Universidad Nacional Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

LA GEOBIOMETALURGIA Y LA RECUPERACION DE LOS MINERALES SULFUROS DE COBRE DE PALLANCHACRA PASCO

Línea de investigación:
Desarrollo alternativo en zonas vulnerables

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible

Autor

Aire Mendoza, Edgar Yoni

Asesora

Ramos Vera, Juana Rosa

ORCID: 0000-0001-5595-2234

Jurado

Martinez Alva, Pascual Alejandro

Marin Machuca, Olegario

Ccasani Allende, Julian

Lima - Perú

2025

RECONOCIMIENTO - NO COMERCIAL - SIN OBRA DERIVADA
(CC BY-NC-ND)

LA GEOBIOMETALURGIA Y LA RECUPERACION DE LOS MINERALES SULFUROS DE COBRE DE PALLANCHACRA PASCO

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%	10%	1%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	repositorio.unab.cl Fuente de Internet	1%
3	repositorio.uni.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	idoc.pub Fuente de Internet	1%
5	redi.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	www.monografias.com Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
10	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	repositorio.utp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
12	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

LA GEOBIOMETALURGIA Y LA RECUPERACION DE LOS MINERALES SULFUROS DE COBRE DE PALLANCHACRA PASCO

Linea de investigacion

Desarrollo alternativo en zonas vulnerables

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible

Autor

Aire Mendoza, Edgar Yoni

Asesora

Ramos Vera, Juana Rosa
ORCID 0000-0001-5595-2234

Jurado

Martinez Alva Pascual Alejandro
Marin Machuca Olegario
Ccasani Allende Julian

Lima- Perú

2025

Dedicado a mi madre y familiares.

Agradecimiento:

A mis docentes del Doctorado de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN....1

ABSTRACT....2

I. INTRODUCCIÓN…....3

1.1 Planteamiento del problema…....4

1.2 Descripción del problema....9

1.3 Formulación del problema....13

Problema general....14

Problemas específicos....14

1.4 Antecedentes....14

1.5 Justificación de la investigación....20

1.6 Limitaciones de la investigación....23

1.7 Objetivos....25

Objetivo general....25

Objetivos específicos....25

1.8 Hipótesis....25

II. MARCO TEÓRICO....26

2.1 Marco conceptual....26

III. MÉTODO....57

3.1 Tipo de Investigación....57

3.2 Población y muestra....58

3.3 Operacionalización de las variables....61

3.4 Instrumentos....62

3.5 Procedimientos....63

3.6 Análisis de datos....72

IV. RESULTADOS 74

V. DISCUSION DE RESULTADOS 80

VI. CONCLUSIONES 86

VII. RECOMENDACIONES 87

VIII. REFERENCIAS 88

IX. ANEXOS 91

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Tipos de menas de cobre más comunes explotables 32

Tabla 2. Solubilidad de sulfuros de cobre más importantes 34

Tabla 3. Menas oxidadas de cobre.....37

Tabla 4. Aspectos comparativos entre piro e hidrometalurgia 47

Tabla 5. Coordenadas del área de estudio del mineral de cobre.....59

Tabla 6. Protocolo de muestreo códigos y tareas para el muestreo 63

Tabla 7. Equipos de laboratorio.....64

Tabla 8. Materiales de vidrio.....65

Tabla 9. Reactivos 65

Tabla 10 Promedio de análisis químico del mineral.....68

Tabla 11. Promedio de análisis granulométrico del mineral de cabeza.....69

Tabla 12 Análisis químico del mineral de Pallanchacra Pasco 74

Tabla 13. Porcentaje de recuperación.....77

INDICE FIGURAS

Fig. 1. El ciclo de vida de una empresa minera..... 29

Fig. 2. Zonas de minerales en un yacimiento de cobre 33

Fig. 3. Diagrama para lixiviar óxidos de cobre 38
.
Fig. 4. Metalurgia del tratamiento de minerales sulfurados de cobre 42
.
Fig. 5. Lixiviación bacteriana de sulfuros de cobre 46

Fig. 6. Proceso de la investigación 58

Fig. 7. Ubicación del yacimiento de sulfuros de cobre Pallanchacra 59

Fig. 8. Toma de muestras en el yacimiento Sidkenu II, Pallanchacra 60

Fig. 9. Preparación, chancado y trituración de las muestras 60

Fig. 10. Homogenizado y pesaje del mineral 60

Fig. 11. Embolsado, etiquetado y sellado de la muestra 61

Fig. 12. Caracterizando los minerales sulfuros presentes..... 67

Fig. 13 Control de pH..... 69

Fig. 14. Proceso de lixiviación 70

Fig. 15. Presencia de sulfato de cobre 71

Fig. 16. Actividades de la investigación..... 71

Fig. 17. Eficiencia de la lixiviación bacteriana mineral de Pallanchacra 79

Fig. 18. Evolución de la lixiviación bacteriana mineral de Pallanchacra..... 79

RESUMEN

El objetivo fue evaluar la recuperación de cobre mediante disolución con bacterias minerales sulfurados a nivel de mineral de cabeza. Concesión Sidkenu II de Pallanchacra Pasco. Se utilizó un diseño experimental que consistió en disolver con bacterias, *ditthiobacillus ferroxidans*, minerales sulfurados, se identificó los minerales, se caracterizó y adaptó bacterias al clima del lugar para su desarrollo poblacional, al inicio se disolvió con ácido sulfúrico los óxidos del mineral y eliminó la solución, el punto de control fue cuando se unió el mineral sulfurado con bacterias más solución de ácido sulfúrico a 2,5 de pH, paralelamente se realizó una prueba en blanco, el mineral molido, se seleccionó a menos de 74 micrones, las pruebas se realizaron diariamente con agitación intermitente y ahogamiento del mineral con control a 2,5 de pH en el erlenmeyer durante 7 semanas. Al inicio se logró que la pulpa y solución consumieran ácido sulfúrico durante el control de pH, luego produjeran considerable cantidad de ácido por la actividad de la bacteria. De la solución sulfatizada, se precipitó cobre con chatarra de fierro. Se encontró que el yacimiento tiene óxidos y sulfuros de cobre identificándose covelita, calcosina, bornita, y calcopirita, se reportó 1,62% de cobre, 6,79 % de hierro y 4,41% de azufre, el rendimiento del proceso dio 65,9% durante 49 días siendo este una posibilidad de beneficio de minerales sulfurados para el desarrollo sostenible. Esta tecnología limpia, simple, económica, elimina costos piro metalúrgicos en el tratamiento de sulfuros de cobre.

Palabras clave: tecnología limpia, lixiviación, bacteria, vat agitated tanks vats

ABSTRACT

The objective was to evaluate copper recovery through dissolution with sulfurized mineral bacteria at the head ore level. Sidkenu II Concession of Pallanchacra Pasco. An experimental design was used, consisting of dissolving sulfurized minerals with bacteria, *ditthiobacillus ferroxidans*, identifying and characterizing the minerals, and adapting the bacteria to the local climate for their population development. Initially, the mineral oxides were dissolved with sulfuric acid and the solution was removed. The control point was when the sulfurized mineral was combined with bacteria and a sulfuric acid solution at pH 2.5. Simultaneously, a blank test was performed. The ground mineral was selected to be less than 74 microns. The tests were carried out by intermittent daily agitation and drowning of the mineral with pH control at 2.5 in an Erlenmeyer flask for 7 weeks. It was achieved that the pulp and solution initially consumed sulfuric acid during pH control, then produced a considerable amount of acid due to bacterial activity. From the sulfated solution, copper was precipitated with iron scrap. It was found that the deposit contains copper oxides and sulfides, identifying covellite, chalcocite, bornite, and chalcopyrite, reporting 1.62% copper, 6.79% iron, and 4.41% sulfur. The process yield reported 65.9% over 49 days, being a possibility for the beneficiation of sulfurized minerals for sustainable development. This clean, simple, economical technology eliminates pyrometallurgical costs in the treatment of copper sulfides.

Keywords: clean technology, leaching, bacteria, vats.

I. INTRODUCCION

El proceso de globalización y las estrategias del desarrollo sostenible deben cumplir objetivos ambientales de la Agenda 2030, en medio de ello se demanda intensivamente el cobre, el futuro del uso y producción de este metal está asegurado por sus propiedades tecnológicas y cotización en alza permanente. Se estima que la producción mundial de cobre se incrementará 3.9% en 2025, (Cochilco, 2024). Los países más desarrollados de América Latina cuentan con reservas de minerales a nivel mundial. En el caso del Perú, destaca el distrito de Planchara, región Pasco el mineral del yacimiento reporta 1,6 % de cobre.

Si los minerales son sulfuros de cobre, el cobre se obtiene, por dos vertientes; la primera, es más rápida, y de mayor producción, es por concentración por flotación, seguido de pirometalurgia y electrometalurgia, considerados tratamientos complejos, contaminantes y de alto costo, obteniéndose cobre comercial. La segunda vertiente es la lixiviación pirometalúrgica y electrodeposición. En pirometalurgia, en los diversos hornos se elimina azufre, como bióxido de azufre, este gas se recupera para generar ácido sulfúrico, pero un remanente de este, debido a la ineficiencia del proceso y otros aspectos, se va a la atmosfera generando lluvias acidas y contribuyendo a destruir la tierra, contaminando el aire, envenenando los ríos, acelerando nuestra extinción y de otras especies. (Manrique et al., 2021)

Los reglamentos ambientales, y su exigente aplicación no permiten contaminar el medio ambiente.

Se identificó minerales sulfurados luego se evaluó la recuperación del metal cobre mediante pirometalurgia usando un proceso natural, se utilizó la capacidad de microorganismos, bacterias que oxidan sulfuros de cobre, hacia sus sulfatos solubles

evaluando el rendimiento y velocidad de extracción del cobre para luego calcular la generación de ácido.

La presente investigación tiene el propósito de usar tecnologías limpias y de bajo costo, es importante esta investigación, para eliminar la tecnología de la concentración por flotación y la compleja pirometalurgia, sulfatados, el cobre se recupera por algún procedimiento de precipitación, llegando a obtenerse cobre comercial.

Con el uso de tecnología limpia se minimizan los impactos ambientales para el desarrollo sostenible.

Visto lo anterior, el objetivo fue evaluar la recuperación de cobre mediante disolución con bacterias de minerales sulfurados, concesión Sedeña II de Pallanchacra Pasco.

1.1 Planteamiento del problema

La supervivencia trae como consecuencia el uso de recursos naturales, la contaminación y otros problemas, pero también trae, avance tecnológico.

La presencia de sulfuros de cobre está identificada plenamente en la concesión minera, suden II del distrito de Pallanchacra, región Pasco. La tecnología limpia de la biolixiviación es una opción de beneficio metalúrgico para este mineral, tendientes a obtener cobre metálico.

Las bacterias *dithiobacillus ferroxidans* nos ayudan a obtener metales puros. Estas son responsables de generar aguas acidas y de disolver metales a partir de minerales sulfurados. (Misari, 2016).

Las bacterias *dithiobacillus ferroxidans* se encuentran en las aguas de drenaje de las minas de carbón y su relación con la lixiviación de minerales, se patento en 1957.

Existen bacterias que viven en condiciones acidas, en presencia de iones metálicas a quienes lixivian naturalmente, entonces el *dithiobacillus ferroxidans* son

acidófilas y viven en fisuras volcánicas, y en depósitos de minerales sulfurados que tienen alta concentración de ácido sulfúrico y viven en aguas termales.

La recuperación del cobre se considera un problema global, debido a factores como la disminución de las reservas minerales en el mundo, el impacto ambiental que genera su explotación minera y la ineficiencia en los procesos de reciclaje (Mudd y Jowitt, 2018).

Es necesario evaluar la disponibilidad y agotamiento de recursos metálicos, así como las reservas de minerales que contienen cobre están disminuyendo, lo que nos lleva a la exploración y explotación de yacimientos de menor ley y a mayores costos de extracción (Northey et al., 2013). A medida que los recursos metálicos de alta calidad se agotan, se requieren procesos más intensivos en energía y tecnología para extraer el cobre restante, lo que aumenta la contaminación del medio ambiente por el desarrollo de la industria minera (Elshkaki, 2016).

Con respecto al impacto ambiental de la industria minera del cobre, esta genera contaminación. (agua, aire y suelo). Es por ello que la solución ácida que fluye de la mina, como subproducto común de la minería de sulfuros de cobre, contamina los ecosistemas acuáticos, afectando la biodiversidad (Hudson y Edwards, 2016).

Asimismo, es de considerar que el procesamiento del cobre si se utiliza carbón, o los carbonatos de cobre se descomponen por pirometalurgia, se emiten grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2), contribuyendo al cambio climático, generando impacto ambiental negativo. (Norgate y Rankin, 2002),

Las buenas prácticas son ausentes porque no se recicla este metal de manera integral que podría darse como solución al problema del impacto negativo para con el ambiente, es así que el reciclaje del cobre es fundamental para mitigar la crisis de abastecimiento y reducir el impacto ambiental. Actualmente, aproximadamente el 30%

del cobre utilizado proviene del reciclaje, pero esta cifra podría aumentar mediante mejoras en tecnologías de recuperación y en la gestión de residuos electrónicos. (Graedel, 2011). Sin embargo, los desafíos incluyen la recolección ineficiente de chatarra electrónica y la falta de infraestructura para procesarla adecuadamente. (Liu, 2019).

Beneficiando minerales, Latinoamérica es la región líder en producción de cobre, a partir de minerales como Chile y Perú concentrando una parte significativa de las reservas globales (Cochilco, 2021). Sin embargo, el agotamiento progresivo de los yacimientos de alta ley está llevando a una mayor explotación de minerales de baja calidad, lo que aumenta los costos de extracción, perdiendo algo de rentabilidad y afectando la sostenibilidad de la industria minera (Mudd, 2020). Generando problemas ambientales serios, incluyendo deforestación, contaminación del agua y conflictos sociales. En Chile, el uso intensivo del agua en la minería tanto en flotación como en lixiviación, ha generado crisis hídricas en zonas desérticas, afectando a comunidades locales (Bustamante y Lagos, 2022).

En Perú, la minería del cobre igual utiliza bastante agua en los procesos de flotación y lixiviación, estos son responsables de contaminar ríos que transportan en sus aguas iones de metales pesados, afectando la salud de las poblaciones cercanas al proceso metalúrgico (Bebbington y Bury, 2018).

Además, cuando se emiten gases contaminantes como los dióxidos de azufre y residuos tóxicos contribuyen al cambio climático y degrada el medioambiente (Norgate y Rankin, 2002).

El cobre en Latinoamérica sigue siendo insuficiente, con tasas de recuperación por debajo del promedio global. Factores como la falta de regulaciones adecuadas, infraestructura deficiente y economías informales limitan la capacidad de reciclaje de

chatarra electrónica y metales industriales (González, 2020).

Tenemos que mejorar la recolección de residuos y promover tecnologías de recuperación, esta acción sería clave para aumentar la eficiencia del reciclaje y reducir la dependencia de la minería extractiva (Liu, 2019).

