



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“RECUPERACIÓN DE COBRE MEDIANTE LIXIVIACIÓN BACTERIANA DE MINERALES SULFURADOS A PARTIR DE UN CONSORCIO BACTERIANO AISLADO DE BORNITA DE LA ZONA DE TAULIS-CALQUIS DE LA PROVINCIA SAN MIGUEL DE PALLAQUES-CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero de Minas**

**Autores:**

Anthony Pierre Cruzado Cabanillas  
Jorge Carlos Guerrero Vargas

**Asesor:**

Mg. Ing. Gary Christiam Farfán Chilicaus

Cajamarca – Perú  
2017

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### Contenido

<b><u>APROBACIÓN DE LA TESIS</u></b> .....	<b>ii</b>
<b><u>DEDICATORIA</u></b> .....	<b>iii</b>
<b><u>AGRADECIMIENTO</u></b> .....	<b>iv</b>
<b><u>ÍNDICE DE CONTENIDOS</u></b> .....	<b>v</b>
<b><u>ÍNDICE DE TABLAS</u></b> .....	<b>vii</b>
<b><u>ÍNDICE DE FIGURAS</u></b> .....	<b>vii</b>
<b><u>RESUMEN</u></b> .....	<b>.xi</b>
<b><u>ABSTRACT</u></b> .....	<b>xii</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
1.1. Realidad problemática .....	13
1.2. Formulación del problema. ....	14
1.3. Justificación .....	14
1.4. Limitaciones.....	15
1.5. Objetivos.....	15
1.5.1. <i>Objetivo general</i> .....	15
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	15
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
2.1. Antecedentes.....	16
2.2. Bases teóricas .....	17
2.2.1. <i>Cobre en el Perú</i> .....	17
2.2.2. <i>Lixiviación</i> .....	19
2.2.3. <i>La Biolixiviación</i> .....	21
2.2.4. <i>Aspectos Microbiológicos</i> .....	23
2.2.5. <i>Mecanismos de Lixiviación</i> .....	25
2.2.6. <i>Parámetros en el Proceso de Biolixiviación</i> .....	30
2.2.7. <i>Microorganismos Involucrados en Biolixiviación</i> .....	33
2.2.8. <i>Principales Microorganismos en la Biolixiviación</i> .....	38
2.2.9. <i>Medios de cultivo para el aislamiento de microorganismo nativos</i> .....	42
2.3. Hipótesis .....	42
2.3.1. <i>Formulación de la Hipótesis</i> .....	42
<b>CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>43</b>
3.1. Operacionalización de variables.....	43
3.2. Diseño de investigación.....	43
3.3. Unidad de estudio.....	43
3.4. Población .....	43
<b>3.5. Muestra (muestreo o selección)</b> .....	<b>44</b>

