. El *thiobacillus ferrooxidans* es una bacteria quimioautotrófica, es capaz de nutrirse utilizando solo sustancias inorgánicas simples. Obtiene el carbono necesario para su metabolismo y reproducción del anhídrido carbónico del aire y el resto de sus componentes de sales minerales. A partir de estos nutrientes sintetiza el material celular, el cual está compuesto por 44% de proteína, 26% de lípidos, 15% de carbohidratos, 10% de cenizas y algunas vitaminas, en especial riboflavena y tiamina. La energía para la biosíntesis la obtiene de la oxidación enzimática del ion ferroso o de iones sulfuros.

Las condiciones óptimas de crecimiento de esta bacteria no han sido totalmente estudiadas, constituyendo éste uno de los puntos importantes de futuras investigaciones. Se sabe que es capaz de crecer en el rango de temperaturas de 25 a 45°C, estando su temperatura óptima probablemente alrededor de los 32 a 35°C. En cuanto a pH el *Thiobacillus ferrooxidans* crece en el amplio rango de 1 a 5, estando el óptimo alrededor de 2.4.

Aparte del pH y temperatura, influyen grandemente en su cinética de crecimiento la composición de sales del medio, la concentración o presión parcial de CO₂, el tamaño de la partícula del mineral, la presencia de ciertos iones metálicos inhibidores y los surfactantes.

EFECTO DE LA TEMPERATURA Y EL PH:

La cinética del crecimiento de un cultivo bacteriano está regida por la expresión de primer orden.

$$dx/dt = ux \quad \dots (1)$$

Donde:

- X : concentración celular, g/l
- u : velocidad específica de crecimiento, 1/ hr
- t : tiempo, hr.

La velocidad específica de crecimiento, constante para un cierto juego de condiciones, es afectada por la temperatura y pH. Se ha comprobado la validez de la siguiente expresión para el rango de temperatura hasta la temperatura óptima:

$$u = u_0 e^{-E/RT}$$

Donde:

- u_0 = factor de frecuencia
- E = energía de activación
- R = constante de los gases
- T = temperatura absoluta

Para el *Thiobacillus ferrooxidans* se han medido experimentalmente los valores de E.

El efecto del pH ha sido en general menos estudiado. No existe una correlación sencilla aceptada unánimemente, sino que diversos autores han propuesto distintos modelos, los cuales no han podido validarse en forma general.

EFECTO DE LA COMPOSICIÓN DEL MEDIO.

Se ha demostrado que, si el *Thiobacillus ferrooxidans* obtiene el CO₂ solo del aire, la disponibilidad de éste resulta limitante para su velocidad de crecimiento. Los datos reportados en la literatura no son del todo concordantes, probablemente debido a que han sido obtenidos midiendo no el crecimiento mismo, sino que su efecto, o sea el sulfuro solubilizado en condiciones no siempre comparables.

Tabla No.2. 1 Energías de activación para el *Thiobacillus ferrooxidans*.

Sustrato	Temperatura °C	E = Kcal/mol
CuS	25 - 30	-11.7
Cu ₂ S	25 - 30	-16.3
CuS	40 - 45	55.5
Cu ₂ S	40 - 45	61.5
ZnS	25 - 30	-12.0
FeSO ₄	23 - 32	-13.9
FeSO ₄	40 -45	53.3

Fuente: tomado del libro de Torma, 1977.

Es así como se dan cifras tales como 0,1 % , 0,2% y 2% de CO₂ en el aire como óptimas. No existe tampoco acuerdo sobre si el efecto del CO₂ es de tipo saturación, en el cual un aumento en su concentración favorece el crecimiento hasta alcanzar un límite sobre el cual no hay efecto adicional, o si este gas inhibe el crecimiento a ciertas concentraciones relativamente elevadas, en cuyo caso existiría una concentración óptima. Este es un punto que indudablemente merece mayor atención.

Los otros elementos deben encontrarse en el medio en forma de sales y en cantidades proporcionadas a la composición celular. Cuantitativamente los más importantes son el N, generalmente como sulfato de amonio, el Mg (MgSO₄), el

P (K_2HP0_4) y iones de metales pesados en cantidades muy menores. Estos iones pueden resultar inhibitorios a ciertas concentraciones.

Tabla No.2,2 Concentraciones Inhibitorias mínimas para el crecimiento del thiobacillus ferroxidans.

Ión	Concentración g/l
Co	30
Cu	28
Fe	160
Ni	72
Zn	119
V_3O_8	12

Fuente: Torma 1973

La fuente de energía utilizada para los cultivos stock es el ion ferroso.

Para los experimentos de lixiviación se le reemplaza por un sulfuro.

Como se ve en la tabla No. 2, las composiciones son bastante variadas y han sido formuladas en base empírica sin demasiada atención a las verdaderas necesidades básicas de la bacteria. En general se confía que las sales o minerales contienen suficiente cantidad de elementos metálicos, lo cual no siempre resulta en un medio de cultivo bien balanceado.

El crecimiento, y por tanto la lixiviación, se acelera en presencia de ión férrico, el cual presenta un efecto favorable en base a su poder oxidante.

Especial mención merece el problema del suministro de oxígeno para el desarrollo de los cultivos de Thiobacillus ferrooxidans .Siendo una bacteria aerobia obligada, necesita de ciertas cantidades de oxigeno molecular para su adecuado metabolismo.

La reacción de oxidación de sulfuros es Justamente la que precisa de significativas cantidades de oxígeno, de acuerdo a:



Se puede apreciar que la oxidación de una mol de sulfuro requiere de dos moles de oxígeno, o lo que es lo mismo, un kilogramo de azufre de sulfuro requiere para su oxidación de dos kilogramos de oxígeno.

Tabla No.2. 3 composiciones típicas de medios de cultivo para Thiobacillus ferroxidans.

Componente	Concentración g/l
(NH ₄) ₂ SO ₄	1.00
K ₂ HPO ₄	0.1
MgSO ₄ · 7H ₂ O	3.00
KCl	0.05
Ca(NO ₃) ₂	0.10
Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18H ₂ O	4.00
MnSO ₄ · H ₂ O	0.05
Na ₂ SO ₄	0.05

Fuente: Bryner, L:C: Anderson, 1957 Industria Química.

Dos kilogramos de oxígeno en condiciones normales ocupan 1 400 litros y su solubilidad en agua a. 30 - 35 °C es del orden de las 7 partes por millón (ppm), por lo que los 2 Kg. requerirían de unos 285 000 litros de solución acuosa. Estas cifras indican que el problema de la aeración en este proceso es importante y que debe ser considerado preferencialmente. Desde luego las cifras parecen señalar que un sistema de lixiviación estático no es adecuado. Entonces los esfuerzos deben estar encaminados hacia el diseño de instalaciones agitadas y con recirculación.

En todo caso las cifras entregadas no deben conducir a error. No son las cantidades absolutas las que realmente interesan, sino que las velocidades a que se efectúan los diversos pasos vale decir la cinética del proceso.

Si se realiza un balance de oxígeno alrededor de un bioreactor cualquiera:

$$Dc / dt = k_1 a (C^* - C) - Xu / Y$$

Donde:

- C : concentración de oxígeno disuelto
- $k_1 a$: coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno.
- C^* : concentración de oxígeno de equilibrio
- V : velocidad específica de crecimiento
- X : concentración celular
- Y: coeficiente de rendimiento del oxígeno,
 - g célula / g oxígeno consumido.

El miembro izquierdo de la ecuación representa la acumulación de oxígeno en el líquido respecto al tiempo. El primer término del miembro derecho representa el oxígeno transferido a las células y el segundo la cantidad de oxígeno requerido por el cultivo por unidad de tiempo. En operación ideal se debería alcanzar un estado estacionario en el cual la acumulación es nula y por lo tanto el oxígeno transferido se iguala a la demanda.

El $k_1 a$: caracteriza la capacidad de transferencia de oxígeno del bioreactor. Valores típicos de $k_1 a$ son del orden de 1 a 10 hr^{-1} para aeración superficial y de 100 a 500 hr^{-1} para aeración por burbujeo.

Estos valores dependen de las características geométricas del bioreactor, del microorganismo en cuestión, de las características reológicas del

cultivo y de las condiciones de operación, tales como la agitación y aeración. Se tiene que:

$$k_1 a = k (P/V)^a V_s^b N^c$$

Donde:

- K : constante
- P : potencia de agitación
- V: volumen de medio
- V_s : velocidad superficial del aire burbujeado
- N : velocidad de agitación

a, b, c : exponentes numéricos.

Si la ecuación se calcula, bajo condiciones estacionarias, el valor requerido de $k_1 a$ utilizando valores típicos entregados o calculados de la literatura.

$K_1 a = ux / (C^* - C) Y = 0.015 X 5 / (3.5 \times 10^{-3} \times 0.8) = 27 \text{ hr}^{-1}$ Este valor de $k_1 a$ es decididamente difícil de alcanzar en un sistema de aeración superficial natural. Se puede alcanzar en forma adecuada con el empleo de aeradores superficiales u otro medio similar y es alcanzable por demás en un sistema de aeración por burbujeo. Estos cálculos aproximados son útiles para señalar las direcciones que se deben seguir al diseñar un sistema de lixiviación bacteriana.

Respecto al problema de la transferencia de oxígeno, es interesante considerar el efecto de los agentes surfactantes o tensoactivos. En general estas sustancias ejercen dos efectos encontrados sobre el coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno: por una parte aumentan el área interfacial por unidad de volumen (a) al disminuir el tamaño de las burbujas de gas en el líquido y por otra parte disminuyen el valor del

coeficiente de transferencia de masa (k_i) al aportar una resistencia adicional en la interface. Por lo tanto es difícil predecir a priori el efecto de los surfactantes sobre k_{1a} . Este dependerá del caso específico. En los estudios realizados con *Thiobacillus ferrooxidans* se ha visto una disminución neta de la capacidad de transferencia, la cual es del orden de un 40 a 50% aún para concentraciones de agente tan bajas como 10 partes por millón (ppm).

EFFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL MINERAL

En el caso de un sustrato insoluble, como se presenta el mineral como sulfuros, el factor que realmente interesa e interviene directamente en la cinética del proceso no es su concentración expresada como peso por unidad de volumen de suspensión. Al ser el compuesto insoluble, toda la materia que queda en el interior de la partícula no tiene intervención en el proceso y solo aquella porción en contacto directo con el líquido, la interfase sólido - líquido, se ve involucrada en la lixiviación. Por lo tanto el factor concentración se ve reemplazado en este caso por el área de la interfase sólido-líquido, expresada convenientemente como área superficial, por unidad de volumen.

Por lo tanto un aumento en esa área, producido por un mayor grado de molienda, debiera tener un efecto favorable en la velocidad de solubilización. Los estudios realizados tanto con minerales como con sistemas modelo confirman esta predicción. Disminuyendo el tamaño de la partícula se obtiene un aumento lineal de la velocidad de lixiviación hasta que algún otro factor, tal como el suministro de CO_2 , se hace limitante.

MECANISMOS DE ACCIÓN BACTERIANA

Todas las reacciones involucradas en el metabolismo de cualquier célula son reacciones químicas catalizadas por enzimas específicas. Mediante estas reacciones la célula obtiene materia y energía para biosintetizar la nueva célula.

La energía obtenida por diversas reacciones es, por así decirlo, almacenada en los enlaces fosfato-fosfato de ciertos nucleótidos, en especial del trifosfato de adenosina, ATP. Esta energía es liberada por escisión de uno o dos grupos fosfatos en el momento adecuado, haciendo posible reacciones endergónicas (aquellas cuyo cambio de energía libre es positivo, o sea que precisan de un aporte neto energético).

Las formas de obtener trifosfato de adenosina (ATP), en las células son varias. Normalmente las células obtienen el ATP durante el catabolismo en ciertas reacciones (por ejemplo, el paso de ácido fosfo enol pirúvico a pirúvico) y por reoxidación de los nucleótidos reducidos en la fosforilación oxidativa, en el caso de metabolismo aeróbico.

Pero además de estas reacciones de ocurrencia generalizada, existen algunas otras que sólo se presentan en ciertos microorganismos.

Es el caso del *Thiobacillus ferrooxidans*, el cual obtiene su trifosfato de adenosina (ATP) de la energía generada por la oxidación de ciertos iones inorgánicos, en especial sulfuros y ion ferroso.

No existe una total claridad sobre las reacciones involucradas en este proceso, ya que se han formulado varios modelos apoyados con buena evidencia experimental. Lo más probable es que el mecanismo dependa de la naturaleza exacta del mineral reducido usado como sustrato.

Básicamente se postulan dos tipos de mecanismos, denominados de oxidación directa y de oxidación indirecta

La oxidación directa tiene como reacción global la ecuación.



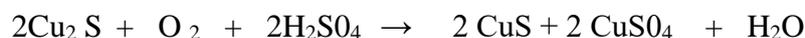
Para el mineral calcopirita (pirita de cobre) se ha propuesto la siguiente reacción de oxidación:



Para el mineral calcocita (Cu_2S), reacciona con el ácido sulfúrico y con la presencia de oxígeno, obteniéndose el sulfato de cobre más agua. Este sulfato tiene enlace iónico. La reacción química es:



y también:



La evidencia experimental parece favorecer este segundo mecanismo.

En el mecanismo indirecto, la oxidación es mediada por el ion férrico, el cual actúa en forma cíclica oxidándose y reduciéndose.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

A) MINERALES DE COBRE

El cobre en la naturaleza se presenta como mineral nativo, como carbonatos, como óxidos, silicatos y como sulfuros.

A partir de estos minerales se realizan diversos tratamientos metalúrgicos para obtener el cobre metálico y de allí su industrialización para producir

diferentes productos como principalmente la fabricación de cables y conductores eléctricos que se destinan a la electricidad y otros usos.

Los distintos minerales de cobre, más importantes desde el punto de vista comercial, sus composiciones y solubilidades técnicas se presentan en la Tabla No.2. 4

Tabla No.2.4 Minerales de cobre más importantes desde el punto de vista comercial.

MINERAL	COMPOSICIÓN	% Cu	SOLUBILIDAD(Cu)
Azurita	$(\text{CO}_3)_2 \cdot \text{Cu}_3(\text{OH})_2$	55,3	Fácilmente soluble en ácido
Malaquita	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	57,6	Fácilmente soluble en ácido
Crisocola	$(\text{Cu,Al})_2\text{H}_2[\text{Si}_2\text{O}_5/\text{H}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$	15 -25	Soluble en ácido
Tenorita	CuO	79,7	Soluble en ácido
Cuprita	Cu_2O	88,8	Soluble en ácido Fe^{+3}
Dioptasa Brochantita	$\text{CuSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	57,9	Soluble en ácido clorhídrico)
Cobre nativo	Cu	56,2	Soluble en ácido, amoníaco Fe^{+3}
Calcocita	Cu_2S	79,9	Soluble en ácido Fe^{+3}
Covelita	CuS	66,5	Soluble en ácido Fe^{+3}
Bornita	Cu_5FeS_4	63,3	Parcialmente soluble en ácido Fe^{+3}
Calcopirita	CuFeS_2	34,6	Parcialmente soluble en ácido Fe^{+3}

Fuente: Control Geometalurgico: Desafío en la Minería Peruana, Hilario Gorvenia, Empresa Diamond.

Estas solubilidades son generales, puesto que la real depende de un gran número de factores, tales como el tamaño de partícula, concentración del ácido o del hierro trivalente, tiempo de contacto, temperatura, etc.

B) LIXIVIACIÓN

Es el proceso de disolución de metales valiosos de una mena o concentrado, mediante una solución acuosa como agente lixivante.

El lixivante más utilizado para minerales de cobre incluye, entre otros, al ácido sulfúrico (H_2SO_4). Se utiliza generalmente para minerales de óxidos y concentrado.

En el caso de minerales sulfuros es usado en conjunto con sulfato férrico que actúa como oxidante.

El método a escoger para lixiviar un mineral o material de desecho dependerá principalmente de los valores del metal contenido en el material, el costo de minado y traslado del mineral a la superficie, el costo de molienda, la facilidad de disolución y otros tratamientos de prelixiviación tales como tostación o fundición.

La fácil disolución del material está relacionada estrechamente con su constitución química y mineralógica.

De esta manera, los minerales de cobre que contienen carbonato, como la malaquita y azurita son fácilmente disueltos en ácido sulfúrico diluido, mientras que minerales sulfurados como la covelita (CuS), calcocita (Cu_2S) y calcopirita ($CuFeS_2$) requieren de un agente oxidante y se disuelven con más dificultad, particularmente la calcopirita, la cual puede ser muy refractaria.

C) LIXIVIACIÓN BACTERIANA

Es el proceso bio-hidrometalúrgico que aprovecha de las propiedades especiales que tienen ciertos microorganismos y sus reacciones sobre ciertos minerales. Estos microorganismos mono celulares son comúnmente llamados bacterias.

La bacteria lixivante es especial dentro de las diversas formas vivientes que se encuentran en nuestro planeta por el hecho de que obtiene la energía necesaria para sus procesos vitales, de la oxidación de sulfuros inorgánicos

insolubles o del ion ferroso requiriendo para subsistir de un medio ácido y siendo inafectado por concentraciones relativamente altas de iones metálicos dentro de su medio ambiente. No obstante la mayoría de los aniones distintos son tóxicos para esta bacteria. Por todo lo dicho podemos considerar a esta clase de bacteria como un bacilo acidófilo, aeróbico y autótrofo.

D) BACTERIA

Es un organismo unicelular microscópico cuyo tamaño fluctúa entre 0,25 a 10 micrones y que de acuerdo a su forma se les conoce como cocci (esfera), spirillas (espirales) o bacilli (varillas), tomando en cuenta su adaptabilidad al medio ambiente la bacteria puede ser halófilo, si vive en soluciones saturadas de sales, o acidófilas cuando soportan medios ácidos, o termófilas si resisten altas temperaturas, por su modo de actuar en presencia del oxígeno las bacterias se denominan aeróbicas, si necesitan la presencia de oxígeno libre para desarrollar su actividad o anaeróbicas cuando pueden funcionar en ausencia del oxígeno, finalmente si obtienen su propio sustento para sus ciclos energético y vital de la oxidación de las sustancias inorgánicas y obtienen su material celular de la fijación del anhídrido carbónico del aire se denominan autótrofas mientras que si requieren de la disponibilidad de materia orgánica se denominan heterótrofas.

Los conceptos de heterotrofismo y autotrofismo son importantes desde que puede suceder que una bacteria heterotrofica con un conveniente entrenamiento puede adaptarse a una existencia autotrófica y viceversa. Así la distinción marcada entre heterótrofos y autótrofos llega a ser no solo difícil sino quizás ilusoria.

La bacteria autotrófica a menudo se describe como bacteria primitiva, basándose en que los primeros organismos, (los primitivos), o menos complejos son aquellos que pueden usar los más simples elementos disponibles para su nutrición. Es igualmente cierto que estos mismos organismos pueden ser los más avanzados microorganismos en una escala evolucionaria desde que ellos se adaptan a las más desfavorables condiciones de medio ambiente.

La dificultad con que se tropieza para una adecuada discusión de la bacteria es debida a su tamaño, muy pequeño.

El uso del microscopio electrónico ha aclarado ciertas interrogantes en citología bacterial y morfología, pero hasta hace poco el interior de una célula bacterial permaneció casi opaco al microscopio electrónico hasta que se inventó una técnica mejorada para preparar secciones ultra delgadas de las células que han aclarado la citología de la bacteria, es decir, el estudio de su estructura.