El Perú aporta producción significativa de cobre al mundo siendo principal productor después de Chile (Ministerio de Energía y Minas del Perú [MINEM], 2021).

Sin embargo, tenemos el agotamiento progresivo de los yacimientos de alta ley de minerales de cobre, esto; está llevando a una mayor explotación de minerales de baja calidad, lo que incrementa los costos de extracción y afecta la sostenibilidad de la industria (Mudd et al., 2020).

Además, la dependencia de la minería como fuente principal de ingresos económicos expone al país a fluctuaciones en los precios internacionales del cobre por pertenecer al mercado de los comodities. (Bebbington y Bury, 2018)

La minería de cobre en Perú ha generado serios problemas ambientales, incluyendo deforestación, contaminación del agua con iones metálicos y conflictos sociales, entre la empresa minera y la comunidad, se afecta la actividad agrícola y la salud de la población en las regiones como Cajamarca y Espinar, (Diez, 2020).

Además, el uso intensivo del agua en la minería ha agravado la escasez hídrica en algunas regiones del país (Bustamante y Lagos, 2022).

Desde una perspectiva global, la emisión de gases contaminantes y residuos tóxicos derivados del procesamiento del cobre contribuye al cambio climático y degrada el medioambiente (Norgate y Rankin, 2002). En Perú, la fiscalización ambiental aún enfrenta desafíos para regular efectivamente a todas las empresas mineras y mitigar su impacto ambiental (González, 2020).

Los problemas medioambientales generados por la actividad minera humana

son mundiales, estas son la deforestación y pérdida de biodiversidad, que se manifiestan en agotamiento de la capa de ozono y los cambios climáticos.

Pese a ello, se continúa aprovechando los recursos contenidos en la naturaleza, tanto metálicos ferrosos y no ferrosos, históricamente es constante por su valor económico.

Tenemos variedad de recursos naturales no renovables, especialmente minerales de cobre, contenidos en yacimientos, ellos se benefician por procesos caros, algunos anticuados considerados contaminantes como la flotación, pirometalurgia, hidrometalurgia y electrometalurgia, si los minerales de cobre son sulfuros. También, hidrometalurgia (lixiviación) y electrometalurgia si los minerales de cobre son óxidos.

Tenemos yacimientos mineralizados que no podemos beneficiar por falta de tecnología, recursos económicos u otros factores, por ejemplo, los sulfosales (cobres grises) que tienen valores importantes de plata, pero con contenidos de arsénico y antimonio, los compradores castigan económicamente la presencia de estos elementos en los concentrados no siendo rentable su recuperación.

Por el contrario, la presencia de contenidos de metales nobles como el oro y plata en el mineral de cobre mejoran las condiciones económicas, dando rentabilidad al proceso productivo.

Ante ambas situaciones, en Naciones Unidas, Primer Informe Brundtland (1987), plantea el desarrollo sostenible como una nueva filosofía mundial que beneficia al hombre que tiene que garantizar y cuidar el medio ambiente, generando riqueza sin perjudicarla para la satisfacción de necesidades de las generaciones futuras.

Entonces cuida el medio ambiente y satisface su condición económica hoy, garantizando el control ambiental se beneficia del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones, dado a que los problemas de beneficio de

materias primas involucran problemas medioambientales por lo que se requiere el uso de tecnologías limpias para minimizar o evitar dichos impactos.

En Pallanchacra, región Pasco; en el yacimiento Sidkenu II tenemos reservas de sulfuros de cobre que debemos beneficiar con tecnologías limpias.

1.2 Descripción del problema

Los minerales metálicos básicos, son recursos no renovables, están concentradas en pocos países del mundo, resultando desigual su distribución geográfica y complicado su acceso. Se explotan, siendo la actividad minero metalúrgica decisivo en el desarrollo socio-económico.

En algunos yacimientos se encuentran en cantidades tan pequeñas que su extracción no es rentable; o sí lo es, pero a cambio de emprender actividades mineras con un impacto grave en el entorno de la explotación.

Geológicamente la dotación de minerales de cobre en el Perú se encuentra distribuida en tres franjas metal genéticas, los cuales son mencionados del paleoceno, eoceno-oligoceno y mioceno, el beneficio de minerales es tedioso y caro, la tecnología tradicional es contaminante y se usa hace más de cien años, consiste en la flotación y pirometalurgia, entonces; nuestro propósito es eliminar totalmente el procedimiento tradicional , tratando de sulfatizar el mineral de cobre, con bacterias, entonces evaluaremos la recuperación de cobre mediante geobiometalúrgia de minerales sulfurados del yacimiento Sidkenu II del distrito de Pallanchacra, Región Pasco, para el cual debemos caracterizar los minerales y hallar el rendimiento del proceso.

Los mayores productores de cobre son: Chile, Perú, República Democrática del Congo, China, Estados Unidos y Rusia, Estos tres últimos son además los mayores consumidores del mundo. El mercado chino es el consumidor mas grande en el mundo, ademas es quien mas compra concentrado de cobre al Perú.

Las empresas conocidas que producen cobre en el peru son Southern Perú, Cerro Verde, Las Bambas y Antamina.

Los usos del cobre son amplios y variados. Los vehículos eléctricos utilizan cobre, su demanda sobrepasara los 5 millones de toneladas el 2040.

Los minerales sulfuros de cobre, son triturados y concentrados por flotación luego pasan por la fundición y refinación en diferentes reactores o también se llevan estos tres procesos en un solo reactor o la refinación puede realizarse por electrolisis.

Los minerales de cabeza reportan de 1 a 4 % de cobre, se flotan eliminando una parte de la ganga, y se eleva el contenido de cobre a 25 % aproximadamente, el concentrado ingresa a pirometalurgia, (tostación, fusión y conversión), para eliminar el azufre, el hierro como oxido ferroso y férrico en el horno de fusión reverbero que en definitiva forma parte de la escoria.

La pirometalurgia del cobre es un proceso complejo, contaminante y costoso, conocida como tecnología convencional. El concentrado sulfurado (25% Cu), normalmente es mezclado con fundentes principalmente sílice y azufre una tostación parcial que elimina impurezas volátiles como arsénico y antimonio en forma de trióxidos, una parte del azufre, como bióxido de azufre.

En la calcina están presentes sulfuros de cobre, sulfuros de hierro, oxido ferroso más ganga.

La calcina sufre una fusión para mata en presencia de sílice el cual lleva la mayor parte al estado líquido junto con la ganga, además la sílice reacciona con el óxido de hierro formando el silicato de hierro, las dos partes liquidas mata y escoria se separan por densidad. La escoria comprende la ganga, el fundente y el óxido de hierro que ha pasado a silicato. Queda un producto denominado mata $Cu_2S.nFeS$, ella contiene aproximadamente 35% de cobre, además de otros metales preciosos.

Luego ocurre la conversión de la mata en cobre bruto, insuflando aire a la masa fundida se oxidan los sulfuros de hierro todavía presentes convirtiéndose el óxido ferroso en silicato por el aumento de sílice. Se retira la escoria y se vuelve a soplar, pero ya tenemos presencia de sulfuros de cobre y óxidos de cobre que se reducen a cobre metálico continuándose con la eliminación de dióxido de azufre, se obtiene el cobre blíster o ampolloso, se lleva a electrorefinación para obtener cobre metálico con 99.99% de ley, en forma de cátodos.

El cobre de alta ley se logra obtener normalmente en una refinería de cobre, obteniéndose cátodos de 99,99% de cobre. Este puede ser transformado a barras de acuerdo a requerimientos de manufactura.

La degradación ambiental constituye un factor limitante en el aprovechamiento racional de los minerales de mena, el cual redunda en el grave perjuicio para el desarrollo de las poblaciones, de allí la necesidad de impulsar la investigación, la innovación para producir sosteniblemente usando nuevas tecnologías amigables con el medio ambiente controlando y previniendo la contaminación.

La geobiometalurgia relaciona la biotecnología a la minería y los procesos extractivos metalúrgicos como la biooxidación y biomineralizacion, usa microorganismos para purificar metales, impactando en menor cuantía al medio ambiente, pero incrementando significativamente la producción y productividad de la industria minera metalúrgica.

La biotecnología involucra muchas áreas de estudio como biosorcion de metales tóxicos y valiosos, biorremediación, fitorremediación, mejoramiento genético etc.

Respecto al cobre, en chile la empresa CODELCO, apoyado por BioSigma desarrolla tecnología biológica aislando microorganismos de capacidad mejorada para lixiviar minerales de cobre y que fue patentada dos de estas bacterias nuevas de

actividad mayor a las conocidas (Badilla, 2019).

En el Perú se tratan minerales de cobre que están asociados en gran porcentaje con la pirita, habiendo ensayos que reportan 90% de pirita (Cerro Verde, 2020) con contenidos de ley de cabeza de 1 a 3% como sulfuros. Normalmente las gangas principales pueden ser pirita más pirrotita, sílice, esfalerita y marmatita, galena y solubles más compuestos menores. Las alternativas tecnológicas que se usa son la flotación de minerales luego pirometalurgia, la flotación seguida por lixiviación con ácido sulfúrico si los minerales son óxidos y mixtos y la lixiviación química o convencional y bacterial a sulfuros, con métodos de agitación, pilas y bateas.

La lixiviación química y bacteriana se aplica con mucha fama en Toquepala, ubicado en el Perú. Allí, los licores de lixiviación de las áreas limitadas o canchas de botadores de Cuajone y Toquepala son distribuidos y tratados en la planta de extracción por solventes y transferidos a electrodeposición de cobre electrolítico de la empresa Southerm Perú Cooper Corporation.

La lixiviación bacteriana tiene muchos años de aplicación en Cerro Verde, Arequipa con resultados favorables en la recuperación del metal rojo cobre.

De acuerdo al tipo de mineral de cobre existen tecnologías de adaptación metalúrgica para recuperar metales, previamente el mineral debe estar liberado por equipos de conminución.

La lixiviación convencional trata fácilmente minerales oxidados de cobre, estos óxidos se sulfatizan en presencia de ácido sulfúrico, utilizando varias técnicas de lixiviación, tratando de hacer que la producción se desarrolle con rentabilidad.

Los métodos de lixiviación o técnicas son: la lixiviación por percolación, lixiviación de lechos fijos, en el mismo lugar, en botaderos, en pilas, lixiviación en estanque o en bateas, lixiviación en pulpas o por agitación, lixiviación a presión

ambiente o en autoclaves. (Misari, 2016)

Por ejemplo, la lixiviación por agitación, usado en óxidos de cobre solubles en ácido sulfúrico cuyas leyes reportan elevadas, debido a que los gastos de inversión y operación son elevados (Arenas, 2018).

Normalmente todo proceso metalúrgico necesita de la conminucion, es decir el mineral cualquiera sea su naturaleza debe ser sometido a procesos de trituración, es decir a chancado y molienda fina. Entonces el proceso de trituración debe producir una mayor cantidad de finos, para poder separar minerales de mena valiosas de la ganga, y lo más importante para maximizar la liberación del valor metálico creando una mayor superficie exponiendo el mineral valioso a la solución lixiviante que normalmente es el ácido sulfúrico, siendo este acido el más abundante y utilizado por su bajo costo.

Del mineral finamente molido se obtienen recuperaciones de cobre que varían de 75% a un 90%, esta eficiencia se alcanza en menor tiempo de tratamiento, comparado con el resto de tecnologías a costa de un mayor costo de operación (Arenas, 2018).

Esta lixiviación por agitación también encuentra su aplicación para lixiviar calcinas de tostación que vienen de concentrados de cobre, minerales de oro, y se aplican a relaves acumulados de procesamientos de flotación anteriores que todavía contienen elementos metálicos comerciales y minerales de cobalto (Domic, 2019).

Entonces, la lixiviación bacteriana se torna importante para visionar el futuro de la metalurgia, los métodos convencionales de recuperación de metales a partir de minerales deberán dar paso al uso de tecnologías no contaminantes y la geobiolixiviación es uno de ellos y que debe responder a las exigencias medioambientales.

1.3 Formulación del problema

En el distrito de Pallanchacra, provincia de Pasco, contamos con ingentes cantidades de sulfuros de cobre y óxidos del mismo metal. Se ha verificado la presencia de minerales de mena como: calcopirita ($CuFeS_2$), calcocita (Cu_2S), covellita (CuS). bornita (Cu_3FeS_4), que necesitamos beneficiar con tecnologías limpias, reportando en promedio una ley de cabeza de 1,6% de cobre, por ello planteamos la investigación recuperación de cobre mediante geobiometalurgia de minerales sulfurados de Pallanchacra Pasco.

Nos concentraremos en sulfatizar los minerales sulfurados de cobre hacia los sulfatos de cobre, utilizando bacterias, para luego precipitar y producir metales de cobre, con tecnologías limpias, minimizando impactos ambientales que beneficien al desarrollo sostenible.

1.3.1 Problema general

¿Cómo recuperamos el cobre mediante geobiometalurgia de los minerales sulfurados de Pallanchacra Pasco?

1.3.2 Problemas específicos

¿Qué características presentan los minerales sulfurados de cobre de Pallanchacra Pasco?

¿Cuál es el rendimiento de la geobiolixiviabilidad del mineral sulfurado de cobre de Pallanchacra Pasco?

¿Cuál es el pH final del consumo del reactivo ácido necesario para biolixiviar el mineral sulfurado de cobre de Pallanchacra Pasco?

1.4 Antecedentes

1.4.1 Antecedentes internacionales

Acevedo (2020), en su trabajo de investigación “Presente y futuro de la

biolixiviación en los países en desarrollo". dice que la minería del cobre en Chile enfrenta desafíos potenciales debido a una disminución de minerales de alta ley y al impacto ambiental asociado con los métodos tradicionales de extracción. Plantea como alternativa la biolixiviación que permite la recuperación de cobre mediante la acción de microorganismos, reduciendo el uso de reactivos químicos y minimizando la generación de residuos tóxicos.

Su estudio tuvo como objetivo analizar la eficiencia de la biolixiviación para la recuperación del metal cobre de baja ley en los yacimientos chilenos, comparando sus resultados con los métodos convencionales de lixiviación química. La investigación se basa en un enfoque experimental, utilizando cepas bacterianas como *acidithiobacillus ferrooxidans y leptospirillum ferrooxidans* en distintas clases de minerales tanto oxidados como los sulfurados. Evaluó cuatro variables que se mencionan, el pH, temperatura, concentración de hierro y tiempo de reacción para determinar el rendimiento del proceso.

Las conclusiones indican que la biolixiviación es una alternativa viable para la recuperación de cobre de minerales de baja ley, con tasas de extracción superiores al 80% en determinadas condiciones experimentales. También analiza una reducción significativa en la generación de residuos ácidos en comparación con los métodos tradicionales. Estos hallazgos sugieren la implementación de biolixiviación en la minería chilena, esto debería apoyar la sostenibilidad del sector minero, reduciendo impactos ambientales y promoviendo una economía circular basada en la reutilización de recursos.