3.6. Técnicas, instrumentos.....	44
3.7. Procedimiento de análisis de datos.....	45
3.7.1. <i>Modelo Experimental</i> .....	45
3.7.2. <i>Procedimientos</i> .....	46
3.7.3. <i>Análisis de Datos</i> .....	47
3.8. Metodología.....	47
3.8.1. <i>Recolección y análisis fisicoquímico del mineral</i> .....	47
3.8.2. <i>Disminución de mineral a malla 200 (0.074 mm)</i> .....	50
3.8.3. <i>Aislamiento, monitoreo de parámetros del aislamiento, conteo de microorganismos y adaptación de microorganismos de Bornita, Calcopirita, Agua ácida y A. Ferrooxidans</i> .....	51
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>55</b>
4.1. Monitoreo de parámetros de aislamiento.....	55
4.1.1. <i>pH</i> .....	57
4.1.2. <i>Crecimiento Bacteriano</i> .....	61
4.2. Adaptación de Microorganismos reduciendo el sulfato ferroso del medio 9k.....	64
4.3. Tratamientos de Recuperación de Cu.....	68
4.4. Comportamiento del pH en el proceso de recuperación de Cu.....	69
4.5. Comportamiento del Eh en el proceso de recuperación de Cu.....	70
4.6. Comportamiento de la temperatura en °C del Proceso de recuperación de Cu.....	73
4.7. Recuperación de Cu.....	74
4.8. Variación de Hierro.....	76
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>80</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: PRODUCCIÓN DE COBRE EN MILES DE TONELADAS PARA LOS AÑOS 2015-2016 EN CIFRAS REALES Y PRESUPUESTADAS	18
TABLA 2: ALGUNAS BACTERIAS ASOCIADAS A LA OXIDACIÓN DE MINERALES SULFURADOS Y RANGO DE TEMPERATURA , ACIDEZ MÁS VENTAJOSA PARA SU DESARROLLO.	35
TABLA 3: ALGUNAS BACTERIAS ASOCIADAS A LA OXIDACIÓN DE MINERALES SULFURADOS Y RANGO DE TEMPERATURA , ACIDEZ MÁS VENTAJOSA PARA SU DESARROLLO.	42
TABLA 4: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	43
TABLA 5: TABLA DE UBICACIÓN DE VETA TAULIS - CALQUIS-SAN MIGUEL -CAJAMARCA	47
TABLA 6: ANÁLISIS OBTENIDOS DE LAS MUESTRAS ENVIADAS AL LABORATORIO	49
TABLA 7: UBICACIÓN DE MUESTRA DE CALCOPIRITA	50
TABLA 8: UBICACIÓN DE LA MUESTRA DE RELAVE	50
TABLA 9: COMPONENTES DE LA SOLUCIÓN A DEL MEDIO 9K	52
<b>NOTA:</b> LA SOLUCIÓN B NO SE ESTERILIZÓ PARA EVITAR LA OXIDACIÓN Y PRECIPITACIÓN DEL HIERRO. <i>TABLA 10: SOLUCIÓN B DE MEDIO 9K</i>	53
TABLA 11: PARÁMETROS MONITOREADOS EN EL PROCESO DE AISLAMIENTO	55
TABLA 12: DATOS REGISTRADOS DEL PH EN EL PROCESO DE AISLAMIENTO	58
TABLA 13: CRECIMIENTO BACTERIANO	61
TABLA 14: ADAPTACIÓN DE POBLACIÓN BACTERIANA AL MINERAL	64
<i>TABLA 15: 1º ADAPTACIÓN</i>	66
TABLA 16: 2º ADAPTACIÓN	66
<i>TABLA 17: 3º ADAPTACIÓN</i>	66
<i>TABLA 18: 4º ADAPTACIÓN</i>	67
TABLA 19: 5º ADAPTACIÓN	67
TABLA 20: DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS Y TRATAMIENTOS.	68
TABLA 21: MONITOREO DEL PH EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE CU.	69
<i>TABLA 22: MONITOREO DEL PROMEDIO DE PH EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE CU.</i>	70
TABLA 23: COMPORTAMIENTO DEL EH EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE CU	71

TABLA 24: DATOS DEL MONITOREO DE TEMPERATURA DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE CU. -----	73
TABLA 25: DATOS DE % RECUPERACIÓN DE CU. -----	74
TABLA 26: PROMEDIO DE % DE RECUPERACIÓN SEGÚN EL INÓCULO USADO. -----	75
TABLA 27: DATOS PPM (MG/L) DE LA VARIACIÓN DE FE. -----	76
TABLA 28: PROMEDIO DE PPM DE VARIACIÓN SEGÚN EL INÓCULO USADO. -----	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: PRODUCCIÓN DE LAS PRINCIPALES MINERA CUPRÍFERA -----	17
FIGURA 2: VISTA AÉREA DE LA PLANTA DE EXTRACCIÓN POR SOLVENTES FAENA RADOMIRO TOMIC.-----	21
FIGURA 3: CONSORCIO BACTERIANO ASILADO EN MEDIO LÍQUIDO -----	22
FIGURA 4: CONSORCIO BACTERIANO ASILADO EN MEDIO SÓLIDO -----	22
FIGURA 5: MICROORGANISMOS OBSERVADOS EN MICROSCOPIO EN AUMENTO 100X -----	24
FIGURA 6: MECANISMO DIRECTOS E INDIRECTOS DE BIOLIXIVIACIÓN -----	26
FIGURA 7: ETAPAS DE CRECIMIENTO DE LAS BACTERIAS EN FUNCIÓN DEL TIEMPO. -----	31
FIGURA 8: VISUALIZACIÓN DE BACTERIA EN CÁMARA DE NEUBAUER-----	32
FIGURA 9: CLASIFICACIÓN DE LOS MICROORGANISMO Y SU RELACIÓN A LA PRESENCIA DE OXÍGENO -----	34
FIGURA 10: ESQUEMA DE METODOLOGÍA Y EXPERIMENTOS REALIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN. -----	46
FIGURA 11: VETA - TAULIS - CALQUIS - SAN MIGUEL - CAJAMARCA -----	48
FIGURA 12: MINERAL BORNITA - VETA TAULIS -----	49
FIGURA 13: SECUENCIA DE CHANCADO Y TAMIZADO DEL MINERAL.-----	50
FIGURA 14: EQUIPO DE MEDICIÓN DE PH, EH Y T-----	51
FIGURA 15: CÁMARA DE NEUBAUER BOECO CON ESPEJO DE 1/10 MM.....	54
FIGURA 16: FÓRMULA PARA REALIZAR EL CONTEO EN CÁMARA NEUBAUER. -----	54
FIGURA 17 : CULTIVO DE MICROORGANISMOS DE BORNITA, CALCOPIRITA, A. FERROXIDANS Y AGUA ÁCIDA EN EL DÍA 03/07/17 -----	56
FIGURA 18: CULTIVO DE MICROORGANISMOS DE BORNITA, CALCOPIRITA, A. FERROXIDANS Y AGUA ÁCIDA EN EL DÍA 10/07/17 -----	56
FIGURA 19: CULTIVO DE MICROORGANISMOS DE BORNITA, CALCOPIRITA, A. FERROXIDANS Y AGUA ÁCIDA EN EL DÍA 10/07/17 -----	57
FIGURA 20: MONITOREO DEL PH DEL CRECIMIENTO DE LA CEPA A. FERROXIDANS -----	58
FIGURA 21: MONITOREO DEL PH DEL CRECIMIENTO DE LA BORNITA -----	59
FIGURA 22: MONITOREO DEL PH DEL CRECIMIENTO DE LA BORNITA -----	59
FIGURA 23: MONITOREO DEL PH DEL CONTROL -----	60