E) THIOBACILLUS FERROXIDANS

El género Thiobacillus Ferroxidans es empleado en la lixiviación. Esta bacteria es considerada como una ayuda potencial en los procesos de lixiviación en medio ácido de los minerales sulfurados. Estos obtienen su energía de la oxidación de los compuestos de azufre y en el caso de la especie Thiobacillus Ferroxidans además de la oxidación de hierro ferroso.

Generalmente el substrato para ser oxidado es azufre o thiosulfato aunque también pueden usarse los sulfuros, sulfitos y polithionatos. El producto de la oxidación generalmente es el sulfato pero también puede formarse azufre libre. Se pueden considerar tres especies bien reconocidas de Thiobacillus

según sea aeróbicos para medio ácido, aeróbicos para medio alcalino o facultativos anaeróbicos. Estando interesados en las especies autotróficas, aeróbicas para medio ácido.

2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Recuperar cobre contenido en los minerales mixtos de la mina Utcush-Huánuco, evaluando por el método de la lixiviación bacteriana.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

1. los minerales de cobre se caracterizan e identifican individualmente, dentro de los minerales mixtos de la mina Utcush, se evaluarán sus condiciones, entonces se podrá recuperar el cobre presente.
2. Si evaluamos el porcentaje de extracción del cobre presente en los minerales, conoceremos la bondad de la lixiviación bacteriana.
3. Si los parámetros de consumo o generación de ácido afectan la lixiviación bacteriana entonces tendrá que ser controlada continuamente para la recuperación de cobre.

2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES INDEPENDIENTES

Evaluación de la lixiviación bacteriana de minerales mixtos de la mina Utcush. Se debe evaluar, el análisis del porcentaje de cobre, hierro y lectura del pH de la pulpa.

VARIABLES DEPENDIENTES

La recuperación de cobre del mineral de la mina de Utcush.

VARIABLES INTERVINIENTES

El mineral mixto de cobre proveniente de la mina.

2.6. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES

Variables	Indicadores
Evaluación de la lixiviación (Causa)	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis químico. (leyes). • Tiempo de lixiviación bacteriana • Temperatura • pH • Tamaño de partículas • Balance metalúrgico.
La recuperación de cobre (Efecto)	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis químico. (leyes). • Porcentaje de recuperación del cobre. • Generación de ácido

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio se enmarca dentro de una investigación de carácter aplicado y descriptivo. A tal efecto, Hernández, Fernández y Baptista señalan que “Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis.” En definitiva permiten medir o evaluar diferentes aspectos, tamaños o elementos del fenómeno a investigar, obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa; medir la información recolectada para luego describir, analizar e interpretar sistemáticamente las características del fenómeno estudiado con base en la realidad del escenario planteado.

De acuerdo a la técnica de contrastación: experimental.

3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

El método es el **descriptivo** porque a través de las pruebas se observa, describe, analiza y se interpreta sistemáticamente un conjunto de hechos relacionados con otras variables.

3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es la estructura para llevar a cabo una investigación, con el cual se puede obtener información necesaria para el estudio y/o resolver un problema.

MEDIO NUTRIENTE 9K

En el laboratorio se desarrollaron medios artificiales de cultivo, ya sea para determinar la presencia de bacterias en ciertas aguas de mina, o para mantenerlas vivas.

Los investigadores Silverman y Lundgren en 1959, crearon el medio nutriente 9K, el cual tiene la siguiente composición:

Solución A:

(Diluir a 700cc.)

$(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$3,00 g

K_2HPO_4 0,50

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$0,50

KCl 0,10

$\text{Ca} (\text{NO}_3)_2$0.01

Solución B:

(Diluir a 300 cc.)

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$44.4g

Mezclar ambas soluciones y adicionar H_2SO_4 hasta tener un pH 2,5

Para hacer un cultivo debe ponerse 100 cc de esta solución en un erlenmeyer de 200 cc y debe agregarse a esta unos 5 ml del agua de mina en observación.

Paralelamente debe hacerse una prueba en blanco, es decir sin agua de mina.

Al cabo de una semana la solución tornará a un color ámbar, debido a la presencia del hierro férrico oxidado por la bacteria. El frasco testigo nos mostrará variación de color.

EVALUACIÓN DE LA LIXIVIACIÓN BACTERIANA POR AGITACIÓN

Por ser la lixiviación bacteriana un proceso que toma mucho tiempo en llevarse a cabo, se hace conveniente una investigación previa de la posibilidad del tratamiento biológico del mineral y que ésta sea al mismo tiempo rápida. El método que se usa en la actualidad es el de lixiviación bacteriana con agitación, que describiremos más adelante. También existe una prueba rápida de evaluación por percolación que está perdiendo terreno en favor de la mencionada más arriba y por eso no ha sido tomada en cuenta.

Para la prueba se utilizan muestras finamente molidas (-400 mallas) en pequeñas cantidades (10 - 30 g.), suspendidas en un cierto volumen de una solución nutriente, contenido todo en un frasco erlenmeyer con agitación mecánica.

Durante la prueba se toman muestras periódicamente y se realizan análisis de las soluciones y a partir de esto, se construye la curva pertinente. Observando dicha curva, se puede determinar si el mineral responde o no al tratamiento.

Además, puede hacerse estimados preliminares acerca del consumo de ácido por el mineral o producción de esta bacteria, lo cual sirva de pauta en futuras evaluaciones económicas.

MÉTODO

Para efectuar las pruebas se procedió del siguiente modo:

1. Se tomó un kilogramo de una muestra representativa del mineral, cuarteada y homogenizada.
2. Luego se trituro y molió en un molino de bolas hasta conseguir un tamaño de partícula de 99% a -400 mallas.
3. Se realizó los análisis químico y mineralógico.
 - Ensayos de cabeza:
Cu (total), Cu (oxidado), Fe, S.
 - Análisis mineralógico:
Identificamos y confirmamos la presencia de minerales, de acuerdo al informe geológico que se tiene a la fecha, minerales como como: chalcopirita, chalcosita, bornita.
4. Se tomaron 30 gramos de muestra.
5. Se colocó el mineral en un erlenmeyer de 250 ml y adicionamos 70 ml de una solución nutriente 9K de Silverman y Lundgren (con hierro).
6. Se agito el conjunto, se chequea el pH; si el valor de esté es superior a 2.3 se agrega ácido sulfúrico para bajar por lo menos a este valor. Se agita nuevamente. Una vez más, se determina el pH, si es mayor de 2.8 agregamos más ácido. Agitar y leer el pH, y así sucesivamente hasta tener un pH constante y con un valor aproximado de 2.5.
7. Luego se agregó 5 ml de inóculo de Thiobacillus ferrooxidans.
8. Pesamos todo el conjunto y anotamos sobre el erlenmeyer.
9. Este es el punto inicial de la lixiviación bacteriana: cero horas.
10. Tomamos muestra para análisis de Cu^{++} , Fe^{++} , Fe^{+++} y lectura de pH

11. Se agito el conjunto, y tomamos muestras periódicamente. Antes de tomar la muestra, se pesó el conjunto y se llevo al peso original, agregando agua destilada a pH 2.0.

Las pruebas se hicieron por duplicado.

Paralelamente se hizo una prueba testigo, o prueba en blanco, en la cual no hay presencia de bacterias.

La prueba se da por concluida cuando la velocidad de extracción de cobre, disminuyo notablemente.

En este momento, se filtró la pulpa final usando un embudo Buchner; se lavó el queque con agua acidulada a pH 2,0. El filtrado y el lavado se llevó a una fióla a 500 cc donde se enrasa con la misma agua anterior, luego se analizó.

Igualmente se analizó el residuo o cola; tanto química como mineralógicamente.

Con estos datos se evaluó:

- La lixiviabilidad del mineral (velocidad de extracción)
- El consumo o generación de ácido (alcalinidad de la ganga).

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

POBLACIÓN

El total de reservas de mineral de cobre contenidos en el yacimiento minero Caolín.

MUESTRA

Una porción del total de reservas de mineral de cobre contenidos en la mina Utcush..

La muestra es definida como: “el subgrupo de la población de interés, sobre la cual se recolectan datos, debiendo esta ser representativa de la población” (Idem). Ello implica que cuando la muestra es representativa de la población, los resultados pueden generalizarse a todo el problema en estudio.

A continuación, presentamos el protocolo de muestreo y preparación de muestras de la empresa.

CIA MINERA CAOLIN

PROTOCOLO DE MUESTREO, PREPARACION DE MUESTRAS Y EVALUACION RAPIDA DE LA LIXIVIACION BACTERIANA POR AGITACION

El muestreo es una actividad que se desarrolla como parte del control. Esta actividad está destinada a obtener una representación física de las materias primas, productos o partes del proceso, con la finalidad de verificar o corregir el desarrollo o marcha del proceso.

El muestreo se lleva a cabo en el mineral procedente de la mina, en los stocks piles, en los reactivos, en las pulpas, en los medios, en los concentrados y en los relaves.

MUESTRA

Es una pequeña porción de materia que representa a una cantidad mayor o todo y que permite la determinación de la calidad de cada uno de sus componentes.

Para que una porción de materia sea considerada como una buena muestra, debe cumplir los siguientes requisitos:

A) REPRESENTATIVA: La muestra debe contener todos los componentes del

mineral muestreado en una cantidad pequeña.

B) PROPORCIONAL: Las pequeñas cantidades presentes en la muestra, deben encontrarse en pesos y volúmenes de acuerdo a la cantidad que representan.

PRECAUCIONES EN LA TOMA DE MUESTRA

Los principales cuidados que se deben tener al tomar muestras son los siguientes:

La frecuencia del muestreo debe ser estrictamente cumplida en el caso de muestreo a mano y bien programado en el caso de muestreo automático.