El estudio concluye que la biolixiviación es una tecnología prometedora y alentadora para la minería del cobre en Chile, aunque su implementación a escala industrial requiere optimización en términos de tiempos de procesamiento y estabilidad

de los microorganismos en ambientes extremos. Recomienda apoyar la inversión en investigación y desarrollo para mejorar la eficiencia del proceso y facilitar su adopción a la minera del cobre.

Droguett (2024) en su tesis sobre lixiviación de relaves dice que se recuperan cobre usando un nuevo solvente verde, tesis desarrollada en la Universidad de Chile, refiere como resultado que se viene incrementando la producción de concentrados los cuales se exportan a nivel mundial por lo tanto hay un incremento de la producción de relaves mineros produciéndose en metros cúbicos unos 530 millones al año.

En estas canchas de relaves hay presencia de metales como el cobre, el cobalto y galio que pueden ser recuperados. El objetivo de la tesis fue utilizar un nuevo solvente verde iónico que se presenta en estado líquido para lixiviar cantidades de cobre presente en el relave.

Analizándose el solvente y la situación mineralógica del mineral para la recuperación de cobre, estudia en el yacimiento la geoquímica y la mineralogía tomando 5 muestras diferentes de concentrados de cobre, así como 3 muestras de relaves de la producción contenidos en el depósito El Buitre (tierra amarilla) y una muestra de relave que obtuvieron del Tranque Chacón (Rancagua). Se prepara el solvente con ácido sulfúrico controlando las condiciones a etilendiamina, luego al solvente se añade peróxido de hidrogeno como agente oxidante a cincuenta y cinco grados centígrados y doce horas de lixiviación del concentrado se obtiene 95% de recuperación de cobre, de los relaves se obtienen datos similares a pesar de que las composiciones son diferentes. Las muestras de relaves de Chancón reportan 53,4% de recuperación y 45,9% en promedio para las muestras de el Buitre, lixiviando 24 horas a 55 grados centígrados y con densidad de pulpa de 10 g/l y una velocidad de agitación de 55 revoluciones por minuto. La cinética de lixiviación del concentrado se analizó

con el modelo núcleo sin reaccionar el cual se ajusta al control difuso. El autor manifiesta que el negocio debe ser rentable para desarrollar una tecnología sustentable y dice que no es suficiente realizar un proceso que sea amigable al medio ambiente. También dice que se deben desarrollar estudios geoestadísticos de las leyes de manera que pueda optimizarse los parámetros hidrometalúrgicos que rentabilicen el proceso con indicadores que son el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficios sobre costos (B/C), para luego decidir si va o no el proyecto.

Stephan (2023) en su trabajo "The application of large scale stirred milling to the retreatment of merensky platinum tailings". Trabajaron un retratamiento de relaves para recuperar metales contenidos en los minerales del grupo del platino, en Sudáfrica, para el cual se diseño un proyecto de flotación de minerales.

Veñizar (2017) presenta un trabajo de flotación de minerales a partir de relaves, intitulado "Reprocessing of the old flotation tailings deposited on the tailings pond: a case study El análisis químico del mineral de cabeza reporto concentraciones promedio de metales en los relaves 0,183% de cobre, 0,35 gramos por tonelada de oro y 2,17 gramos por tonelada de plata y en los desechos se reportan del 60 al 70 % de sílice (SiO_2), además del 10 al 17 % de alúmina (Al_2O_3) y de mineral pirita (FeS_2) del 5 al 8%. El tratamiento metalúrgico de los relaves se llevó mediante lixiviación en medio ácido continuando con reflotación del residuo de lixiviación, la lixiviación de estos relaves generó soluciones ricas que contenían iones cobre (Cu^{2+}), de 50 a 580 ppm. y el grado de recuperación de cobre calculado en la etapa de lixiviación fue del 70%., luego de la flotación, el grado de remoción total de cobre alcanzó entre el 83 y 85%" (p. 333).

1.4.2 Antecedentes Nacionales

Espinoza (2022), investigó, "Análisis técnico-económico del proceso de

biolixiviación de sulfuros de cobre utilizando el software Superpro Designer", en base a sus objetivos, realizo un caso base de acuerdo a las experimentaciones hechas en las tesis de Tapia, Zepeda, Menadier, Delgado y con datos del Informe 2019 de la Empresa Southern Copper Corporation, simularon un software Superpro Designer versión 8.5, corrió una simulación realizando balances metalúrgicos de materiales y balance energético de biolixiviación, además análisis técnico y económico para dicho bioproceso. Luego, armó un diseño experimental factorial de 23, allí aleatorizó las variables tamaño o escala de planta, el costo de la extracción del mineral y analizo el precio de la venta del concentrado que han obtenido.

Se simulo variantes que resultaron del diseño experimental eligiéndose a aquella viable, más viable, factible técnica y económicamente rentable al final con la variante óptima se halló el precio final de venta de concentrado al tamaño optimo de la planta de biolixiviación.

Se hallo también el costo optimo de producción de producción de la planta. Si se inicia el proyecto el precio de venta del concentrado variaría entre 65 a 90 dólares por kilo de concentrado de cobre.

La planta de biolixiviación debe tratar 40 toneladas métricas cada 5 días El costo de extracción de los minerales calcopirita o pirita de cobre debe ser de un dólar por tonelada métrica (1 $/ TM).

Nina (2019), Estudia el sector sur oeste del batolito de Andahuaylas Yauri distrito de Tintaya y en su trabajo sobre caracterización mineralógica manifiesta que el mineral de mena se distribuye en cuerpos irregulares de skarn conformado principalmente por calcopirita luego minerales secundarios de cobre del batolito Andahuaylas -Yauri, que son pulsos magmáticos formados de 42 a 32 millones de años entre el eoceno medio a oligoceno temprano. Analiza 4 tipos de rocas con

características propias y únicas desde un punto de vista geológico y evalúa el comportamiento del proceso metalúrgico manifiesta la influencia mineralógica caracterizando el mineral desde un punto de vista de la geometalurgia. Haciendo un análisis los resultados son coherentes caracterizando el análisis del mineral de cobre y su solubilidad en ácidos. Las muestras también son sometidas a análisis espectrografico para determinar cualitativamente y cuantitativamente los tipos de arcillas además se hace uso de la microscopia de polarización observándose el tamaño de grano y asociación textural y el tipo de alteración. También se utiliza la técnica de difracción de rayos X cuantificando la presencia de fases mineralógicas. Esta caracterización mineralógica es relacionada con pruebas y ensayos metalúrgicos como son el cálculo del índice de trabajo o work índex y luego la flotación de minerales, obteniendo gráficos comparativos con análisis de regresión línea que muestran su importancia y afección al proceso.

Se manifiesta que la técnica utilizada y los procedimientos son confiables da a conocer información mineralógica importante para el proceso metalúrgico del mineral a utilizar con soporte para hallar cualitativamente y cuantitativamente fases mineralógicas que ocasionan problemas en la producción metalúrgica para la obtención de concentrados de cobre.

Ramírez y Torres (2017), en su tesis "Influencia de la densidad de pulpa y pH sobre la hidrofobicidad de cobre en mineral tipo sulfuro, Calquis, Cajamarca, 2017", determinaron que en minerales de cobre sulfurados trabajando a una densidad de pulpa de veinticinco por ciento de solidos (25%), y un control de basicidad de pH igual a 9.0, se llega a una recuperación de 68.33 % y la mayor recuperación alcanzaron a pH de 10.5 y densidad de pulpa de treinta por ciento de solidos (30 % sólidos), obteniéndose una recuperación de 86.80%.

Lizzetti (2021) en su investigación analiza la recuperación de cobre de soluciones lixiviadas por el proceso de electrodeposición, en la Universidad Nacional José Faustino Sanches Carrión, de Huacho. El electrolito para la cementación de cobre por el proceso de electrodeposición de cobre (EW) es el sulfato de cobre con 8, 15 gramos por litro de cobre, con esta solución iónica trabajó controlando un pH de uno (1), por condiciones de buena conductividad eléctrica, facilitando que el cobre metálico se deposite en la superficie de cátodo.

Este proceso es llamado electrodeposición en el cual se trabaja con energía eléctrica, ánodos y cátodos y solución a electrodepositar. Se tiene que disponer de un dispositivo rectificador de corriente que controle los parámetros eléctricos. El potencial eléctrico se controlo de 1.5 a 1,8 voltios de dos a tres horas.

Los electrodos se dispusieron con una separación de uno a dos centímetros, como cátodo fue utilizado el metal de acero inoxidable calidad AISI 316-L y como ánodo se utilizó una plancha de aleación de plomo con estaño (Pb - Sn). Bajo estas condiciones se recuperó el cobre.

La solución de sulfato de cobre utilizada contenía una ley de 8,1509 gramos por litro (g/l) de cobre, los resultados reportaron recuperación de cobre de 1,0669 gramos con un potencial eléctrico variable de 1,5 y 1,8 voltios, consumiendo un tiempo de dos a tres horas, con una separación entre electrodos de 1 y 2 cm. Luego se realiza una segunda corrida recuperándose una cantidad de 1,0829 gramos, conservando las mismas condiciones que la primera evaluación.

Castro (2021), en un artículo de la revista institucional investigación facultad de minas metalurgia ciencias geográficas. En el artículo discute el uso de análisis de datos y aplicaciones a casos de depósitos tipo pórfido, usando métodos estadísticos y algoritmos. Manifiesta que la geometalurgia es el estudio de la génesis de los minerales

tomando en cuenta el posterior proceso metalúrgico. Por ello son importantes la construcción de modelos geometalúrgicos porque luego debe darse una evaluación tecnológica, y económica del potencial de mineralización del yacimiento, para aplicar un modelo que servirá en la toma de decisiones durante la gestión minera. Este modelo sirve para maximizar rendimientos económicos en diversas etapas partiendo de la planificación en un proyecto la explotación minera luego diseñar procesos metalúrgicos de acuerdo al mineral contenido en el yacimiento.

Antonio y Charlie (2020) investiga el reprocesamiento de relaves de minerales polimetálicos acumulados de la concentración de minerales sulfurados en la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Su objetivo fue separar con la tecnología de la flotación de minerales por espumas minerales considerados de mena que escaparon de la flotación primaria además de determinar los parámetros que impiden la recuperación de estos minerales, los resultados manifestaron que todavía tienen minerales de mena que pueden beneficiar económicamente con la tecnología de la flotación para obtener concentrados de sulfuros con ley de azufre menores a treinta por ciento (30%) .

1.5 Justificación de la investigación

1.5.1 Justificación tecnológica

El perfeccionamiento e intensificación de los métodos de prospección y exploración geológica permitirán el descubrimiento de nuevos yacimientos y reservas de minerales que contienen cobre.

El mejoramiento y el progreso en los métodos tecnológicos limpios de beneficio de minerales permitirán la exploración de yacimientos de muy baja ley cuyo procesamiento metalúrgico no fue contemplado y por lo tanto no figuran como reservas conocidas.

Además, el progreso general de la mineralurgia con tecnologías limpias y no contaminantes permitirá la extracción de cobre desde los desechos, relaves, escorias o residuos, cuyo procesamiento anteriormente era considerado antieconómico.

Estos hechos nos permiten evidenciar el importante papel que desempeña el campo mineralurgico en el abastecimiento del cobre y su significancia en los problemas futuros para afrontar la situación crítica en la expansión de los recursos naturales del metal rojo.

1.5.2 Justificación teórica

El Perú cuenta con reservas de minerales y producción de cobre actualmente, ello permite realizar investigaciones para eliminar tecnologías contaminantes y adaptar algún método de beneficio con tecnología limpia.

Se sabe que, a medida que la civilización actual, nuestra sociedad industrial extrae cantidades cada vez mayores de cobre de la corteza terrestre, la ley promedio de los yacimientos conforme profundiza la mina, la ley disminuye o baja. Las leyes de cabeza de cobre de los productores del mundo varían entre 0,63 y 3,25%, siendo 1,08% el promedio general. Normalmente hay plantas de flotación que benefician estos minerales, pasan por pirometalurgia, hidrometalurgia y electrometalurgia para obtener el cobre puro.

Pero también, en estas circunstancias el método de beneficio que podría procesar en forma económica minerales con tecnología limpia seria la lixiviación bacteriológica, que puede adaptarse a este tipo de minerales e incluso a los de bajo contenido fijo. Teóricamente se sabe que se alcanzan recuperaciones de metal aceptables, comparables al método convencional, pero económicamente mucho más rentables, siendo el problema la lentitud del proceso.

Se conoce que la tecnología de la lixiviación bacteriana a abierto a la

explotación, y beneficio de rumas de ripios mineros, de relaves de beneficio y muchos residuos, cuyo beneficio anteriormente no se podía ni pensar, tanto por razones económicas como tecnológicas metalúrgicas.

1.5.3 Justificación práctica

Se desarrollo la tecnología de extracción del cobre por lixiviación bacteriana del mineral del yacimiento Sidkenu de Pallanchacra, en el laboratorio metalúrgico, que posteriormente debe ser implementado a nivel piloto, luego proyectarlo industrialmente y dar a conocer los resultados, referente para futuros proyectos de explotación y beneficio en la zona central del país.

Los precios del cobre apoyan proyectos, pero van acompañados de la eficiencia de recuperación tanto del metal como de los subproductos.

1.5.4 Justificación metodológica

Esta tecnología limpia se desarrolló con una investigación experimental cuantitativa basada en variables (Tamaño de grano, masa y pH) a nivel del laboratorio metalúrgico

Las variables se manipularon para encontrar un estándar de extracción del cobre, de los minerales sulfurados de Pallanchacra Pasco, El laboratorio emitió los resultados de los informes de los análisis cualitativo y análisis químico cuantitativo, estos han sido tomados en cuenta para analizar la recuperación de cobre, llamado también rendimiento del proceso mediante pirometalurgia.

Con el uso de esta tecnología limpia pretendemos resolver el problema de la contaminación ambiental, o al menos minimizarla, como consecuencia eliminaremos las lluvias acidas.

1.5.5 Justificación social

Las experiencias de la lixiviación bacteriana, lejos de ser las ultimas y más

avanzada tecnología limpia, todavía es ignorada sus mecanismos y su práctica o desconocida por la falta de interés y agilidad en sus investigaciones.

Es triste observar que, en nuestro país y las regiones, teniendo recursos minerales, tenemos problemas sociales como la falta de empleo, la contaminación ambiental y otros dejamos botados millones de toneladas de minerales que contienen cobre, sin beneficiarlo por lo que debemos hacer uso efectivo de esta tecnología para nuestro beneficio.

1.5.6 Importancia de la investigación

Cuando se trata pirometalúrgicamente minerales de cobre sulfurados, su consecuencia es que continuamente durante el proceso y necesariamente se genera y se expulsa anhidrido sulfuroso, al medio ambiente en forma de gases y otros contaminantes como el arsénico y antimonio como trióxidos.