FIGURA 24: MONITOREO DEL PH DEL CULTIVO Y AISLAMIENTOS-----	60
FIGURA 25: MONITOREO DE CEL/ML DEL CRECIMIENTO DE LA CEPA A. FERROXIDANS -----	61
FIGURA 26: MONITOREO DE CEL/ML DEL AISLAMIENTO DE BORNITA -----	62
FIGURA 27: MONITOREO DE CEL/ML DEL AISLAMIENTO DE AGUA ÁCIDA -----	62
FIGURA 28: CRECIMIENTO BACTERIANO EN LOS CONTROLES CONTROL -----	63
FIGURA 29: VISTA A 100X DE MICROORGANISMOS DE LA ÚLTIMA ADAPTACIÓN -----	63
FIGURA 30: ESTERILIZACIÓN DE MINERAL EN ESTUFA A 120°C POR 30 MINUTOS -----	65
FIGURA 31: TRATAMIENTOS EN ROTACIÓN CONSTANTE -----	69
FIGURA 32: TRATAMIENTOS EN ROTACIÓN CONSTANTE -----	71
FIGURA 33: MONITOREO DEL EH EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN -----	72
FIGURA 34: MONITOREO DEL EH EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN -----	72
FIGURA 35: MONITOREO DEL EH EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN -----	74
FIGURA 36: FÓRMULA PARA CONVERTIR DE PPM A PORCENTAJE -----	74
FIGURA 37: DATOS DE RECUPERACIÓN DE LOS PROMEDIOS SEGÚN TIPO DE INÓCULO USADO. -----	76
FIGURA 38: VARIACIÓN DEL Fe A LO LARGO DEL PROCESO -----	77

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se evaluó la extracción de Cu a partir de minerales sulfurados de la zona Taulis – Calquis – San Miguel de Pallaques – Cajamarca, relave y de otros sulfuros para poder validar y contrastar el procedimiento en diferentes tipos de mineral. Todos los experimentos se realizaron en el laboratorio de biología de la Universidad Privada del Norte Cajamarca y el Laboratorio de Ingeniería de Minas de la Universidad Privada del Norte Cajamarca.

Para realizar este procedimiento se empezó por el aislamiento de los microorganismos presentes en la Bornita y de aguas ácidas provenientes de pasivos ambientales de la Provincia de Hualgayoc. Paralelamente a este proceso se realizó un cultivo y reactivación de la cepa de *Acidithiobacillus Ferrooxidans* ATCC 23270, que nos sirvieron para poder mezclar los cultivos y obtener un consorcio bacteriano mixto que pueda tener un mayor porcentaje de efectividad en recuperación.