Buscar la técnica más eficiente en la toma de muestras según las características y el punto de muestreo.

El depósito que recibe la muestra debe encontrarse totalmente limpio antes de ubicarse en el punto de muestreo.

Salvaguardar la muestra de toda posible contaminación.

OPERACIONES GENERALES

En la sección preparación de muestras, se realizan las siguientes operaciones generales:

- Mezcla de muestra
- Cuarteo de la muestra
- Filtrado de la muestra
- Secado de la muestra
- Pulverizado de la muestra
- Tamizado de la muestra
- Envasado de sobres

MEZCLA DE LA MUESTRA

La muestra luego de obtenida debe ser mezclada completamente para que sea representativa. Todos los constituyentes que forman la muestra, deben estar

homogéneamente distribuidos en toda la masa de la muestra. Esta operación se puede realizar a mano o utilizando un separador cuarteador.

CUARTEO DE LA MUESTRA

Es la operación que consiste en reducir el peso de la muestra a través de un cuarteo sucesivo hasta obtener una pequeña porción de mineral que es lo que constituye propiamente la muestra. El cuarteo se lleva a cabo a mano o por medio del separador JONES u otro tipo de separador.

*** CUARTEO A MANO**

- Cuando se trata de muestras de mucho peso, de granos grandes y secos, el cuarteo se realiza utilizando una pala.
- Cuando se trata de muestras en polvo, se realiza el coneo y cuarteado en la mesa, sobre un hule, utilizando una espátula.

*** CUARTEO CON EL SEPARADOR JONES**

Está constituido por una caja rectangular, cuyo fondo presenta un conjunto de divisiones con descargas alternadas hacia uno y otro costado de la caja. La carga que se alimenta se recibe dividida en dos depósitos distintos. Uno de ellos se desecha y la otra se vuelve a cuartear tantas veces como sea necesario.

FILTRADO DE LA MUESTRA

Esta operación permite la eliminación del agua que contienen las muestras de pulpas, quedando en el papel de filtro y en el paño sólidos húmedos. El filtrado de las pulpas facilita enormemente el trabajo del secado, pues si no se hiciese esta operación, el tiempo que se tomaría para eliminar el agua, sería muy largo y la entrega de muestras al laboratorio para hacer los ensayos, no sería oportuno.

SECADO DE LA MUESTRA

La operación del secado de muestra, se realiza en una estufa de fierro, calentado con

resistencias eléctricas.

La estufa presenta varios pisos, las muestras que se van a secar, se colocan en la zona de mayor calor que se encuentra lo más próximo a las paredes de la estufa.

A medida que las muestras se van secando, estas se trasladan hacia el centro de la estufa (zona de menor calor), para completar el secado.

PULVERIZADO DE LA MUESTRA

Es la operación por medio del cual, se reduce el tamaño de partículas de muestras. La pulverización se realiza con la finalidad de entregar al laboratorio una muestra preparada para el ataque químico.

TAMIZADO DE LA MUESTRA

Consiste en separar o clasificar por tamaños las partículas que constituyen la muestra. Los fines particulares del análisis granulométrico son:

Determinación del tamaño de las partículas

Separación de ellas de acuerdo a su tamaño

*** TAMICES**

En la sección preparación de muestras se utiliza generalmente la serie de tamices "Tyler" y la serie U.S. Standard.

PRODUCTOS Un tamizado presenta dos tipos de productos:

La más malla, y la menos malla.

MÁS MALLA: Es la porción de partículas que se quedan encima de la mallas (tienen mayor tamaño que la abertura de la malla).

MENOS MALLA: Es la porción de partículas que pasan a través de la malla (tienen menor tamaño que la abertura de la malla).

MÉTODOS DE TAMIZADO

El tamizado se puede realizar en húmedo o en seco, de acuerdo a las necesidades y al

método.

TAMIZADO EN HUMEDO

Este método es utilizado generalmente para muestras que contienen partículas finas. En este caso, la muestra debe ser tamizada utilizando las mallas 200 a 400, con ayuda de un chorrito fino de agua limpia. Se usa este tamizado, con el objeto de no perder muestra fina, que al estado seco se perdería en el ambiente.

TAMIZADO EN SECO

Este método se usa para las partículas de muestra, cuyo tamaño sea mayor que la malla 200. Se puede realizar manualmente o empleando una maquina "RO-TAP"

ANALISIS DE MALLA

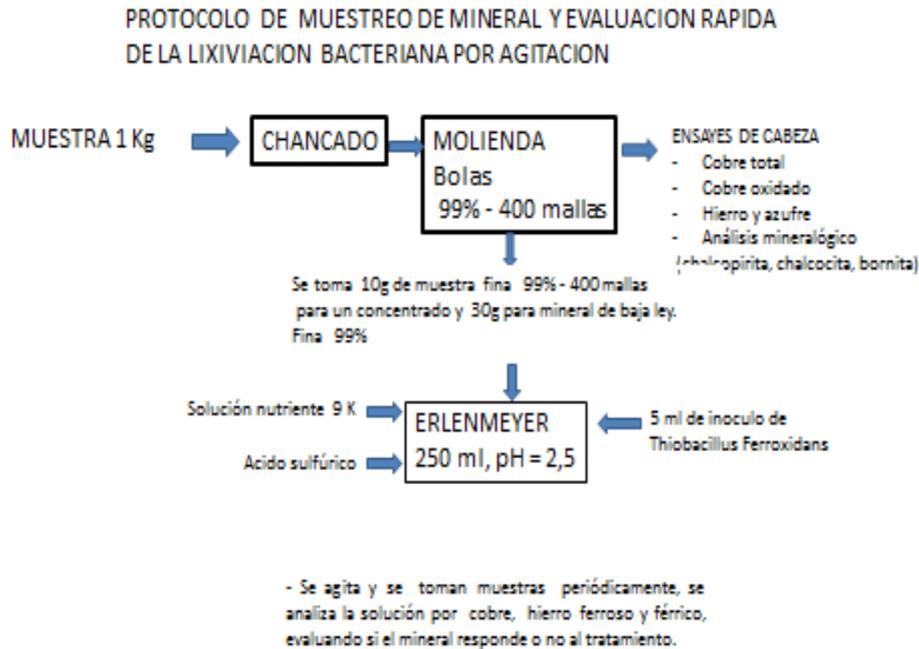
Es la operación de tamizado, que consiste en utilizar una serie de mallas, que nos permita determinar los tamaños de grano y los pesos que en cada fracción se tiene de una determinada muestra.

El análisis de malla se realiza en muestras con el fin de apreciar grados de trituración y molienda.

ENVASADO EN SOBRES

Luego de preparada, la muestra debe ser llenada en dos sobres con aproximadamente 200 gr de peso cada uno. El primero es entregado a laboratorio para el análisis y el segundo es archivado como muestra testigo.

Fig. No. 3.1 Protocolo de muestreo y evaluación de lixiviación bacteriana.



Fuente: Empresa Minera Caolín SRL.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas usadas en la investigación:

MUESTREO

Se tomarán muestras de acuerdo al protocolo de muestreo que tiene la empresa, de calicatas, por el método de redes, que luego se juntan las muestras, se homogeniza y debemos obtener una ley de cabeza homogénea.

ANÁLISIS DOCUMENTAL

Se usa esta técnica, preferentemente en base a fuente primaria, se toma en cuenta procedimientos como: acopio bibliográfico, lectura de la bibliografía respectiva, análisis y resumen.

Para la elaboración del marco teórico se recurrió a las fuentes bibliográficas disponibles del investigador, en bibliotecas y del Internet, como: Tesis, Libros, Monografías: Virtuales y Físicas, Revistas y Base de Datos.

ENTREVISTA

Permite obtener información en forma directa de los profesionales expertos en el campo metalúrgico con respecto al tema de lixiviación bacteriana de minerales de cobre.

3.6. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Los datos se tomaron mediante análisis físicos, mineralógicos, ensayos químicos y una vez llevado a cabo las pruebas experimentales de lixiviación bacteriana.

3.7. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Para la interpretación de los resultados se empleó la técnica estadística simple. Se usó el programa Excel.

3.8. SELECCIÓN, VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

A) VALIDEZ: Seguridad, exactitud



Error sistemático

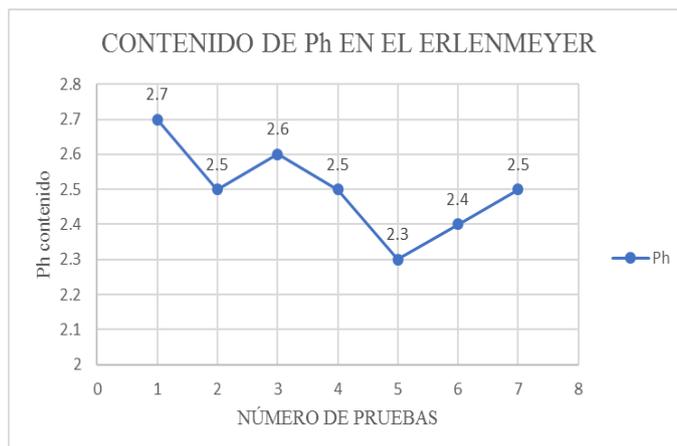
B) CONFIABILIDAD: Precisión, reproducibilidad



Error aleatorio

Tabla: Contenido de Ph contenido en el instrumento Erlenmeyer:

CONTENIDO DE Ph EN EL ERLLENMEYER	
PRUEBAS	Ph
P1	2.7
P2	2.5
P3	2.6
P4	2.5
P5	2.3
P6	2.4
P7	2.5
Promedio	2.5



Bastante exacto pero no preciso: Mayor cantidad de datos de 2.5 de Ph en el Erlenmeyer con datos muy aproximados al promedio.