Con la tecnología limpia de la biometalurgia las bacterias oxidan los sulfuros metálicos sin generar anhidrido sulfuroso, llevándolos a sulfatos solubles de allí es necesario cementar el elemento metálico, se produce ácido sulfúrico y sulfato férrico (Guerrero, 2008). Además, esta tecnología es conocida y aplicada en muchos lugares del mundo.

Al no producir anhidrido sulfuroso estaremos cuidando el medio ambiente. Por pirometalurgia se generan lluvias acidas, contaminando la atmosfera, las aguas de los ríos, tierras, y la naturaleza en general. En suma, genera un costo social.

Nuestra investigación analiza un método de biolixiviación, conocido, pero no se ha implementado en la producción de yacimientos de la región Pasco, entonces difundirá en otros investigadores para que puedan basarse en la misma tecnología limpia, mejorarla y aplicarla en otros yacimientos mineros, e incluso adaptarlo para la producción de otros metales.

1.6 Limitaciones de la investigación

1.6.1 Limitaciones de comercialización de bacterias

No se comercializan las bacterias *acidithiobacillus ferrooxidans* en el Perú. Se puede comprar de Chile allí existen laboratorios, muy a pesar que en la naturaleza su presencia es abundante. Buscamos estas bacterias cercano a nuestro yacimiento y encontramos en nuestra región de Pasco, sabemos que las bacterias son seres vivientes, ellos están sometidos a los embates del medio ambiente y son particularmente sensibles a variaciones de humedad y temperaturas.

1.6.2 Limitaciones de análisis de costos

Altos costos de análisis biológicos, análisis microscópicos y químicos tanto para identificar, analizar la bacteria, identificar los minerales y cuantificar químicamente los valores de los metales presentes en el mineral y los productos en investigación.

Escasa labor de laboratorios a nivel de la región Pasco, se realizó las pruebas en el laboratorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión de Cerro de Pasco, y para los ensayos químicos y biológicos se viajó a la ciudad de Lima, encontramos los servicios del laboratorio Minlab.

1.6.3 Limitaciones bibliográficas

Escasa bibliografía especializada y acreditada, en biomineria, biolixiviación y biooxidación a nivel internacional, nacional, regional y de nuestra localidad.

En la región de Pasco se cuenta con yacimientos que producen cobre, pero las empresas benefician estos sulfuros por tecnologías de flotación obteniendo concentrados minerales que se destinan a las fundiciones y refinerías extranjeras.

1.6.4 Limitaciones económicas

Hemos tenido imitaciones económicas y financieras para pagos de personal de apoyo, para transporte y traslado de muestras del yacimiento al laboratorio,

contratamos movilidad especial para llegar hasta el yacimiento minero Sidkenu II, del distrito de Pallanchacra, región Pasco, con un grupo de personas quienes apoyaron la extracción, estiba y muestreo en el campo.

1.6.5 Limitaciones de inmediata producción

Referente a esta investigación bacteriana, la parte técnica se llevó a cabo en el laboratorio metalúrgico primariamente por el sistema vats con agitación discontinua, debemos continuar esta investigación a nivel piloto para corroborar los resultados de la investigación y adicionar otras evaluaciones como el sistema de percolación, evaluar parámetros de análisis necesarios en la investigación, para luego llevarlo a un proceso productivo eficiente bajo condiciones de rentabilidad.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

Evaluar la recuperación de cobre mediante geobiometalúrgia de minerales sulfurados de Pallanchacra Pasco.

1.7.2 *Objetivos específicos*

Caracterizar los minerales sulfurados de cobre de Pallanchacra Pasco.

Hallar el rendimiento de la geobiolixiviabilidad del mineral sulfurado de cobre de Pallanchacra Pasco.

Hallar el pH final necesario para biolixiviar el mineral sulfurado de cobre de Pallanchacra Pasco.

1.8 Hipótesis

1.8.1 Hipótesis general

La recuperación de cobre se realiza mediante geobiometalúrgia de minerales sulfurados de Pallanchacra Pasco.

1.8.2 Hipótesis específicas

Las características que presentan los minerales sulfurados de cobre de Pallanchacra Pasco contienen óxidos, carbonatos y sulfuros primarios mezclados con sulfuros secundarios.

El rendimiento de la biolixiviación del mineral sulfurado de cobre se encuentra dentro del rango de 50% a 80 %.

El pH final de la biolixiviación del mineral sulfurado de cobre de Pallanchacra Pasco, es menor de 2,5 por lo tanto genera acido.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco conceptual

El Perú es un país eminentemente minero por las riquezas minerales metálicas y no metálicas, con que cuenta, entonces, la minería es uno de los pilares fundamentales en la vida económica del país, su desarrollo, estabilidad y rentabilidad es motivo y preocupación del gobierno, de los empresarios mineros, del mismo modo quienes comparten las responsabilidades de su desarrollo eficiente, esto es los profesionales que directa o indirectamente tienen relación con dicha actividad.

2.1.1 Características de la minería en el Perú.

Se caracterizan por:

A. Recursos no renovables. con diversidad de productos mineros metálicos y no metálicos. (minerales, concentrados y metales) cobre, plomo, zinc, estaño, oro, hierro, plata, molibdeno, etc. Dentro de los concentrados encontramos teluro, selenio, bismuto, cadmio, indio, etc.

B. Yacimientos por explorar.

C. Yacimientos en explotación con reservas y ley de minerales importantes. (pequeña, mediana y gran minería).

D. Ubicación descentralizada.

E. Presencia de inversionistas peruanos y extranjeros

F. Tecnologías limpias, modernas, tendientes a la automatización con altos volúmenes de producción con equipos de gran volumen.

G. Legislación minera y ambiental competitiva

H. Altas inversiones

I. Seguridad, Medio Ambiente, Comunidades

J. Exigencia a la responsabilidad social.

2.1.2. Características de las inversiones mineras

A. Alta inversión con altos riesgos, mencionamos los siguientes riesgos: económico (precios), riesgo geológico, tecnológico, político, riesgo de la inversión, riesgo social y comunitario, riesgo ambiental, riesgos de seguridad y salud (Pandemias) entre otros.

B. Largo periodo de pre inversión

2.1.3 Importancia económica de la minería peruana.

A. Es fuente de divisas la minería peruana.

B. Efectos multiplicadores en la producción y empleo (Encadenamiento con otros sectores, generación de empleo)

C. Aportes al fisco (Presión tributaria en la minería)

D. Contribución al PBI nacional

E. Generación de valor agregado

F. Generación de ahorro en la minería

G. Contribución de la minería al desarrollo regional (canon minero, regalías, responsabilidad social)

H. Generación de producción no típica

Esta investigación forma parte de un proyecto para producir cobre del yacimiento de Pallanchacra. Pasco.

El Perú es el segundo productor mundial de cobre y segundo en Latinoamérica. Se ubica en tercer lugar en el mundo con mayores reservas de cobre.

Las aportaciones de cobre al mercado mundial son cada vez mayores, obtenida por tecnologías hidrometalúrgicas. Los yacimientos con leyes económicamente explotables, se están agotando entonces se está recurriendo a las reservas mineras con

contenidos en leyes más bajas esto origina que cada vez los proyectos mineros sean menos atractivos si se utilizan las tecnologías convencionales.

Por hidrometalurgia, la lixiviación bacteriana es una tecnología limpia que debemos desarrollar para explotar yacimientos de cobre incluso que contengan minerales marginales. Resulta difícil vender mineral de cabeza, extraído de la mina, de 1,5 a 2% de cobre, pero; de preferencia es necesario concentrar el mineral por flotación por espumas muy cerca de la mina para ahorrar costos de transporte y manipuleo y luego vender como concentrado de 20 a 30% de ley.

Algunos minerales de cobre oxidados o como carbonatos que sobrepasan el 10% pueden ser comercializados excepcionalmente.

Todos los procesos actúan sobre minerales no sobre elementos químicos, la idea es llegar a obtener el metal o sea el elemento químico.

El cobre metálico es un elemento químico y pertenece a elementos de transición, encabeza el grupo de los metales nobles, se mencionan el cobre, plata y oro. El átomo de cobre tiene 29 protones y 29 electrones. (Bruni, 2021)

El cobre contiene dos isótopos naturales estables: uno tiene 34 neutrones y el otro, 36. Cristaliza en el sistema cúbica de cara centrada (FCC). (Dana, 2021)

En su estructura cristalina, los átomos están situados en los vértices de la celda unitaria además en el centro de las caras, en total por celda son 4 átomos. (Dana, 2021)

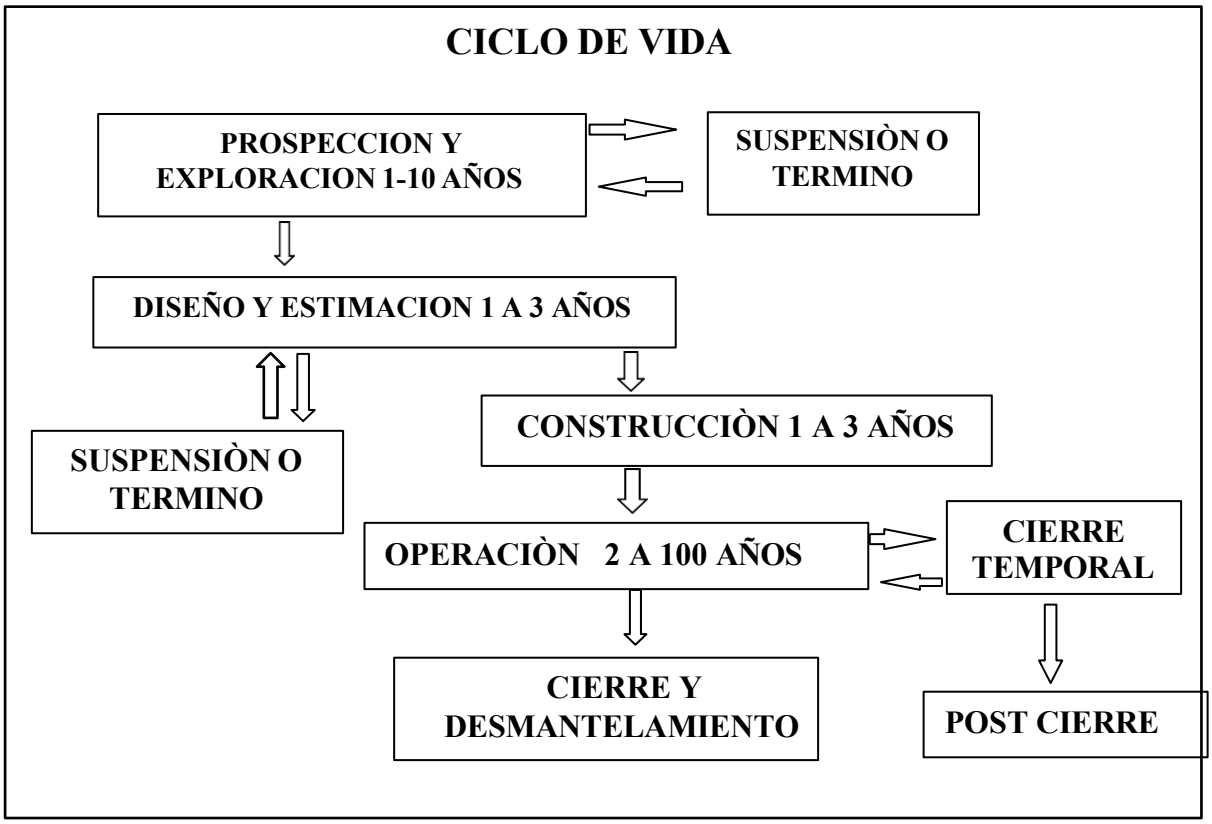
2.2 Minería y desarrollo sostenible

Significa una minería dentro del desarrollo sostenible, socialmente aceptable, técnica y económicamente rentable y eficiente que se desarrolla con tecnología limpia minimizando impactos ambientales. El trabajo minero tiene un ciclo de vida, que consume tiempo y genera costos, esta operación minera afecta el entorno natural y social del lugar donde está ubicado, para ello es bueno tener una concepción intrínseca de lo

que sucedió, sucede y sucederá con el tiempo. El estudio de minimizar cualquier impacto negativo es de trabajar en su momento y si es posible aún de prevenirlo para una mejor armonía en conjunto con el medio ambiente.

Figura 1

El ciclo de vida de una empresa minera.



La revisión constante de cada proceso ayudará a realizar un mejor manejo al momento del cierre de mina. Hoy en día, el control de los efluentes y emisiones por parte de la empresa es más efectivo, estamos obligados a practicar todos los sistemas internacionales de salud, seguridad y medio ambiente, en su desarrollo; se acepta contar con todo tipo de profesionales de diversas áreas mineras, metalúrgicas, de seguridad, salud, etc. y otras, así como ambientalistas para recibir asistencia y desarrollo, además de sugerencias y acciones para aplicar el mejoramiento continuo.

El trabajo del cierre de minas y el seguimiento del monitoreo y mantenimiento

son etapas finales del ciclo de vida de la mina, por lo que debe apoyarse de criterios y tecnologías modernas y limpias para mitigar impactos ambientales y de largo alcance.

En todo proyecto minero desde el inicio se debe planificar el cierre de minas de manera que podemos beneficiarnos de los recursos mineros del yacimiento y planificar la minimización de la contaminación ambiental y mitigar impactos tanto sociales como ambientales.

Se estudian y analizan la estabilización química y física, recuperación de suelos con revegetación, desmantelamiento de instalaciones existentes, así como investigación y cierre progresivo durante la producción minera sin esperar el fin del ciclo de vida.

Debe tratar los cierres progresivo, temporal y final.

Nos preguntamos, ¿Cómo la minería puede aportar al desarrollo sostenible? Entonces surge la necesidad de cumplir con la evaluación previa ambiental y la consulta respectiva, determinando la sensibilidad o los riesgos de la cuenca a actividades mineras y reconocer que en unos casos va la actividad minera, pero en otros no.

Reducir la contaminación a niveles compatibles con la salud humana, además de los ecosistemas. Modernización y plantas de tratamiento.

Participación Ciudadana, diálogo y consulta, transparencia en la información y monitoreo del uso minero y la contaminación de los recursos hídricos, el aire y el suelo, garantizando agua limpia en beneficio del consumo humano de las poblaciones y su uso para actividades agrícolas y otras. Así como cumplir con el pago de las regalías mineras e impuestos.

2.3 Externalidades negativas de la industria cuprífera

Toda área geográfica en donde el ser humano desarrolla actividades sociales y

económicas son consideradas impactos ambientales.

De alguna manera estas actividades deterioran el entorno ambiental porque degradan la calidad de vida de los que viven alrededor, la calidad de los recursos naturales renovables existentes además perjudica la ecología.

Estas externalidades son:

A. Generación de partículas suspendidas, polvo, en la explotación de los yacimientos de cobre minas subterráneas y a tajo abierto.