Seguidamente se realizaron pruebas en 19 tratamientos, correspondiendo los 3 primeros a mineral de bornita con un cultivo bacteriano proveniente de la cepa de *Acidithiobacillus Ferrooxidans* ATCC 23270, las 3 muestras siguientes se utilizó mineral de bornita y un cultivo de microorganismos aislados del mismo mineral, las 3 muestras siguientes fueron de mineral de bornita con un cultivo de microorganismos proveniente de agua ácida, las siguientes 3 fueron de mineral de calcopirita con un consorcio bacteriano mixto de todos los cultivos, las siguientes 2 fueron de relave con un consorcio bacteriano mixto de todos los cultivos, las 2 siguientes fueron de bornita y pirita con un consorcio bacteriano mixto de todos los cultivos y las 3 últimas fueron los controles conteniendo mineral de bornita y sin adición de cultivo bacteriano.

Los parámetros que se analizaron en la etapa de adaptación y crecimiento bacteriano fueron el pH, Eh, temperatura y población bacteriana (cel/ml), y en la etapa de recuperación se analizaron las mismas junto a la recuperación en porcentaje (Recuperación %Cu). Teniendo valores de recuperación máximos de 5.88%Cu del mineral de bornita con microorganismos aislados del mismo mineral y 9.53%Cu del mineral de calcopirita con el consorcio bacteriano en 29 días.



## ABSTRACT

In the present research work, the extraction of sulfur minerals from the Taulis - Calquis - San Miguel de Pallaques - Cajamarca, tailings and other sulphides zones was evaluated in order to validate and contrast the procedure in different mineral types. All the experiments were carried out in the biology laboratory of the Universidad Privada del Norte in Cajamarca and the Laboratory of Mining Engineering of the Universidad Privada del Norte in Cajamarca.

To carry out this procedure, we began by isolating the microorganisms present in the population and waters of the waters coming from the environments of the province of Hualgayoc.

Parallel to this process was carried out a culture and reactivation of the strain of *Acidithiobacillus Ferrooxidans* ATCC 23270, which served to be able to mix the cultures and obtain a mixed bacterial consortium that can have a greater percentage of effectiveness in recovery.

Tests were found in 19 treatments, the first 3 corresponding to a bornite mineral with a bacterial culture from the strain of *Acidithiobacillus Ferrooxidans* ATCC 23270, the following 3 samples were used minerals of the same and a culture of isolated microorganisms of the same mineral, 3 were found of nitrogen ore with a culture of microorganisms from acidic water, the next 3 were from chalcopyrite minerals with a mixed bacterial caretaker of all cultures, the next 2 were reference with a mixed bacterial consortium of all The last two were born and converted into bacterial bacteriosis.

The parameters that were oriented in the stage of adaptation and bacterial growth were the pH, Eh, temperature and bacterial population (cel / ml), and in the recovery stage they were analyzed together with the recovery in percentage (Recovery% Cu). Having maximum recovery values of 5.88% Cu of the water mineral with microorganisms isolated from the same mineral and 9.53% Cu of the chalcopyrite mineral with the bacterial concierge in 29 days.