3.9. ORIENTACIÓN ÉTICA

El desarrollo de esta investigación se hizo con la orientación ética del bien con el mejor comportamiento humano posible, para poder optimizar la recuperación de los minerales con bajo costo en ayuda a la mina Utcush para su crecimiento en el ámbito minero.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

El análisis químico del mineral del yacimiento reporta 2.26% de cobre.

Tabla No.4,1 Leyes químicas reportadas por laboratorios Plenge –Lima.

Mina Utcush	%Cu	%Pb	Ag (Oz/TM)
	2,26	0,13	0,38

Fuente: Laboratorios Plenge

De estos minerales de mena, se pretende extraer el cobre, para el cual en primer lugar hemos identificado los minerales presentes, los cuales se muestran en la tabla No. 4,2

De acuerdo a la teoría, la calcopirita y la calcocita, son minerales sulfurosos, fáciles de lixiviar, aceptan con éxito la lixiviación bacteriana, debido a que son excelentes

portadores de alto poder energético, además de fácil disolución por procesos electroquímicos o por oxidación férrica, porque presentan propiedades electroquímicas como semiconductores que son.

Se pesaron 20 kilos del mineral y fue triturado a 99% a – 400 mallas, luego se le extrajo el cobre soluble con ácido sulfúrico.

TABLA No. 4,2 Minerales de mena de cobre identificados en la mina Utcush.

MINERAL	COMPOSICIÓN	% Cu	SOLUBILIDAD(Cu)
Calcopirita	CuFeS_2	34,6	Parcialmente soluble en ácido Fe^{+3}
Calcocita	Cu_2S	79,9	Soluble en ácido Fe^{+3}
Bornita	Cu_5FeS_4	63,3	Parcialmente soluble en ácido Fe^{+3}
Cuprita	Cu_2O	88,8	Soluble en ácido Fe^{+3}
Dioptasa Brocantita	$\text{CuSiO}_3\text{H}_2\text{O}$	57,9	Soluble en ácido clorhídrico
Malaquita	$\text{Cu CO}_3\text{Cu(OH)}_2$		Soluble en acido sulfurico.

Fuente: Elaboración propia.

Se analizó químicamente el mineral sobrante y que corresponde en su mayor parte a minerales sulfurados, para someterlos a la lixiviación bacteriana.

El análisis químico del mineral, en promedio se reporta en la tabla No. 4,3

En total se utilizó 12 frascos, erlenmeyer.

Se utilizó como medio nutriente 9K (de Silverman y Lundgren) que contiene gran cantidad de fierro, 44 g/lit, es especial para el desarrollo de la especie thiobacilus ferroxidans. (Estas especies se sembraron en 9K, notándose desarrollo bacteriano).

Fig. No. 4.1 Medio Nutriente 9K (de Silverman y Lundgren), para el desarrollo de la especie thiobacilus ferroxidans.



TABLA No. 4,3 Análisis químico general del mineral de Utcush.

Prueba	%Cu (total)	%Cu (oxido)	% Fe (Total)
1	1,78	0,60	2,60
2	1,83	0,68	2,42
3	1,99	0,62	2,63
4	1,76	0,70	2,34
5	1,88	0,65	2,59
PROMEDIO	1,85	0,65	2,52

Fuente: Elaboración propia.

Se pesa 30 gramos de muestra de mineral triturado 99% a – 400 mallas y se coloca en un Erlenmeyer.

La solución poco a poco se pigmenta a amarillo, este se debe a la precipitación del ion férrico presente en el medio que fue oxidado por el thiobacillus ferrooxidans.

Fig. No. 4.2 Precipitación del ion férrico.



Fuente: Elaboración propia.

4.2. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

CARACTERÍSTICAS DEL THIOBACILLUS FERROXIDANS

Para observar las características del thiobacillus ferrooxidans se hizo tinción con coloración diferencial de gram, con el apoyo de un biólogo, se observó que eran gram negativo que por su constitución de lipoproteínas y fosfolípidos de la membrana envolvente, estos lípidos forman un complejo rojo con el colorante safranina. Esta coloración nos permitió observar a Thiobacillus ferrooxidans que tiene forma alargada, su agrupación es en cadenas y su dimensión de 0,7 mm de largo.

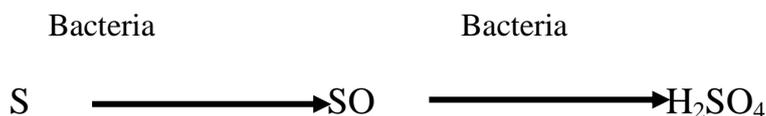
La bacteria como resultado de sus ciclos metabólicos tienen la propiedad de oxidar ciertos elementos, como:

Acción de la bacteria, thiobacillus Ferrooxidans frente al ion hierro.

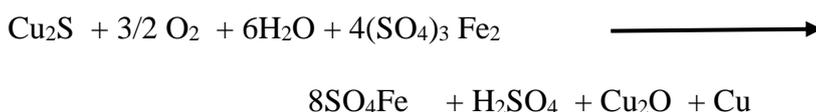




Acción de la bacteria, thiobacillus Ferroxidans frente al azufre.

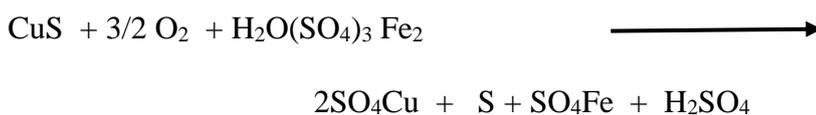


Se logra la lixiviación ácida por medio del ácido sulfúrico producido por las bacterias, obteniéndose de los minerales tipo chalcopirita y calcosita iones solubles, produciéndose óxidos, sulfatos de cobre y hierro, estas reacciones son las siguientes:



Como se observa por termodinámica se forma el agua ácida conteniendo el cobre, este cobre es precipitado por el hierro, quedando el hierro como sulfato de hierro.

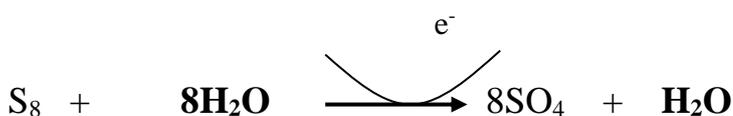
La otra reacción es la formación de los sulfatos y ácido sulfúrico.



De esa manera se obtiene el agente oxidante



Se elimina del circuito el azufre molecular, como resultado de la lixiviación por acción bacteriana:



Tomando en cuenta la propiedad de las bacterias los elementos como se observa en las reacciones anteriores, se inició la lixiviación, con solución acida de 0,50 g/lit de ácido sulfúrico. (H₂SO₄).

Se procedió de acuerdo al método descrito anteriormente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tiempo de lixiviación: 42 días

Extracción de cobre : 65,3% a -400 mallas.

Tabla No. 4.4 Extracción de cobre

Tiempo (días)	% de Extracción
4	5,21
15	7,93
25	9,18
34	15,26
42	23,91

Fuente: Elaboración propia.

CONSUMO DE ÁCIDO

La actividad realizada por los microorganismos, en el mineral mixto se observó que era productor de ácido. Si bien es cierto que durante el ajuste del pH se consumió ácido, este no solo fue restituido, sino que además se produjo una considerable cantidad.

Tabla No. 4.5 Producción de ácido

Tiempo (días)	CONCENTRACION DE ACIDO		
	CONTENIDO	PRODUCIDO	CONSUMIDO
10	5,23	5,41	6,63
17	7,81	13,67	10,90

25	8,32	36,42	26,14
33	5,96	48,70	43,68
42	5,11	85,13	88,58

Fuente: Elaboración propia.

4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS

1. Se ha demostrado que si se puede recuperar cobre contenido en los minerales mixtos de la mina Utcush- Huánuco, evaluando por el método de la lixiviación bacteriana.
2. Se identificaron minerales oxidados como la cuprita y malaquita cuyas características son solubles en ácidos como el ácido sulfúrico, también tenemos la presencia de minerales sulfurados como la calcopirita y calcosita, que de acuerdo a la teoría estos son lixiviables bacteriamente y demostramos en este trabajo que son lixiviables bacteriamente y hemos recuperado el cobre presente en el mineral de la mina de Utcush.
3. El porcentaje de extracción del cobre presente en los minerales fue de 65.3%, aunque esta recuperación es todavía baja podemos apreciar que si podemos utilizar la lixiviación bacteriana como método de producción de cobre.
4. El proceso nos indica la generación de ácido sulfúrico que lejos de perjudicarnos nos ayuda en el proceso de la lixiviación bacteriana, que no necesita mayor control para la recuperación de cobre.

4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

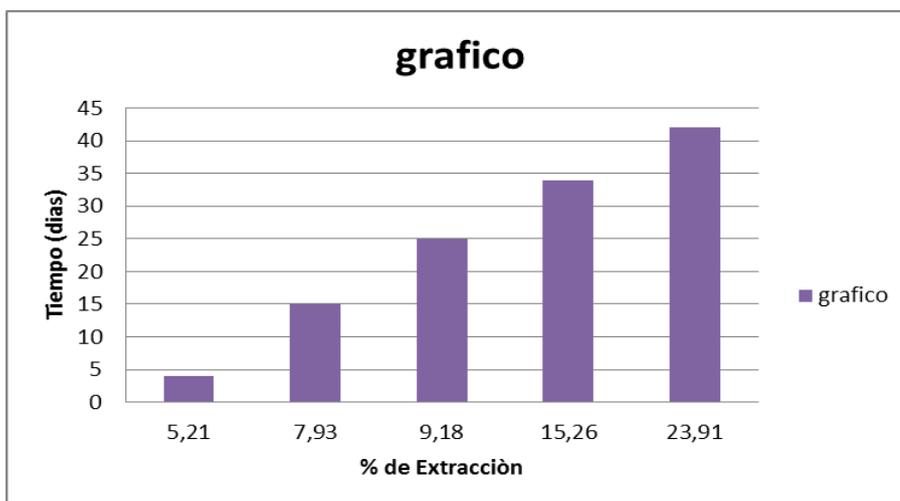
De acuerdo a los antecedentes presentados en el presente trabajo, en el trabajo de lixiviación bacteriana del mineral de Michiquillay se alcanzó 42% de extracción de cobre, pero se lixivio utilizando columnas de lixiviación, en nuestro trabajo se

alcanzó en total un 65,3% de extracción de cobre a -400 mallas, pero la lixiviación fue mediante agitación.