B. Emisión de cantidades de gases al medio ambiente como CO, CO_2, NO, NO_2, SO_2, SO_3 en los tostadores de cobre, hornos de fundición por la combustión de combustibles.

C. Partículas de plomo (Pb), arsénico (As), cadmio (Cd), sales de nitrato ($NO^{3-),}$ sulfatos ($SO4^{2-,)}$ sustancias químicas como ácido sulfúrico (H_2SO_4), grasas y aceites en las refinerías de cobre.

D. Contaminación de ríos y océano por aguas industriales servidas, con aguas residuales del centro metalúrgico.

E. Calor producido por la conversión de una energía a otra, especialmente por la combustión de hidrocarburos de fósiles.

Para minimizar estos problemas se recomienda:

A. Aplicar en la minería y metalurgia del Perú la producción con tecnología limpia, evitando la contaminación y reduciendo la generación en diferentes etapas del proceso de producción con el fin de minimizar o eliminar residuos antes que se generen contaminantes potenciales.

B. Establecer términos como la prevención y reducción de la contaminación, reducción de la fuente, así como manejo y minimización de residuos, como testimonio que estamos aplicando tecnología limpia.

C. Cumplir con programas de cuidado ambiental que exigen las instituciones, así como las Naciones Unidas, para producción limpia,

2.4 Menas de cobre

El cobre encontramos en los yacimientos, de distinta composición química, escasamente es el cobre puro considerado nativo, pero como mineral de mena consideramos en presencia de óxidos, sulfuros (cobres primarios y secundarios), sulfosales (cobres grises) o mixtos.

Tabla 1

Tipos de menas de cobre

TIPOS DE MENAS DE COBRE MAS COMUNES EXPLOTABLES		
SULFUROS (Primarios - Secundarios)	**OXIDOS**	**SULFOSALES (Cobres grises) Yacimientos filonianos, de As y Sb**
Calcopirita $CuFeS_2$ **Chalcosita Cu_2S** **Covelita CuS** **Bornita Cu_5FeS_4** **Enargita $3Cu_2SAs_2S_5$** **Tetraedrita 4CuSSbS, 52.1% Cu, 24,8% Sb.**	**Azurita $2CuCO_3Cu(OH)_2$** **Malaquita $CuCO_3Cu(OH)_2$** **Crisocola $CuSiO_3\ 2H_2O$** **Tenorita CuO** **Cuprita Cu_2O** **Dioptasa H_2CuSiO_4** **Brocantita $CuSO_43Cu(OH)_2$** **Calcantita $CuSO_4\ 5(H_2O)$**	**Plata – Mineral Común** **Tetraedrita 4CuSSbS, 52.1% Cu, 24,8% Sb. rica en plata** **Tenantita $CuAs_2S_7$, variable** **Enargita $3Cu_2SAs_2S_5$** **Arsenopirita FeAsS, Calcostibina o calcoestibina. Muestra una paragénesis de estibina-cuarzo y carbonatos, con trazas de calcoestibina, galena, pirita, siderita, calcopirita, calcosina, covelina, marcasita y oro, pata nativa.**

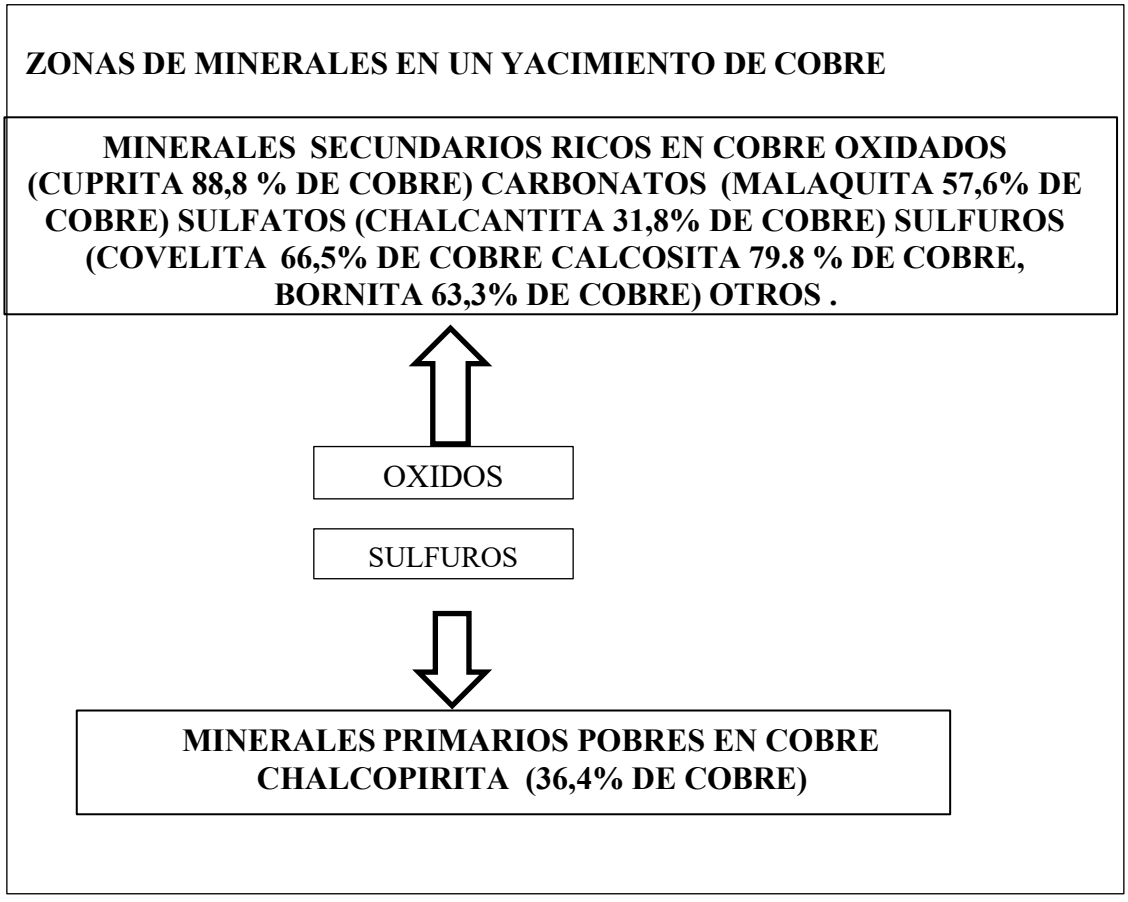
Con los cobres grises se mencionan una mineralización epitermal en la forma de sulfosales de plata y antimonio, además presencia de arsénico. En los sulfosales, está

presente la tetraedrita rica en plata, incluso se puede encontrar plata nativa y minerales como freibergita, pirargirita, estefanita, polibasita junto con acantita, además de pirita, calcopirita, calcosita y minerales secundarios como azurita, malaquita, covellita y goethita. El problema de los sulfosales es la presencia de arsénico y antimonio que hace su eliminación difícil o costoso, no permitiendo rentabilidad su beneficio.

En vetas minerales, algunos pertenecen al depósito original de la veta, mientras que ciertos otros han sido formados subsecuentemente. Estos se conocen como minerales primarios y secundarios. Los primarios de vetas son aquellos que fueron originalmente depositados por aguas ascendentes en la fisura de la veta, son comparativamente poco numerosos, siendo los más importantes los sulfuros pirita, calcopirita, galena y esfalerita.

Figura 2

Minerales primarios y secundarios de cobre



Los minerales secundarios de vetas han sido formados de los minerales primarios por alguna reacción química subsecuente.

Este cambio es, ordinariamente, producido por la influencia de aguas oxidantes, las que, al venir de la superficie de la tierra, descienden a través de las porciones superiores de la veta.

En estas condiciones se forman varios minerales nuevos, siendo muchos de ellos compuestos de oxidación.

A medida que las aguas descendentes pierden su contenido de oxígeno, a una distancia comparativamente corta de la superficie terrestre, la presencia de los minerales secundarios solamente es en la parte superior de una veta. Junto con la formación de estos minerales secundarios, hay, con frecuencia, una migración hacia abajo de los metales valiosos de la veta. Esta se produce por la solución de los minerales en la parte más alta de la veta y una precipitación un poco más abajo. Al bajar gradualmente la superficie de la tierra por la erosión, la parte superior de una veta se consume continuamente. Pero el contenido metálico de la parte más alta de la veta siempre está siendo arrastrado hacia abajo por las aguas descendentes oxidantes.

Tabla 2

Menas sulfuradas de cobre

SOLUBILIDAD DE SULFUROS DE COBRE MAS IMPORTANTES				
MINERAL	**% Cu**	**Ge**	**Dureza**	**SOLUBILIDAD (Cu)**
Cobre Nativo Cu	**100**	**8,8**	**2.8**	**Soluble en ácido, amoniaco y Fe^{+3}**
Calcosita Cu2S	**79,8**	**5,5-5,8**	**2,5-3,0**	**Soluble en ácido y Fe^{+3}**
Covelita CuS	**66,5**	**4,6**	**1,5-2,0**	**Soluble en ácido y Fe^{+3}**
Bornita Cu5FeS4	**63,3**	**4,9-5,4**	**3,0-3,5**	**Ligeramente soluble en ácido y Fe^{+3}**
Calcopirita CuFeS2	**34,6**	**4,1-4,3**	**3,5-4,0**	**Parcialmente soluble en ácido y Fe^{+3}**
Enargita 3Cu2SAs2S5	**63,3**	**4,9-5,4**	**3,0-3,5**	**Parcialmente soluble en ácido y Fe^{+3}**

En esta forma, el contenido metálico de la parte superior de muchas vetas ha sido enriquecido notablemente, porque está concentrada en este corto espacio, la mayor parte del contenido original de cientos, tal vez miles de metros de la veta que ha sido consumida lentamente por la erosión general de la región. Consecuentemente, la zona de los minerales secundarios de la veta, es también, con frecuencia, una zona de enriquecimiento secundario.

Este es un hecho importante que se debe tener presente, porque debido a él, los 60 a 90 metros superiores de una veta son ordinariamente la porción más rica de un depósito. La mena, abajo de esa profundidad, gradualmente recupera su carácter original, sin alteración ni enriquecimiento, y puede resultar, con frecuencia, de valor muy bajo para costear que se mine.

La idea prevaleciente de que la mena de una veta debe aumentar de valor al aumentar la profundidad no es cierta en la gran mayoría de los casos.

En el yacimiento conforme se profundiza la explotación de los minerales sulfurados sufren cambios en su estructura. A mayor profundidad encontraremos mayor proporción de sulfuros primarios, los cuales son tratados mayoritariamente por procesos pirometalúrgicos.

Será de interés considerar los minerales primarios de vetas más importantes y los minerales secundarios que comúnmente se forman de ellos.

El mineral de cobre primario más común es la calcopirita, ($CuFeS_2$). A veces algunos de los otros sulfuros pueden ser de origen primario, pero éste no es generalmente el caso.

La formación secundaria de la bornita y calcocita puede explicarse como sigue: el sulfuro de cobre que existe en la calcopirita original se oxida, con las aguas descendentes en la superficie, a sulfato de cobre, que entonces se disuelve y arrastra más

abajo de la veta. Aquí se pone en contacto con calcopirita que no ha sufrido alteración y tiene lugar una reacción que enriquece el sulfuro cambiándolo a bornita, Cu_5FeS_4. Más tarde, más sulfato de cobre en solución se pone en contacto con la bornita y tiene lugar un nuevo enriquecimiento con la formación de calcocita, (Cu_2S). En cada caso, hay un intercambio de metales, el fierro, en el sulfuro original, se pone en solución como un sulfato, tomando el lugar del cobre que se ha precipitado.

Si el depósito de cobre está situado en rocas calizas, comúnmente encontramos los distintos carbonatos y óxidos de cobre que también se formaron en la parte superior del depósito.

Los minerales secundarios de cobre por lo tanto incluyen cobre nativo, (Cu); cuprita, (Cu_2O); malaquita, (($(CuOH)_2CO_3$;) azurita, ($Cu\ (CuOH)_2(CO3)_2$); calcantita, ($CuSO_4.5H_2O$). calcocita, (Cu_2S); bornita, (Cu_5FeS_4), crisocola, ($CuSiO_3.2H_2O$). En la naturaleza hay más sulfuros que óxidos. El cobre primario es más abundante casi el 80% constituye la producción mundial es decir estos son sulfuros de cobre.

El metalurgista debe identificar plenamente el tipo de mineral con que cuenta el yacimiento para identificar la tecnología que se debe aplicar para la recuperación del metal contenido en la mena.

La tecnología de la flotación se aplica favorablemente a los sulfuros primarios de cobre en celdas de flotación diversas y con reactivos conocidos de bajo costo y que muestran rentabilidad. Luego de este tratamiento histórico conocido como concentración por flotación de minerales se continua con la pirometalurgia y luego la electrorefinación para obtener el cobre metálico.

Sobre el potencial de reservas de cobre, Mucho (2023) sostiene que las reservas de minerales de cobre en el mundo ascienden a 700 millones de toneladas alcanzando la producción anual de 22 millones de toneladas, avizorando que este

recurso se agotaría al cabo de 30 años. (p.1)

El mineral de mena de cobre pueden ser óxidos, sulfuros y sulfosales, los mas importantes y en mayor proporción, porque en los yacimientos existen silicatos, sulfatos y otros en menor cuantía.