## **NOTA DE ACCESO**

**No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales**

## REFERENCIAS

- Arias A., V., Lovera D., D., Quiñones L., J., Flores P., A., Gil R., J., Ramírez, L., & Cayo, H. (2015). *Biolixiviación de cobre a partir de minerales sulfurados con altos tenores de pirita y arsenopirita*. Lima-Perú: Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM.
- asturnatura. (04 de 12 de 2017). *asturnatura.com*. Obtenido de <https://www.asturnatura.com/mineral/bornita/185.html>
- Ballester, A., & Córdoba, E. (2005). *Hidrometalurgia de la Calcopirita*. España: Universidad Complutense de Madrid.
- Bastidas, O. (05 de 12 de 2015). *Celeromics*. Obtenido de <http://www.celeromics.com/es/resources/docs/Articulos/Formula-Camara-Neubauer-Concentracion.pdf>
- Cárdenas, J. C., Guerrero Rojas, J. J., & Zárate C, G. (5 de 12 de 2017). *Mecanismos de Oxidación Bacterial de Minerales Sulfurados*. Chile.
- Ccopa Campos, M. A. (5 de 12 de 2017). *Magnitudes Físicas*. Obtenido de <http://es.calameo.com/read/004791148509b72cdfedf>
- CODELCO. (04 de 12 de 2017). *CODELCO EDUCA*. Obtenido de [https://www.codelcoeduca.cl/procesos\\_productivos/escolares\\_lixivacion.asp#1](https://www.codelcoeduca.cl/procesos_productivos/escolares_lixivacion.asp#1)
- Díaz López, C. V. (2011). *ESTUDIO DE LOS PROCESOS RELEVANTES*. Chihuahua, Chih: CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES.
- Directorio Minero del Perú. (2011). Perú : Proyectos Mineros del Futuro. *PROVEEDOR MINERO*, 11.
- Gold Fields. (2016). Reporte Integrado 2016. *Reporte Integrado 2016*, 224.
- Guerrero Rojas, J. j. (1998). *BIOTECNOLOGIA EN LA DISOLUCION Y RECUPERACION DE METALES*. Trujillo: Presentado en el Primer Congreso Peruano de Biotecnología y Bioingeniería.
- Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros. (2016). *Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros*. Lima: Ministerio de Energía y Minas.
- Herrera Anacona, E. (2017). *COMPLEMENTOS DE HIDROMETALURGIA*. Chile: Universidad Católica del Norte.
- Ho Lock, D. (2009). Aplicaciones en la biometalurgia. *Revista de Química*, 6.
- Linares G, N. (5 de 12 de 2017). *Procesamiento Minerales- Metalurgia II*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/59752564/Capitulo-VII-BALANCE-METALURGICO-EN-CIRCUITOS-DE-FLOTACION>
- Misari Chuquipoma, F. S. (2016). *TECNOLOGÍA DE LA LIXIVIACIÓN BACTERIANA DE MINERALES*. Lima- Perú: IAKOB Comunicadores y Editores S.A.C.
- Navarro Donoso, P. (Dirección). (2014). *Lixiviación Bacteriana Hidrometalurgia* [Película].
- Nowaczyk, k., Juszczak, A., Domka, F., & Siepak, J. (1998). *The Use of Thiobacillus Ferrooxidans Bacteria in the Process of Chalcopyrite Leaching*. Grunwaldzka: Department of Kinetics and Catalysis.
- Ortiz Martínez, A. (2012). *Lixiviación Ácida de Minerales Oxidados de Cobre (Crisocola) con poca disolución de Fe al utilizar KHSO*. México: Universidad Autónoma de Mexico.
- Pilero. (25 de diciembre de 2007). *Recuperación de valores metálicos vía biohidrometalurgia*. Obtenido de <https://www.lixivacion.com/pagina/recuperacion-de-valores-metalicos-via-biohidrometalurgia>
- Rawlings Ed, D. E. (1997). *Biomining: Theory, Microbes and Industrial Processes*. South Africa: Department of Microbiology- University of Cape Tow.
- Rodríguez, Y., Ballester, A., Blázquez, M. L., Gonzáles, F., & Muñoz, J. (2001). Mecanismo de biolixiviación de sulfuro metálicos. *Revista de metalurgia*, 8.
- Rosales U., V., Guerrero R, J., & Sàez, M. (2001). *Biohidrometalurgia en la Recuperación de Valores Metálicos*. Lima: INDUSTRIAL DATA.

- Silverman, M. P., & Lundgren, D. C. (1959). *STUDIES ON THE CHEMOAUTOTROPHIC IRON BACTERIUM FERROBACILLUS FERROOXIDANS II*. New York: Department of Bacteriology and Botany, Syracuse University.
- Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía. (04 de Diciembre de 2017). *Diptico cobre, Antamina*. Obtenido de <http://www.antamina.com/wp-content/uploads/2015/07/cobre-peru-antamina.pdf>
- Valdés, J., Pedroso, I., Quantri, R., Dodson, R. J., Tettelin, H., Blake II, R., . . . Holmes, D. S. (11 de Diciembre de 2008). *BMC Genomics*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2017, de <https://bmcbgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2164-9-597>
- Vial Campis, T. (2011). *Impacto y repercusiones de la biotecnología en la minería a nivel latinoamericano en la aplicación de la biolixiviación como herramienta de la biominería*. República de Panamá: Universidad San Martín de Panamá.
- YANACOCHA S.R.L. (2015). REPORTE DE SOSTENIBILIDAD . *REPORTE DE SOSTENIBILIDAD* , 81.