La lixiviación bacteriana al mineral de cobre con nutriente 9K, se desarrolló en 42 días.

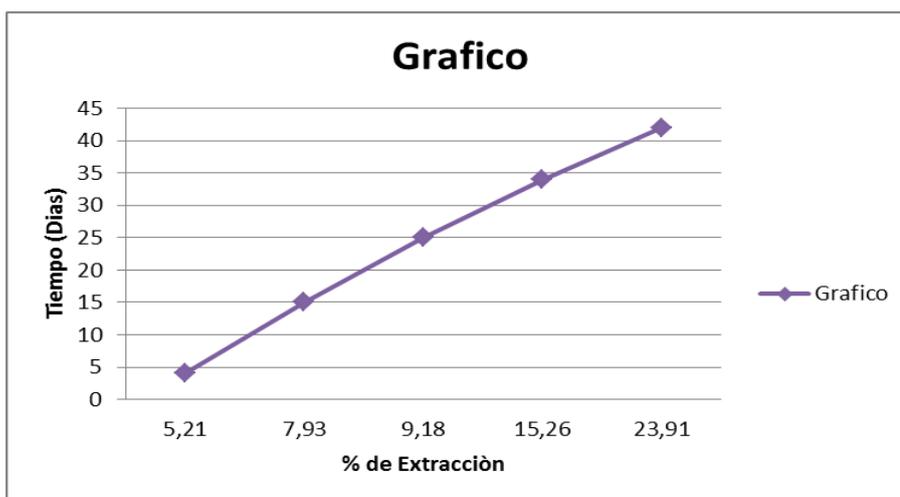
En el siguiente grafico se observa la distribución porcentual de extracción de cobre en función del tiempo.

Fig. No. 4,1 porcentajes de extracción de cobre en función del tiempo.



Fuente: Elaboracion propia.

Fig. No. 4,2 porcentajes de extracción de cobre en función del tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

Los thiobacillus ferrooxidans son oxidantes del azufre y son litotroficas (nutren de sales inorgánicas) para sintetizar sus propias proteínas teniendo como fuente de elementos nutritivos el amonio, nitratos, fosfatos, sulfatos, el carbono y oxígeno lo toman del aire del medio ambiente.

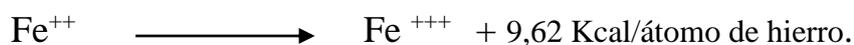
Quimiosintéticas utilizan la energía liberada de tales sustancias. Estos microorganismos por tener una estructura celular muy sencilla carecen de ciertos organelos esenciales como en el caso de mitocondrias (centros energéticos); pero en su lugar poseen una membrana envolvente muy desarrollada, donde se encuentran inmersos unos centros o puntos de alto contenido enzimático, donde se hallan las proteínas citocrómicas cuya función es de transferir los electrones desde un sustrato hasta un agente aceptor tal como el oxígeno, gracias a las proteínas catalíticas de las bacterias, que actúan como transportadores de electrones pueden llevarlas a un sustrato para reducirlo y mientras ocurre esto, ellas van captando la energía liberada en los enlaces de alto poder energético como lo es la ATP.(Adenosina trifosfato) donde por cada media molécula de oxígeno que se consume, se forman tres moléculas de ATP.

La ADP (adenosina difosfato) reacciona con el fósforo dando ATP.

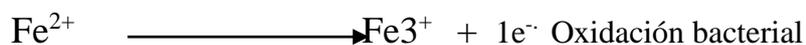


Al enlazarse a la molécula de adenosina difosfato (ADP) con átomo de fósforo inorgánico, dicho enlace almacenará energía de 7,4 Kilocalorías por mol, por lo tanto se sintetiza 21,5 Kilocalorías por cada media molécula de oxígeno.(1/2 O₂).

Se sabe que la cantidad de energía que la bacteria puede obtener teóricamente de un sulfuro o del ion ferroso es muy diferente, pues solo sus oxidaciones dan lo siguiente:

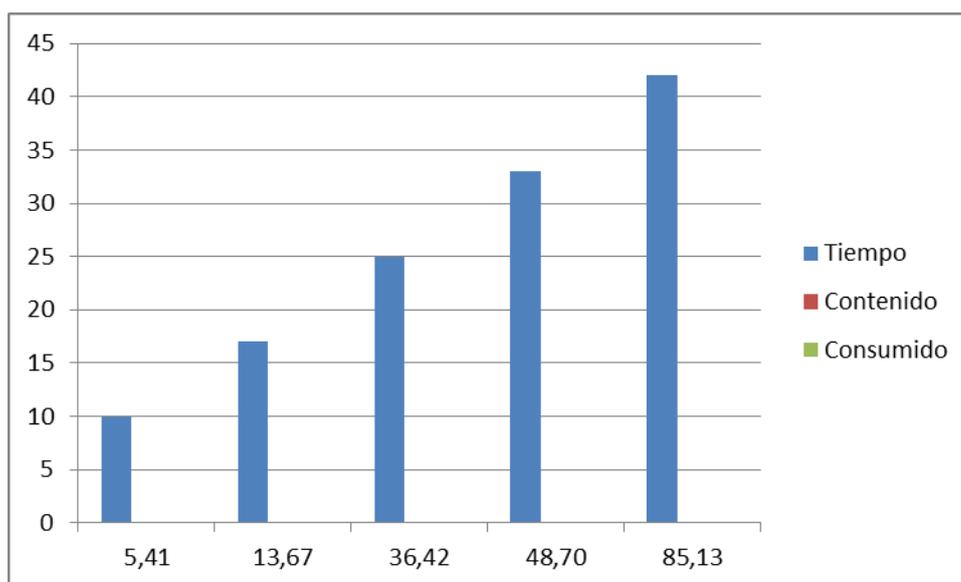


Se sabe entonces que las bacterias para lograr sus procesos de síntesis, lo hace tomando energía de electrones de alto nivel energético, este pasa por una cadena ubicada en la membrana exterior, que toma parte de la energía y finalmente entrega, este electrón, a un aceptor que puede ser el ion H^+ ; así:



Es así como la bacteria utiliza la energía de las reacciones químicas, a las cuales cataliza y como productos resultantes, la disolución o lixiviación de los sulfuros, por lo cual el cobre pasa al estado de disolución.

Fig. No. 4.3. Producción de ácido en función del tiempo.



Fuente. Elaboración propia.

Se produce cantidades importantes de ácido sulfúrico que en definitiva ayudan a la economía del proceso de lixiviación bacteriana, haciendo que el mineral sea lixiviable.

En el trabajo presentado por Julio Bonelli, Raúl Vásquez, (JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA LIMA PERU)1990, intitulado LIXIVIACION ACIDA – BACTERIANA EN PILAS O BOTADEROS: UNA TECNICA

ECONOMICA PARA BENEFICIAR MINERALES MARGINALES DE COBRE, concluye que la solución lixiviada se puede cementar con chatarra de hierro como una alternativa rentable aunque existen otros métodos de cementación de acuerdo a la ley del metal que se quiere obtener.

En esta investigación como alternativa a nuestra falta de economía también, la solución lixiviada hemos cementado con chatarra de hierro el cual da buenos resultados habiendo obtenido como grado 58,7 % de cobre en el cemento de cobre el cual es vendible en el mercado.

CONCLUSIONES

1. Identificado la presencia de cuprita y malaquita (óxidos y carbonatos) se solubilizo primero el mineral con ácido sulfúrico, los sulfuros presentes calcopirita, calcosita y bornita fueron sometidos a la lixiviación bacteriana siendo las bacterias responsables de la oxidación de los sulfuros y su posterior sulfatación.

Las bacterias en un medio nutritivo 9K, actúan oxidando sulfuros y otros iones produciendo sulfatos solubles y ácido sulfúrico, han lixiviado bien los sulfuros de cobre habiéndose obtenido recuperaciones de 65,3% de cobre a - 400 mallas.

2. Durante el proceso se genera ácido sulfúrico. La producción de este ácido sulfúrico ayuda a la economía del proceso.
3. El material lixiviado fue cementado con chatarra de hierro, habiéndose obtenido un cemento de cobre con 58.7% de cobre el cual es apto para el mercado de commodities.