En la mina los minerales dentro de su composición no solo tienen sulfuros de cobre sino también óxidos, presencia de sulfuros de fierro, de plata, arsénico, antimonio y otros que pueden beneficiarse, además de minerales de ganga que no tienen valor económico, por lo que con una investigación se decide el procedimiento tecnológico a utilizar

Tabla 3

Menas oxidadas de cobre

MINERALES OXIDADOS DE MENA DE COBRE MAS IMPORTANTES				
MINERAL	**% Cu**	**Ge**	**DUREZA**	**SOLUBILIDAD (CU)**
Azurita $2CuCO_3Cu(OH)_2$	**55,0**	**3,8-3,9**	**3,5-4,0**	**Soluble en ácido.**
Malaquita $CuCO_3Cu(OH)_2$	**57,5**	**4,0**	**3,5-4,0**	**Fácilmente soluble en ácido.**
Crisocola $CuSiO_3\ 2H_2O$	**36,2**	**2,0-2,2**	**2,0-4,0**	**Soluble en ácido**
Tenorita uO	**79,7**	**4,9-5,4**	**3,0-3,5**	**Soluble en ácido**
Cuprita Cu_2O	**88,8**	**5,9-6,2**	**3,5-4,0**	**Soluble en ácido y Fe^{+3}**
Dioptasa H_2CuSiO_4	**57,9**	**4,9-5,4**	**3,0-3,5**	**Soluble en ácido (clorhídrico).**
Brocantita $CuSO_4.3Cu(OH)_2$	**56,2**	**3,9**	**3,5-4,0**	**Soluble en ácido y Fe^{+3}**
Calcantita $CuSO_4\ 5(H_2O)$	**CuO 31,8%**	**2,1-2,3**	**2,5**	**Soluble en ácido**

2.5 Tratamiento de óxidos y sulfuros de cobre

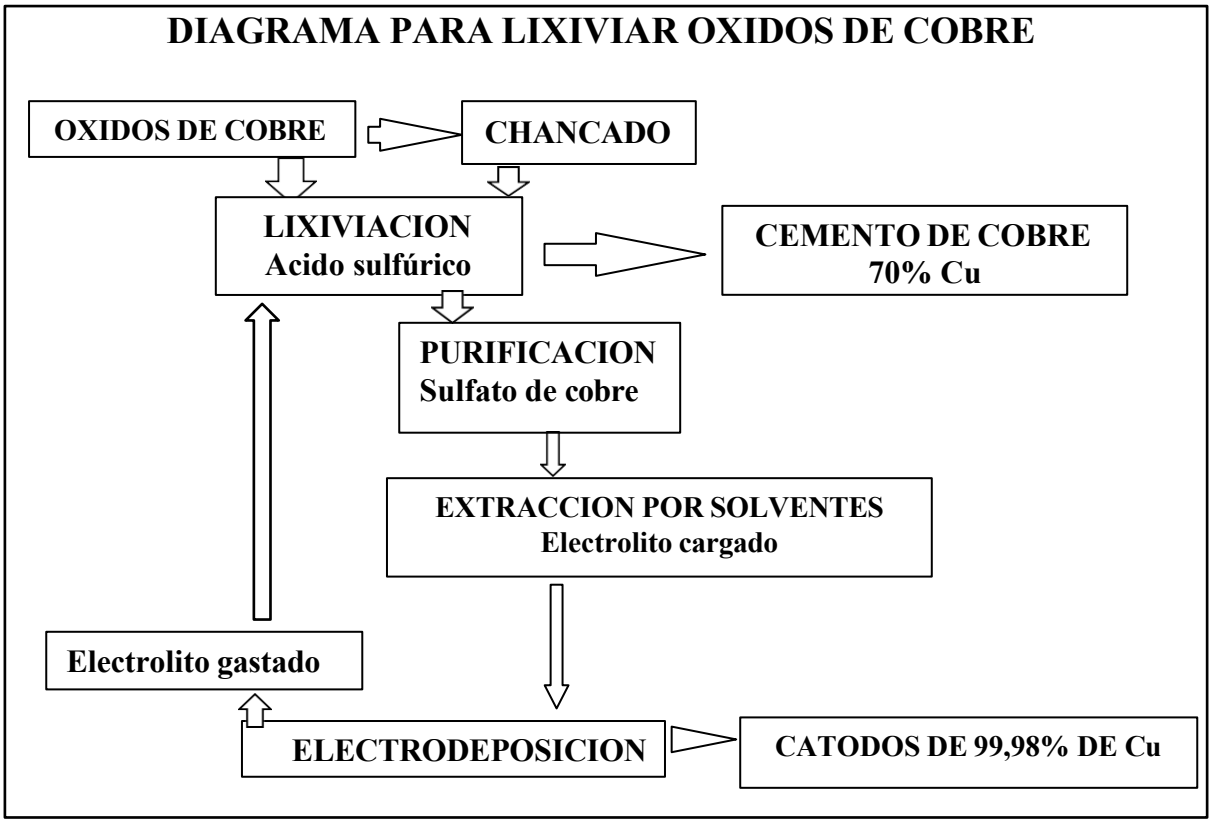
La tecnología por vía húmeda, para beneficiar cobre de minerales oxidados es la lixiviación ácida, con ácido sulfúrico, formamos el sulfato de cobre, purificamos la

solución, se realiza la extracción por solventes y electrodepositamos, obteniendo cátodos de 99.99% de cobre.

La electrodeposición se utiliza en los procesos metalúrgicos, implica cubrir una superficie metálica con una capa de metal utilizando corriente eléctrica, que deposita el cobre partiendo de una solución de sulfato de cobre.

Figura 3

Tecnología para tratar óxidos de cobre



A la fecha se distinguen dos tecnologías industriales para benefician minerales de cobre, sulfurados por vía convencional (fisicoquímica, pirometalurgia, hidrometalurgia y electrometalurgia) y la biolixiviación.

La pirometalurgia del cobre necesita alto consumo de energía tiene externalidades porque generan gases como el dióxido de azufre (SO_2), elementos contaminantes como el arsénico, antimonio y difícil manejo de subproductos.

La flotación de minerales genera un concentrado con leyes variables de 20 a

30% de cobre, los cuales se destinan a las fundiciones. Si contiene cobres grises será portador de plata, si tiene calcopirita hay posibilidades de que contenga oro.

En el relave siempre escapan elementos metálicos de 0,3 a 0,4% de cobre, deberíamos dar mayor valor agregado a los concentrados no vender como mineral sino como metales. Para ello se necesita invertir en proyectos de fundiciones y refinerías, entonces llegaríamos a obtener los otros metales contenidos en el concentrado que no nos pagan como son el bismuto, selenio, teluro, cadmio, indio y otros.

En las rocas hay un conjunto de minerales, a veces se presentan un solo mineral de mena, a veces dos o tres minerales de mena, llamados polimetálicos; entonces se hace necesario su beneficio previo análisis e investigación metalúrgica.

Si hablamos de flotación tendremos bancos para un producto, dos o tres productos, entonces los circuitos de flotación varían y cada mina resuelve sus propios problemas de producción en base a sus necesidades, no existen también plantas iguales.

Los concentrados minerales sulfurados, pasan a pirometalurgia cuyo proceso necesita altas temperaturas, estos se desarrollan en diversos reactores llamados hornos metalúrgicos, el concentrado sulfuroso secuencialmente pasa por diversas etapas que comprenden el secado, tostación, fusión, conversión y refinación.

Para la elección de los hornos a utilizar en el proceso pirometalúrgico se toma en cuenta muchos factores de acuerdo al resultado deseado, estos pueden ser el tamaño, dimensiones y forma de la construcción, detalles de enlaces de la construcción, puertas y chimeneas, uso de ladrillos refractarios, el combustible a utilizar (solido, liquido o gaseoso), la temperatura a alcanzar, la distribución calorífica, el flujo de transmisión de calor , el volumen de combustión, el tamaño y la velocidad de la llama, los conductos de aire, la recuperación del calor desperdiciado, recuperación de gases que se generaran durante la producción, disposición y traslado de productos intermedios así como los

sistemas de carga y descarga de los diferentes insumos, su traslado a sistemas continuos calcinas, matas y escorias, los servicios auxiliares así como los sistemas de automatización, control ambiental y de seguridad, además se toma en cuenta prioritariamente la economía del proceso.

Las dificultades que presenta la pirometalurgia son la generación de el dióxido de azufre (SO_2), se produce ácido sulfúrico a partir de éste, cuando sus concentraciones son altas, su transporte es caro y tiene altas restricciones de carácter ambiental. La emisión de gases al medio ambiente está restringida por lo que estos se captan para darles un tratamiento de acuerdo a normas y estándares establecidos.

Los productos de la pirometalurgia que contienen cobre son calcinas y matas en mayor proporción y el producto que se desecha es la escoria, pero también tenemos polvos y gases los cuales tienen que recuperarse y no expulsar al medio ambiente. Hoy se captan y controlan con equipo automático a pesar que se trabajan a alta temperatura y la demanda energética es bastante alta, aunque antes era compleja y difícil de controlar la emisión de gases y su trayecto. (Cochilco, 2017).

Los requerimientos de combustible para alcanzar altas temperaturas contrarrestan los propios sulfuros, se autocombustiona y actúa como combustible, por la reacción exotérmica que se desarrolla entre el azufre y el oxígeno., para no perder esta energía se requieren sistemas de recuperación de calor.

2.6 Pirometalurgia de sulfuros de cobre

Esta operación puede realizarse en varios hornos individualmente e indistintamente o en un solo sistema de reactores, dependiendo de la naturaleza de los concentrados previo cálculos y balances metalúrgicos.

2.6.1 Tostación

Los minerales de cobre de alta ley y los concentrados obtenidos por flotación

(25% Cu) son destinados de las minas a la fundición y refinerías, ingresando al área de preparación de camas, en donde se mezclan minerales y fundentes, para ser alimentado a la planta de tostadores.

Existen diversos diseños de hornos tostadores de cobre, los más convencionales son los tostadores relámpago y hornos de soleras múltiples con diversas modificaciones y conocidos con diversos nombres. Los tostadores relámpago o instantánea son reactores especiales que trabajan en lecho fluidizado, los sólidos en suspensión se consideran como quemadores espaciales. Funcionan bien con partículas finas en donde los sulfuros de cobre reaccionan con el oxígeno del aire desprendiendo calor y formando anhidrido sulfuroso y el óxido de cobre.

En nuestro país, en la fundición de La Oroya se trabajaba con hornos de solera múltiple es de sección cilíndrica vertical el horno está dividida por soleras anulares montadas unas sobre otras, En cada solera se tienen brazos con rastrillos movidos por un eje central común.

La carga o alimentación previamente preparada que reporta 15.9% de cobre, se introduce en la periferia de la solera mas alta. Los brazos movilizan la carga hacia el centro de la solera, por donde cae a la siguiente. En este punto se empuja hasta la periferia cayendo a la solera siguiente. El movimiento continuo hacia abajo por todo el horno. El eje central hueco se enfría interiormente por una corriente forzada de aire. En algunas de las soleras se ponen quemadores y se hace circular aire para la combustión. Estos hornos manipulan materiales granulares y dan larga trayectoria a contracorriente entre los gases de la combustión y el material de carga. En las primeras soleras ocurre el secado luego la calcinación de los carbonatos presentes y finalmente la tostación, es decir la formación de óxidos de cobre.

El producto es la calcina que es una mezcla de óxidos, sulfuros y mínimamente sulfatos

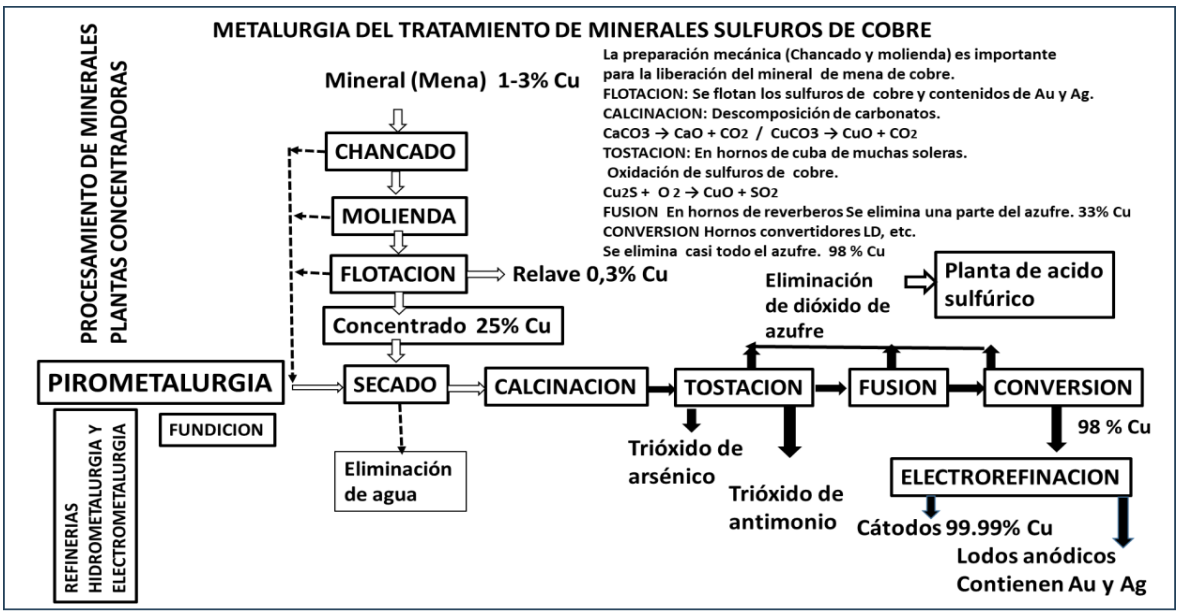
que reporta 16.43% cobre del último piso cae a una tolva de almacenamiento descargándose periódicamente a coches de calcina, quienes lo transportan a la fundición llegando a los hornos de reverberos.

Los gases y polvos que se generan son recuperados en cotreles para evitar la contaminación. Se queman los sulfuros produciéndose anhidrido sulfuroso el cual se elimina parcialmente.

También se eliminan el arsénico y antimonio, considerados impurezas perjudiciales del concentrado de cobre. Entonces el anhidrido sulfuroso se recupera como tal o también transformado en acido sulfúrico. Actualmente se emplea oxígeno en vez de aire se obtiene un anhidrido sulfuroso más concentrado instalándose plantas de oxígeno cerca a los hornos.

Figura 4

Tecnología convencional para tratar minerales sulfurados de cobre



2.6.2 Fundición

Al horno se carga la calcina y los fundentes a mil doscientos cincuenta grados centígrados. La fundición de cobre por mata se lleva a cabo exitosamente en hornos de

cuba o hornos de reverbero su objetivo es separar los sulfuros metálicos en la calcina de la ganga, produciendo una mata con características definidas para ser cargada a los convertidores.

El cobre presente en la carga como una mezcla de sulfuros y óxidos provenientes de la tostación, se convierte todo en sulfuro cuproso (Cu_2S). El oro, la plata y otros metales son absorbidos casi completamente por la mata en producción que contiene 32.48% de cobre.

El calor necesario para fundir es alimentado por quemadores de petróleo.

Fundido la calcina, se forman dos fases: la más densa es la mata que contiene metales sulfurosos y la fase menos densa es la escoria que contiene la ganga y los fundentes, que reporta 0.67% de cobre. La escoria se granula con agua a presión alta y transportada al depósito de escorias. La mata es extraída del horno y es transferida a convertidores continuando para proseguir la obtención del cobre.

Los gases que se producen en los hornos de reverberos por fusión y combustión pasan por los calderos para recuperar el calor y producir vapor. Los gases son llevados al cottrell central para recuperar polvos metálicos.

2.6.3 Conversión

En hornos verticales llamados convertidoras tipo Pierce -Smith se lleva a cabo la conversión, tiene una campana de ventilación y ducto para colectar gases que pasan por torres de enfriamiento y acondicionamiento y de allí al cottrel central de donde se recuperan los polvos y gases. En el convertidor se insuflan aire al baño de la mata que vino de los reverberos para oxidar los sulfuros de hierro a oxido ferroso formando con la sílice la escoria. La mata se convierte a cobre ampolloso s en dos etapas.

El sulfuro cuproso de la mata se oxida dejando al cobre metálico en el fondo de la convertidora. No es necesario el uso de combustible para mantener el baño liquido

debido a que las reacciones químicas producen todo el calor necesario por ser altamente exotérmicas.