RECOMENDACIONES

1. La recuperación alcanzada de 65,3% de cobre a – 400 mallas es todavía baja, debe realizarse más pruebas para mejorar esta recuperación, aunque la teoría dice que las bacterias lixivian bien los sulfuros de cobre como calcosita, covelita y bornita, pero con la calcopirita tienen un comportamiento caprichoso, pero también como alternativa recomiendo que los minerales mixtos de cobre de la mina Utcush se debe procesar haciendo una lixiviación ácida de la fracción oxidada y luego una lixiviación bacteriana para recuperar el cobre de la fracción sulfurada, a ello debe adicionarse una evaluación económica preliminar del proyecto, que a su vez decidiría una mayor inversión en pruebas complementarias, específicamente útiles y propongo la lixiviación bacteriana en pilas y se diseñe las pilas de lixiviación.
2. La generación de ácido sulfúrico, a pesar que nos ayuda en la economía del proceso, esta debe ser controlada para evitar el impacto ambiental si en el futuro se decide llevar a cabo el proyecto de lixiviación bacteriana.
3. En el futuro debería realizarse pruebas y ensayos metalúrgicos para utilizar después de la lixiviación bacteriana la extracción del metal por solventes y electrodeposición para obtener el cobre metálico puro con 99,99% de cobre y no el cemento de cobre de 58,7%. Entonces nuestras ganancias serían mayores.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acevedo Bonzi Fernando, Aplicación de la ingeniería bioquímica a la lixiviación de sulfuros” Seminario Internacional sobre procesos Especiales de la Metalurgia Extractiva del Cobre. Trujillo- Perú.
2. Austin, G. (1990). “Manual de Procesos Químicos en la Industria”. México: McGraw-Hill.
3. Bonelli Julio, Vasquez Raul, Junta del Acuerdo de Cartagena, Lima Perú, “Lixiviación Acido - Bacteriana en pilas o botaderos: Una Técnica Económica Para Beneficiar Minerales Marginales de Cobre.
4. Boynton, R. (1980). Chemistry and Technology of Lime and Limestone. Mexico: John Wiley & Sons Inc.
5. Córdova Arnaldo, Menacho Jorge, “Estudio de factibilidad del tratamiento de soluciones de lixiviación bacterial mediante extracción por solventes” Departamento de metalurgia extractiva, Chile.
6. Córdova Arnaldo, Menacho Jorge, “Presencia de Agentes Emulsificantes Sólidos en la Operación de Intercambio Iónico” II Seminario Fisicoquímico de Superficies y Flotación, Chile, 1975.
7. Corporación minera de Bolivia, Oruro, Proyecto de pre factibilidad “Planta hidrometalurgia de cobre Corocoro” Mayo de 1978.
8. Gonzales F; Pizarro C. “Lixiviación Bacterial”, Mina vieja de Potrerillos, Informe interno CIMM, Julio 1975.
9. Frisancho Motta, Victoria, “Distribución Bacterial en los Circuitos: Lixiviación – Extracción por Solventes-Electrodeposición-Cristalización y algunos comportamientos en la relación bacteria Orgánico”.

10. Herrera Mary; Rodríguez Jorge “Lixiviación Bacteriana, Características de la Curva de Crecimiento Bacterial y su Dependencia con Respecto a Parámetros que Interfieren en el Ciclo Vital de las Bacterias”, Lima 1978.
11. Lacey, D.T. , Iwson, F. Biotecnología, 1970.
12. Paredes Castillo, Jefe de planta piloto, Centro Experimental Chihuahua, Consejo de Recursos Minerales, “Investigación y Experimentación de la Planta Piloto de Biolixiviación Sobre un Mineral Específico”.
13. Reporte interno de Centromin Perú al PADT- cobre, comunicación privada, Producción de sulfato de cobre a nivel de laboratorio.
14. Reporte interno de Centromin Perú al PADT- cobre, comunicación privada, Producción de sulfato de cobre con soluciones de lixiviación de la Planta de Toromocho,1981
15. Rodríguez Velarde, Jorge, Oviedo Aida, “Correlaciones de variables en lixiviación”.
16. Sotillo Cesar, “Lixiviación Bacteriana”, INCITEMI.
17. Torma, A. E. , Walden, C. Biotecnología.

ANEXOS

ANEXO 1. FOTOGRAFICOS

Foto1. Vista de la Bocamina principal. Nv.3250



Foto2. Vista del Manto en el nivel 3250, al inicio es de menor espesor, pero de acuerdo como profundiza este se vuelve de mayor espesor.

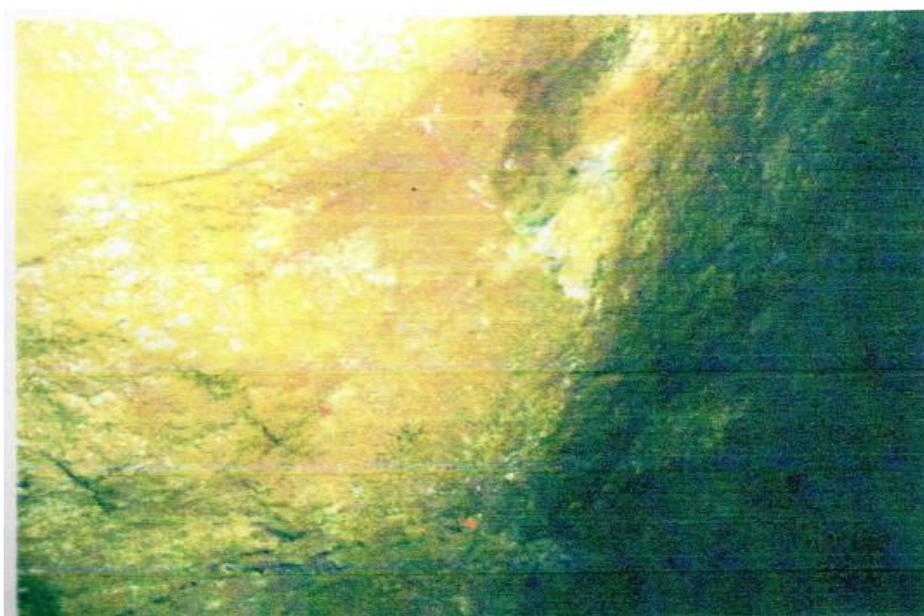


Foto3. vista del manto en nivel 3250, con óxidos y sulfuros de 1.2m de espesor, labor en media barreta



Foto 4. Vista panormica de Utcush desde el camino al nivel 3250



Foto 5. Vista panorámica de la entrada a la veta en el Nv. 2850



Foto6. Vista de cerca de la entrada al Nv. 2850

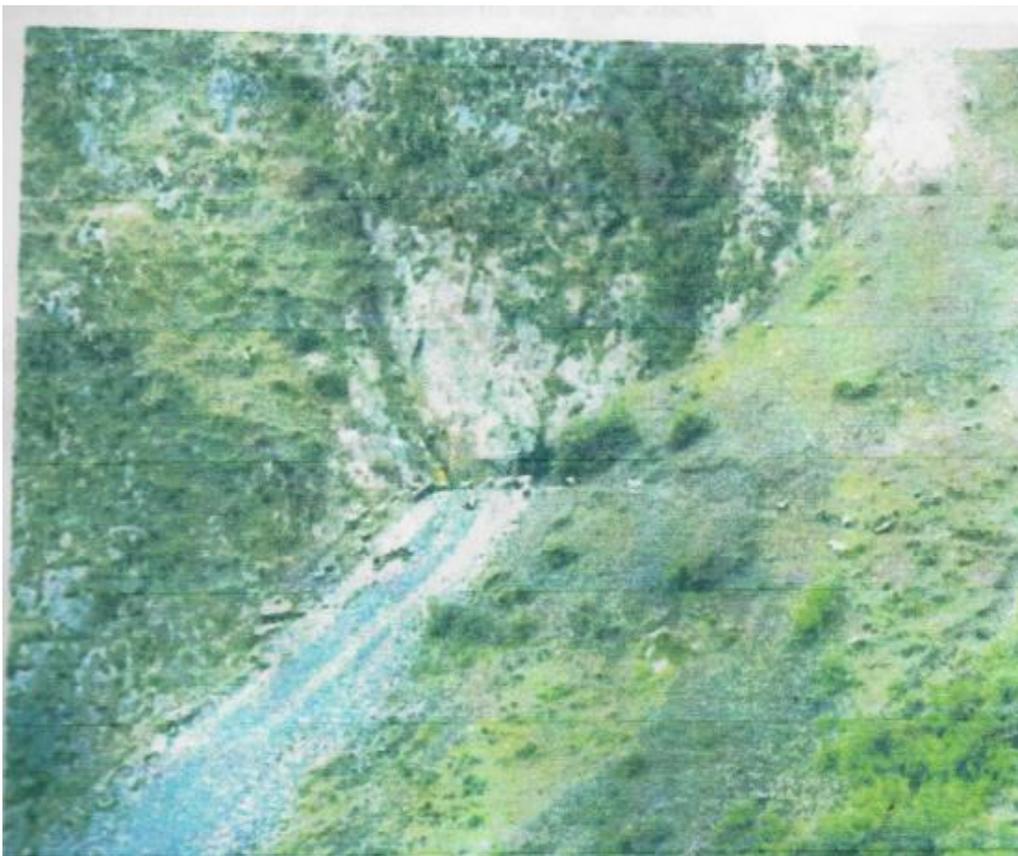


Foto7. Vista del intrusivo mineralizante, la mineralización se observa en la base intrusiva en contacto con los sedimentarios del grupo Ambo.

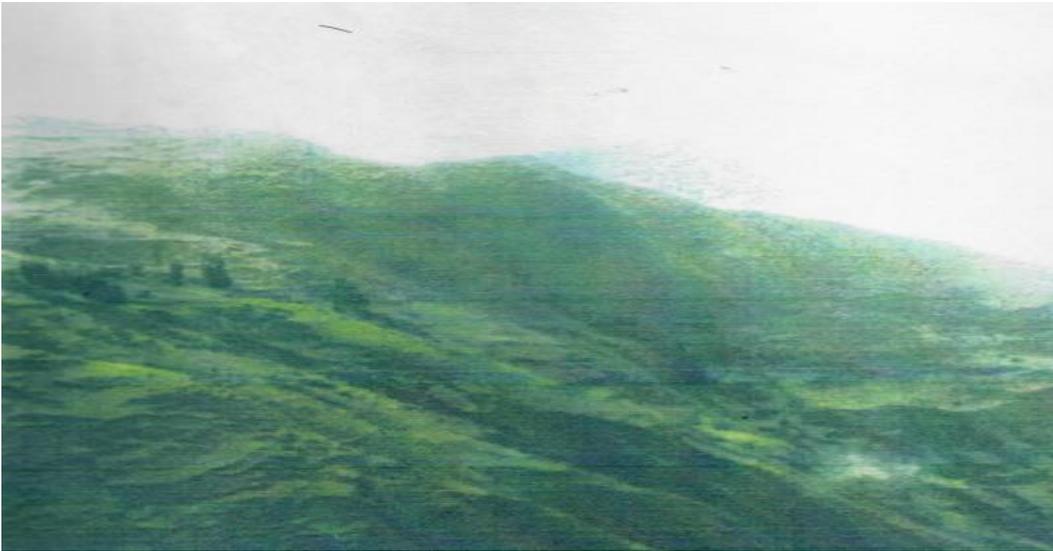


Foto8. Vista de la veta de cuarzo del tipo rosario en el nivel 2850, se observa como se estrangula la veta de rumbo N-S buzando 50°E

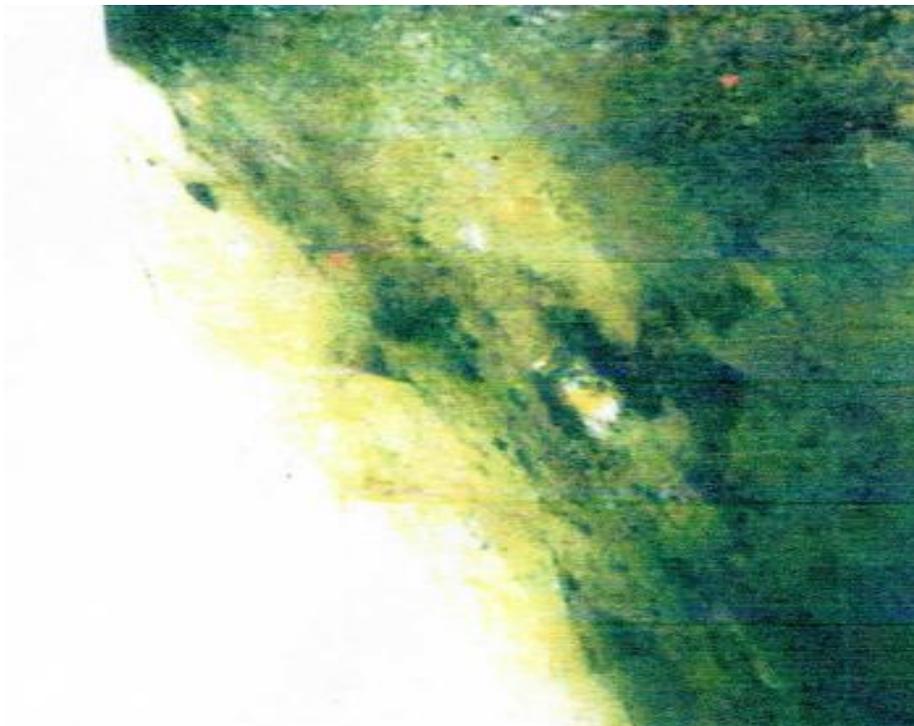


Foto9. Vista de la misma veta de cuarzo, se observa Mineralizacion de Sulfuros.



Foto 10. Vista de la Bocamina Nv. 2850



Foto 11. Vista de la veta de cuarzo en nivel 2850, en la galería se observa una



bolsonada de 1.5 m de espesor y unos 6m. de continuidad.

Foto 12. Realización de las mezclas



Foto 13. Calculando el peso de los reactivos usados con ayuda de la balanza.

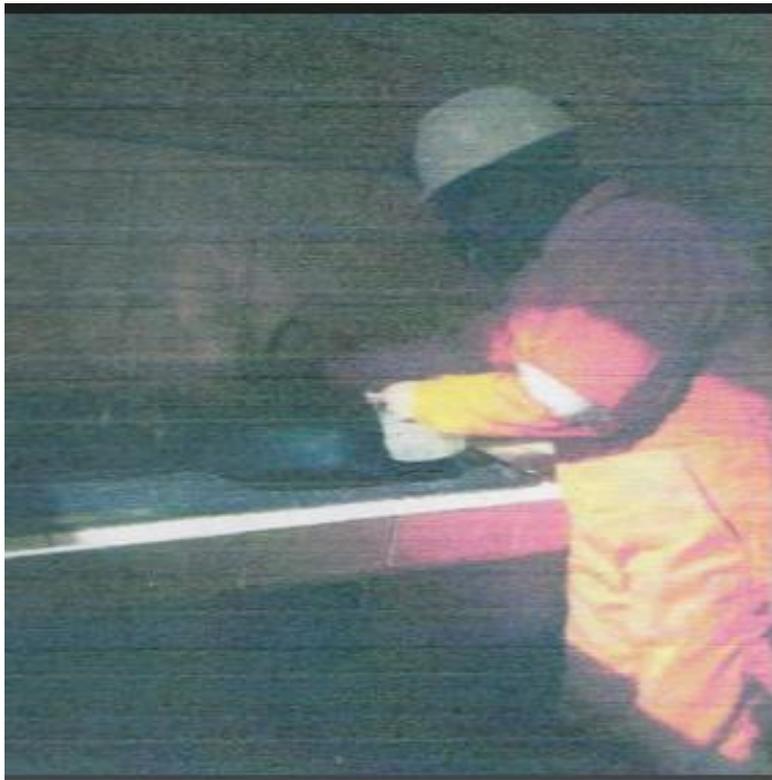


Foto 14. Realización de la lixiviación

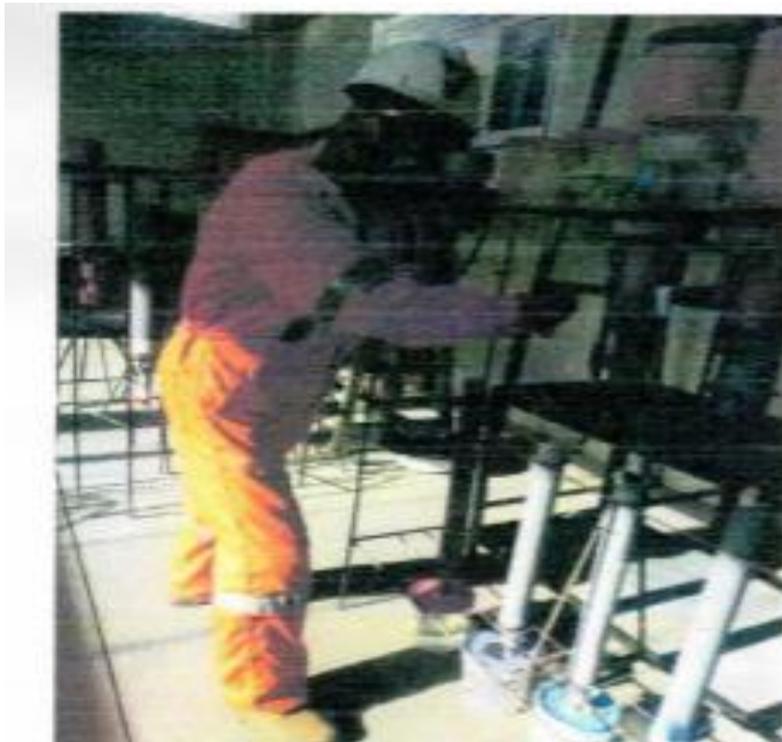
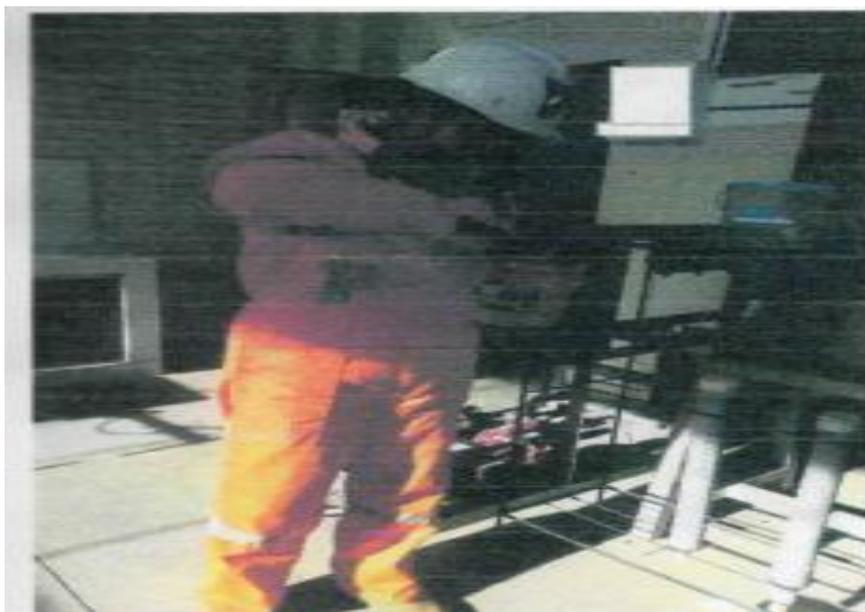


Foto 15. Manipulación de muestras de la bacteria Thiobacillus Ferroxidans



ANEXO 2. MUESTREO

Tabla 1. Leyes de minerales mixtos de la Mina Utcush.

Mina Utcush	LEYES		
	%Cu	%Pb	Ag (Oz/TM)
	2.26	0.13	0.38

Tabla 2. Minerales encontrados en la Mina Utcush.

MINERAL	COMPOSICIÓN	% Cu	SOLUBILIDAD(Cu)
Calcopirita	CuFeS_2	34,6	Parcialmente soluble en ácido Fe^{+3}
Calcocita	Cu_2S	79,9	Soluble en ácido Fe^{+3}
Bornita	Cu_5FeS_4	63,3	Parcialmente soluble en ácido Fe^{+3}
Cuprita	Cu_2O	88,8	Soluble en ácido Fe^{+3}
Dioptasa Brocantita	$\text{CuSiO}_3\text{H}_2\text{O}$	57,9	Soluble en ácido clorhídrico
Malaquita	$\text{Cu CO}_3\text{Cu(OH)}_2$		Soluble en acido sulfurico.

Foto 1. Muestra de la Bacteria *Thiobacillus Ferroxidans* contenido en aguas ácidas.