A la mata se insufla aire u oxigeno enriquecido produciéndose sulfuro cuproso puro (metal blanco), además el hierro es oxidado formando escoria al añadirse sílice. La escoria contiene unos 3% de Cu, esta se devuelve a los reverberos por dos canales de retorno situados a cada lado de los quemadores, para recuperar el remanente de cobre evitando perdidas en la escoria. En la segunda etapa de insuflación, el azufre que queda, termina de ser oxidado a anhidrido sulfuroso dejando un cobre ampolloso que se descargan a tasas especiales y se destinan a hornos de retención antes de ser moldeado en forma de ánodos que analizan 98% de cobre.

2.6.4 Refinería de cobre

El cobre ampolloso de convertidores en forma de ánodos y de superficie áspera son enviados a la refinería, estos son colocados en las celdas electrolíticas de refinación, a una separación de 7 pulgadas (18 cm) de centro a centro para obtener depósito catódico de alta pureza y una buena eficiencia de corriente.

Se controla el ácido sulfúrico a un término de concentración de 130 gramos por litro, se tienen tres cosechas catódicas de un solo ánodo con ciclos continuos variables de 7, 8 y 9 días.

Las láminas de arranque catódicas en las celdas electrolíticas se depositan electrolíticamente en planchas madres de cobre que previamente son tratadas con una mezcla al 50% de combustible keroseno y aceite, con la finalidad que facilite posteriormente el delaminado.

Luego cada 24 horas estas láminas son peladas y se les coloca orejas de cobre para que puedan ser suspendidas de las celdas de refinación.

Los cátodos de cobre refinado concluido el ciclo de deposición son retirados

de las celdas electrolíticas, se lavan y envían a la fundición y moldeo de cobre, los cátodos se funden en hornos llamado de Asarco de columna vertical, usa gas propano como combustible para la fusión del cátodo y la mata se moldea en diferentes formas: barras de 114 a 120 Kg; pechos de cobre, lingotes de 12.7 cm, canales y moldes para la tornamesa de cobre

En la celda electrolítica el átomo de cobre contenido en el ánodo, al paso de la corriente eléctrica migra al cátodo depositándose en ella entonces se disuelve el ánodo, las impurezas contenidas en el ánodo caen al fondo de la celda en forma de lodos insolubles donde son removidos al final de cada ciclo anódico, descargándose hacia canales forrados en plomo ubicados debajo de cada bloque. Los lodos anódicos son lixiviados con ácido sulfúrico para remover la mayoría del cobre ocluido que podría interferir con el tratamiento siguiente.

El lodo que contiene metales preciosos importantes como el oro, la plata y otros son centrifugados y el queque que se obtiene se envía a la planta de tratamiento de residuos anódicos empacados en cilindros metálicos y sellados, para ser recuperados individualmente.

El contenido de cobre contenido en el electrolito tiende a aumentar y al no poder ser removido por electrodeposición obliga a sacar del electrolito purgando de tiempo en tiempo en forma de sulfato de cobre o metal catódico usando celdas liberadoras utilizando ánodos insolubles de plomo.

En la planta de sulfato de cobre el electrolito es neutralizado en tanques de acero inoxidable usando para ello chatarra de cobre aumentando el tenor de cobre en la solución.

La solución neutralizada y concentrada es bombeada a un cristalizador al vacío donde con un vacío de 30 cm de mercurio es enfriada debajo de su temperatura de

saturación lográndose así precipitar cristales de sulfato de cobre. Al termino de cada ciclo de cristalización el contenido del cristalizador es drenado a una centrifuga donde se separan los cristales de sulfato de cobre y la solución o agua madre fluye de dos tanques precipitadores forrados de plomo, en donde el cobre remanente es precipitado con chatarra de hierro.

La solución final es descargada al rio. Después de centrifugado el sulfato de cobre es pesado y despachado siendo su mayor uso en las plantas concentradoras, donde se usa como activador en la flotación de zinc.

La comparación de estas dos ramas de la metalurgia extractiva, entre piro e hidrometalurgia se manifiestan en la Figura 11, se debe tener en cuenta las leyes del mineral de cabeza en los yacimientos, los minerales de mena acompañantes, minerales de ganga, los costos y otros aspectos que requiere un proyecto minero.

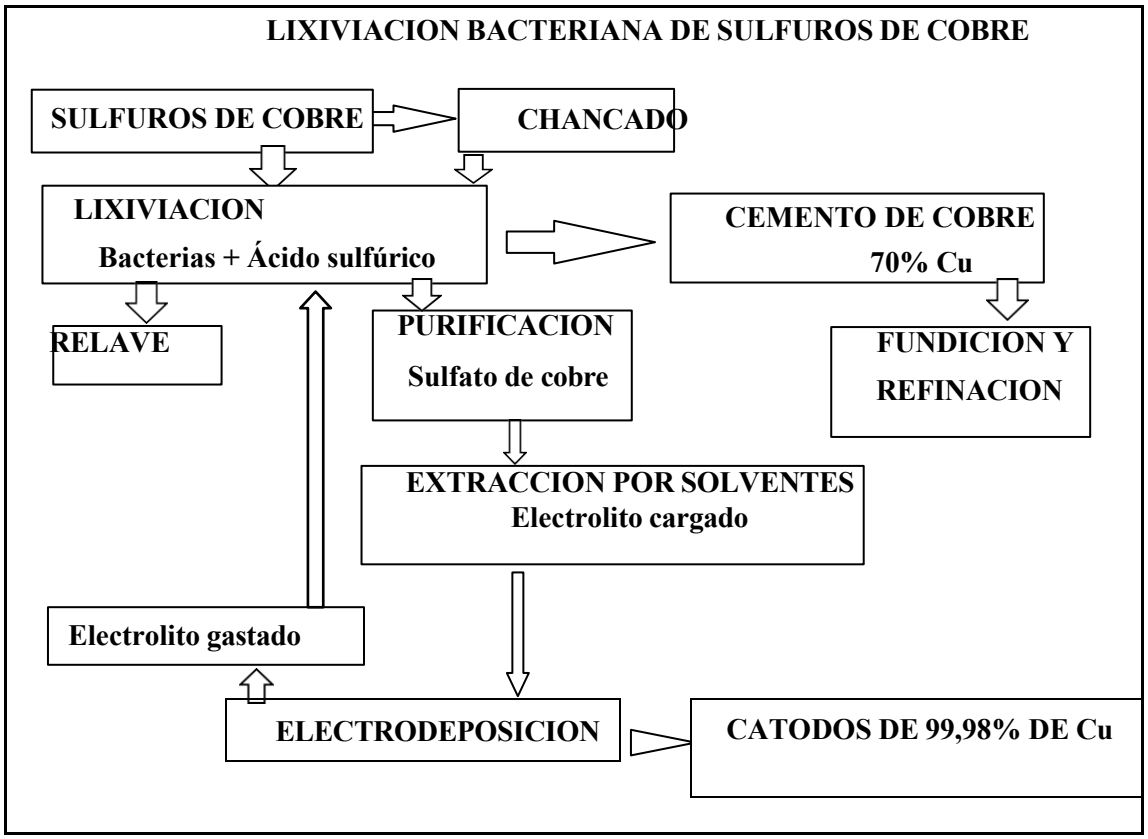
Si los minerales se presentan como óxidos no se necesita lixiviación bacterial, porque normalmente la lixiviación se realiza solo con ácido sulfúrico, por su bajo costo y versatilidad del proceso.

La tecnología que proponemos para beneficiar sulfuros de cobre en nuestra investigación es la lixiviación bacteriana que se presenta en la figura 5. Prácticamente es casi el mismo procedimiento de la lixiviación de minerales oxidados, la diferencia está en que utiliza minerales sulfurados para lixiviar con acido sulfúrico en presencia de bacterias.

Las tecnologías en metalurgia, son versátiles y pueden combinarse, por ejemplo, se puede tostar un concentrado de sulfuros metálicos, para luego lixiviar la calcina, con el objeto de extraer el metal que nos interesa. Podemos lixiviar relaves y escorias si contienen metales y es rentable su obtención.

Figura 5

Tecnología limpia, en investigación para tratar sulfuros de cobre



Para beneficiar cobre de los minerales primarios necesariamente tenemos que oxidarlos y sulfatarlos no hay otro camino, es decir eliminar el azufre, el cual se realiza por vía seca. Los sulfuros, así como la calcopirita pueden ser sulfatizados con ácido sulfúrico en autoclave a 160 °C, en presencia de oxígeno, respondiendo a la siguiente reacción:

$$CuFeS_2 + 17/4\ O_2 + 1/2\ H_2SO_4 = CuSO_4 + 1/2\ Fe(SO_4)_3 + 1/2\ H_2O$$

El problema es que este proceso tiene baja rentabilidad, por los costos altos que representa la producción de cobre a partir de sulfuros.

Tabla 4

Aspectos comparativos entre piro e hidrometalurgia

Ventajas y Desventajas de la pirometalurgia	
Ventajas • Tratan minerales complejos y heterogéneas formadas por minerales de diversas procedencias • Grandes velocidades de reacción • En reactores relativamente pequeños alta producción	Desventajas • Imposible tratar minerales pobres, es antieconómico. • Relativamente poca eficacia y mala selectividad en reacciones químicas de separación. • Los procesos transcurren, normalmente, en varias etapas. • Contaminación ambiental por generación de residuos, gases y ruido.

Ventajas y desventajas de la hidrometalurgia	
Ventajas • Es posible beneficiar minerales pobres y marginales. • Alta selectividad y grado de separación en las reacciones químicas. • Alta ley de los productos. • Control y optimización fáciles. • No generan gases.	Desventajas • Las velocidades de reacción son lentas • Mínima producción por reactor • Sensible a variaciones en la composición de la alimentación. • Problemas en la eliminación y almacenamiento de residuos sólidos que se generan. • Dificultades con las aguas residuales

2.7 Tecnología de la lixiviación bacteriana

El principal estudioso de las bacterias fue Louis Pasteur, y el descubridor de las bacterias Auton Van Leeuwenhoek en 1676. (Chávez, 2023, p. 221). Las bacterias son microorganismos he-terótrofos por lo general microscópicas y unicelulares presentes en casi todas las partes, en el agua, en el aire, etc. Son organismos procarioticos unicelulares con pared celular, sin mitocondrias, pero si con abundancia de ribosomas, en la pared celular de los ribosomas no existe celulosa, viven en un periodo de latencia y algunas bacterias dan la impresión de estar protegidas por una especie de capsula, este tipo de bacterias son imposible de ser destruidas por los leucocitos (glóbulos blancos).

La lixiviación bacteriana es un proceso de oxidación bioquímica que es catalizado por microorganismos.

En la lixiviación bacteriana se emplean bacterias acidófilas, fierro o sulfooxidantes como catalizadores.

Las bacterias dithiobacillus ferroxidans fue demostrada por Colmer y Hinkle a inicios de los años 50 en drenajes de minas carboníferas que analizaron altos contenidos de ácidos y hierro, bacterias de forma bacilar gran negativas, de tamaños de 0,5 a 1,7 micrones, estas cepas tienen flagelos y son capaces de oxidar elementos inorgánicos como son los iones ferrosos y el azufre que les sirven como fuente primaria de energía. El carbono lo obtienen por fijación del dióxido de carbono. El *dithiobacillus ferroxidans* es aeróbico, necesita oxigeno es acidófilo, se desarrolla en rangos de ácido de 1,5 a 3 de pH y a temperaturas entre 25 y 35 grados centígrados, esta bacteria manifiesta mayor contribución en producción de aguas acidas que salen de yacimientos sulfurados en forma de sulfato férrico y son soluciones acidas.

Las bacterias que se adaptan a la minería son los autotróficas y las heterotróficas. Las autotróficas obtienen sus nutrientes y energía de la materia inorgánica que los rodea. Las heterotróficas son microorganismos que requieren de la disponibilidad de materia orgánica para completar su ciclo de vida.

Hay especies de bacterias que se desarrollan en presencia de oxígeno, llamadas bacterias aeróbicas y ejecutan las reacciones de oxidación, tienen la propiedad de oxidar los sulfuros metálicos a sulfatos solubles. También hay bacterias anaeróbicas que se desarrollan en ausencia de oxígeno, estas bacterias ejecutan las reacciones de reducción.

La lixiviación bacteriana, es conocida como biolixiviación, biohidro metalurgia o biooxidación de sulfuros, es una tecnología existente que no está

desarrollada en la región Pasco. Los sulfuros metálicos son semiconductores, tienen propiedades electroquímicas, es decir pueden transferir o ganar electrones y como tal se producen reacciones tipo redox, cuando el sulfuro se encuentra en un medio electrolítico.

Los materiales semiconductores son poco conductores, sus electrones pueden saltar fácilmente de la banda de valencia a la de conducción, si se les comunica energía externa.

El dithiobacillus ferrooxidans son bacterias estrictamente autótrofas que oxidan el azufre y el tiosulfato a ácido sulfúrico.

Se pensó que la lixiviación metálica era un proceso exclusivo químico, en donde intervenía el agua y el oxígeno presente en el aire.

Al descubrirse las bacterias acidófilas ferro y sulfo oxidantes fue primordial para definir la lixiviación como "un proceso catalizado biológicamente" (Simpson, 1998, p.3).

Los *dithiobacillus thiooxidans* y los *dithiobacillus ferrooxidans* para su metabolismo, requieren ganar energía de aquellos electrones ubicados en orbitales de un alto nivel energético. Entonces una bacteria cataliza un proceso de reacción química redox con un mineral sulfurado metálico.

Al perder electrones los sulfuros argumentan enlaces rotos originando disolución del sulfuro metálico. Hay dos mecanismos por el cual se producen la lixiviación del sulfuro. Lixiviación Férrica:

$Fe^{3+} + SMe + O2 \rightarrow SO4Me + SO4Fe$ (1)

Lixiviación bacteriana (Modelo directo)

$SMe + O2 + H2SO4 \xrightarrow{\text{Bacteria}} SO4Me + H2O$ (2)

Para el primer mecanismo la producción de iones férricos se logra por acción bacteriana, de acuerdo a la siguiente reacción:

Fe^{2+} bacteria → Fe^{3+} + 1e (3)

A este modelo químico (1) y (3) se le llama lixiviación indirecta. Entonces, la geobiometalurgia usa microorganismos para lixiviar metales contenidos en los minerales, siendo este un proceso por medio del cual se disuelve por la aplicación de un disolvente un componente de la sustancia tratada fácilmente soluble en el disolvente aplicado. Se disuelve el material valioso, es decir el objetivo es extraer el cobre comercial contenido en el mineral de cabeza. El fin de la lixiviación bacteriana es disolver el cobre con bacterias para luego recuperar la ayor cantidad posible del componente soluble en una solución de concentración adecuada para las etapas sucesivas de proceso como precipitación de metales solubles o evaporación y cristalización.

En general, la extracción de metales desde minerales es alcanzada a través del uso de la oxidación de sulfuros metálicos a partir de microorganismos. Es preciso analizar y conocer la sustancia por lixiviar y el disolvente. La lixiviación de sustancias con bacterias puede desarrollarse con diversos tipos de bacterias y minerales gruesos o finamente divididos.

El mineral a lixiviar debe estar en contacto con las bacterias y solución acida lixiviante como el ácido sulfúrico. La percolación con ligera agitación o continúa producida asegura la penetración eficaz del disolvente y una buena lixiviación del mineral.

Explicando la oxidación biológica de sulfuros de cobre, mencionamos que el cobre se disuelve en sulfato de cobre ($CuSO_4$). La chalcopirita ($CuFeS_2$) es el sulfuro de cobre más difícil de oxidar.

Con el dithiobacillus ferrooxidans la velocidad de oxidación del sulfuro se incrementa hasta en 12 veces más que el proceso netamente químico. Los sulfuros

secundarios de cobre, chalcocita (Cu_2S), covelita, bornita, son oxidados más fácilmente bajo el impacto de las bacterias. A nivel industrial, la tecnología ha venido siendo aplicada en pilas (Chile, Estados Unidos, Perú, etc.). La empresa Southern Perú aplica la tecnología de lixiviación para la recuperación de cobre en sus áreas de botaderos de baja ley de sulfuros en Toquepala. La empresa Billiton, de Sudáfrica, investiga minerales que contienen arsénico para recuperar cobre en un proceso llamado BIOCOP.

La actividad catalizadora de las bacterias para lixiviar sulfuros es similar en todas las variedades. La pirita (FeS_2) es lentamente lixiviada por la presencia del agua y el oxígeno, formando el sulfato ferroso ($FeSO_4$) y ácido sulfúrico (H_2SO_4)

$$2FeS_2(s) + 7O_2(g) + 2H_2O(l) = 2FeSO_4(aq) + 2H_2SO_4(aq)$$

Luego, se oxida el sulfato ferroso a sulfato férrico por la presencia de bacterias mesófilas, ácido sulfúrico y oxígeno.

$$2FeSO_4(aq) + H_2SO_4(aq) + 1/2O_2(g) + Bacteria = Fe_2(SO_4)_3(aq) + H_2O(l)$$

Las reacciones generan azufre y acido sulfúrico, además sulfatos ferrosos y cúpricos. $7Fe_2(SO_4)_3(aq) + FeS_2(s) + 8H_2O(l) = 15FeSO_4(aq) + 8H_2SO_4(aq)$

$$Cu_2S(s) + 2Fe_2(SO_4)_3(aq) = 2CuSO_4(aq) + 4FeSO_4(aq) + S(s)$$

En medio acido se puede disolver la chalcopirita ($CuFeS_2$) con bacterias termófilas con potencial elevado.

$$2CuFeS_2(s) + 17/2O_2(g) + H_2SO_4(aq) + Bacteria = 2CuSO_4(aq) + Fe_2(SO_4)_3(aq) + S(s) + H_2O(l)$$

Para regular el pH de los electrolitos el azufre formado durante la lixiviación reacciona con el agua y oxigeno generando ácido sulfúrico.

$$S(s) + 3/2O_2(g) + H_2O(l) = H_2SO_4(aq)$$

Durante el crecimiento de las bacterias hay poca actividad de solubilización por

lo que se requiere su madures y una población adecuada dándole condiciones para su desarrollo y reproducción.

Así como hay población bacteriana, también llegan al decaimiento y muerte. La geobiolixiviacion podemos aplicar en pilas dinámicas y estáticas, además en botaderos.

Para minerales de cobre se sabe que los óxidos responden a la lixiviación convencional, los sulfuros primarios como la calcopirita son difíciles de lixiviar, los minerales secundarios de cobre son los que responden a la lixiviación bacteriana.

Para implementar este proceso se necesita mínima inversión y costo de operación baja comparando con métodos convencionales, además la contaminación ambiental disminuye ostensiblemente tratando minerales de baja ley de cobre en condiciones de rentabilidad.

La desventaja es que este proceso de lixiviación bacteriana es bastante lento. Es necesario un tiempo de adaptación de las bacterias, y esto varia de unas horas hasta algunas semanas dependiendo de la magnitud del diseño donde se evalué; así en diseños tipo, tubos de ensayo, es posible examinar sobre la actividad bacteriana, en términos de horas, mientras que en diseños de pilotajes de unas 50, 000 toneladas se requerirían de algunas semanas, inclusive meses.

Los aspectos a considerar son que el proceso de lixiviación de sulfuros puede originarse por un modelo químico, electroquímico y bacterial, dependiendo de las condiciones en que se encuentra el sistema: mineral, solución lixiviante o solido líquido.

El primero de ellos, el sulfuro metálico, al ser un semiconductor, que en términos de distribución de orbitales electroquímicos presenta separación entre la banda de conducción y de valencia (zona prohibida) y que es posible la transferencia de electrones entre estas bandas por un incremento de energía suficiente como para

excitar un electrón de la BC, y salte de la BV, esto originara migración de hoyos en la primera banda y de electrones en la segunda , la existencia de electrones y de hoyos permitirá una migración de ellos, si el sistema es polarizado catódica o anódicamente. La presencia de orbitales tipo P o N en la zona prohibida (semiconductores extrínsecos) facilitan la presencia de electrones en la BV o de hoyos en la de conducción y como tal, el sulfuro posee mejores propiedades electrónicas. Son pues el ancho de la zona prohibida, y la presencia de orbitales N y P los que determinan si un sulfuro puede tener mayor o menor propiedad electroquímica. Esto significa que existe selectividad de la lixiviación de los sulfuros metálicos, esto en términos de los procesos electroquímicos.

Otro de los aspectos a considerar es la solución lixiviante. Cualquiera sea el mecanismo de disolución del sulfuro, la solución lixiviante debe proveer de los iones que provocan las reacciones químicas electroquímicas y bacteriales; para el primer caso el proceso estaría gobernado por los potenciales químicos de la sustancia a disolverse, para el segundo caso, por el potencial necesario para que se produzca una reacción redox entre el sulfuro y un agente oxidante y finalmente para el tercer caso, la presencia de bacterias, O_2, H^+ factores necesarios para que se produzca una disolución bacteriana.

Otro de los factores que interesa definir es la acción bacteriana. Los dithiobacillus ferroxidans tienen acción bacteriana a un pH de 1,8 a 2,6, consideran un pH optimo de 2,2, la temperatura del ambiente optimo 30 grados centígrados, la fuente de O_2 (son estrictamente aeróbicas), normalmente disuelto en el agua, fuente de CO_2, normalmente presente en el aire, fuente de NH_4^+, $PO_4^=$, K, Na, y otras sales (son quinioautotrofas), que se encuentran conformando la roca matriz. Fuente proveedor de electrones el azufre, el sulfuro metalico y el Fe^{+2}, fuente aceptora de electrones el

H_2, H^+, u otro agente reductor y finalmente, ausencia de agentes inhibidore al proceso, otros microorganismos, concentraciones elevadas de iones metálicos, así como, de sustancias toxicas, generadas por las mismas bacterias, en su ciclo vital. La presencia preponderante de una determinada cepa bacterial, depende fundamentalmente de las condiciones existentes como medio ambiente, pH, temperatura, sales químicas presentes, fuentes de energía, etc.

Los parámetros que gobiernan la cinética de reacción son los modelos de migración iónica a través del mineral, es decir la cinética de reacción depende de los fenómenos de difusión, el coeficiente de difusión dependerá del tamaño de grano, de la naturaleza del mineral y de su matriz rocosa y, del tipo de diseño de experimentación.

Las investigaciones de lixiviación bacteriana a nivel de laboratorio que se desarrollan las más comunes son:

A. Investigaciones tipo Batch

- Caracterización del mineral sulfurado (Curva potenciométrica)
- Caracterización de la solución (Determinación de pH y mv)
- Adaptación de bacterias (A pH y temperaturas determinadas)
- Desarrollo bacterial (Tubos de ensayo, vasos y Erlenmeyer) con y sin agitación.
- Lixiviación bacteriana (en vasos y Erlenmeyer, con agitación y aereacion forzada).

B. Sistemas continuos

- Fermentadores (Desarrollo bacterial en nutrientes.
- Percoladores (Para evaluar fenómenos de percolación y /o migración iónica, desarrollo bacterial con mineral triturado.
- Minicolumnas (10 a 20 Kilos para evaluar sistemas de mojado de mineral (percolación, inundación, tiempos de reposo.

C. Sistemas continuos y en circuito cerrado con otros procesos (extracción por solventes, cementación)

- Columnas de 100 a 200 kilogramos (Tamaño del mineral)
- Columnas en serie (Ver el comportamiento de iones Cu, Fe, H y otros)
- Minipilas (menores de una tonelada, para ajustar modelos matemáticos.
- Pilas pilotos (hasta 50 mil toneladas (evaluación económica).
- Pilas semi industriales (menores a 300 mil toneladas, evaluación económica y producción rentable)

El cobre a extraerse responderá a las siguientes eacciones $CuFeS_2 + 4O_2$

$\xrightarrow{\text{Bacteria}} SO_4Cu + SO_4Fe$

$Cu_2S + O_2 + 2H_2SO_4 \xrightarrow{\text{Bacteria}} 2\,SO_4Cu + H_2O$

Llevado a cabo la investigación se obtiene una base cuantitativa para la evaluación económica del proceso.

El objetivo de la investigación del proceso es obtener cobre en el laboratorio, luego analizar el rendimiento y velocidad de conversión.

Entonces debemos obtener datos científicos que permitan el diseño racional del proceso de obtención del cobre con un gasto mínimo de tiempo y de equipo en los estudios de planta piloto y en la operación del proceso final bajo las condiciones más favorables y económicas con respecto a todas las variables. El objetivo es el reducir el tiempo y el gasto de traslado del proceso desde la idea hasta la construcción de la planta completa.

Luego es necesario evaluar. El ingeniero debe estar en contacto con el proceso desde el laboratorio y debe desarrollar el proceso en planta piloto.

En los proyectos es necesario realizar un análisis económico y de ingeniería con los datos disponibles antes de intentar cualquier trabajo de laboratorio. Tomando

como objetivo determinar la potencialidad del proyecto para investigación y desarrollo de trabajos posteriores.

Se debe analizar el precio de las materias primas y el del producto terminado para decidir el proceso y el diagrama de flujo. La segunda etapa se alcanza después de que se ha completado parte o el total del trabajo de laboratorio planeado inicialmente.

Cuando se dispone de información suficiente es necesario realizar el balance de materiales, balance económico y análisis de rentabilidad, aunque a veces es necesario hacer algunas suposiciones para sustituir datos faltantes. La evaluación de ingeniería de los proyectos en investigación se lleva a cabo por los siguientes motivos que se menciona. Primero hacer un análisis económico del anteproyecto o proyecto., en segundo lugar, **d**elinear las operaciones unitarias y los procesos bioquímicos implicado en las operaciones de lixiviación bacteriana proyectadas para la obtención del metal, luego **s**aber qué información adicional será necesaria para completar el diseño del proceso y del equipo para una planta. Al completarse la evaluación hasta ese punto se tendrá la base para una decisión respecto a la conveniencia de seguir adelante con el trabajo del laboratorio adicional o con el desarrollo del proceso y el trabajo de planta piloto

La razón principal de preparar evaluaciones económicas y de ingeniería de un proyecto en estado de investigación es el de determinar, tan pronto como sea posible, si el proyecto no es impracticable y sin bases o es practicable y económicamente rentable.

Los costos para instalar pilas de mineral para lixiviación bacteriana, deben evaluarse con los siguientes rubros: costos de instalación, costo por minado, costo por transporte de mineral, costo por impermeabilización del terreno, costo por arreglo de pilas, costo por tanque de recepción de soluciones, costo por tuberías y sistemas de

irrigación, costo por bombeo, costo por tratamiento de soluciones lixiviantes instalación y operación de una planta de cementación de cobre con chatarra de hierro, costo por ácido sulfúrico, costo por captación y aprovechamiento de agua.

Además, deben evaluarse los costos de operación, estos son: costo por análisis químico, costo por personal técnico, costo por energía, combustibles y otros, costo por chatarra de fierro, costo por embalaje y transporte del cemento de cobre.

El proyecto debe contemplar primordialmente la responsabilidad social antes que lo técnico, si no se sensibiliza a la población no se involucra a la sociedad simplemente el proyecto no caminara. (Desarrollo sostenible).

Se debe contemplar el ciclo de vida, con un horizonte de planeamiento, aspectos del mercado de comodities, riesgos de la inversión minera con análisis de rentabilidad, de acuerdo a su naturaleza a corto, mediano y largo plazo, tomando en cuenta el tiempo de extracción del metal de 5 a 10 años o más, informes de laboratorio, de acuerdo al porcentaje de metal existente en el yacimiento, a las reservas existentes, de acuerdo al tamaño de la planta de producción, de acuerdo a las fuentes de financiamiento y capital económico necesario, de acuerdo a expedientes elaborados de sistemas de seguridad, controles medioambientales, cierre de minas, aspectos legales, entre otros.

Finalmente elaborar el plan y sistema de gestión para la marcha eficiente del proyecto e inicio del trabajo productivo.

III. MÉTODO

3.1 Tipo de la Investigación

La presente investigación se desarrolló a nivel de laboratorio químico y biológico, con muestras tomadas en el yacimiento Sidkenu II y evaluadas cualitativamente y cuantitativamente con evaluación estadística y los resultados obtenidos demuestran la recuperación del cobre mediante biometalurgia. Resumiendo, es de tipo aplicada y descriptiva. La técnica de contrastación: experimental.

3.1.1 Diseño de investigación

Una vez obtenida las muestras de minerales sulfurados de cobre se homogenizaron, luego se sometieron a investigación en el laboratorio, de acuerdo a los procedimientos anticipadamente planificados.

De acuerdo a Sánchez et al. (2018), el diseño es pre experimental (GE), con pre test y, pos test con un solo grupo.

GE O1 X O2

En donde:

O1 = Es el contenido de cobre en el mineral de cabeza.

X = Son las variables ideales (tamaño de grano menos malla #200, 300 g. de masa. pH, acido)

O2 = Es el contenido de cobre como sulfato, luego de la lixiviación bacteriana. Los procedimientos son:

1.- Preparación de las muestras: - conminucion (la liberación de los sulfuros, se logra con chancado, molienda y clasificación de partículas a la malla menos 200 serie Tyler).

2. Lixiviación convencional, previa del mineral con ácido sulfúrico diluido al 10%,

precipitar, separar el cobre y lavar el mineral.

3. Toma de bacterias. - Identificación y fermentación. (Desarrollo bacterial en nutrientes).

4. En Erlenmeyer de 250 ml, se adiciona 300 g de mineral de sulfuros de cobre, se adiciona 70 ml de solución nutriente 9K, se agita controlando el pH acido a 2.8.

5. Lixiviación bacteriana

6. Adición de chatarra de hierro para precipitar el cobre.

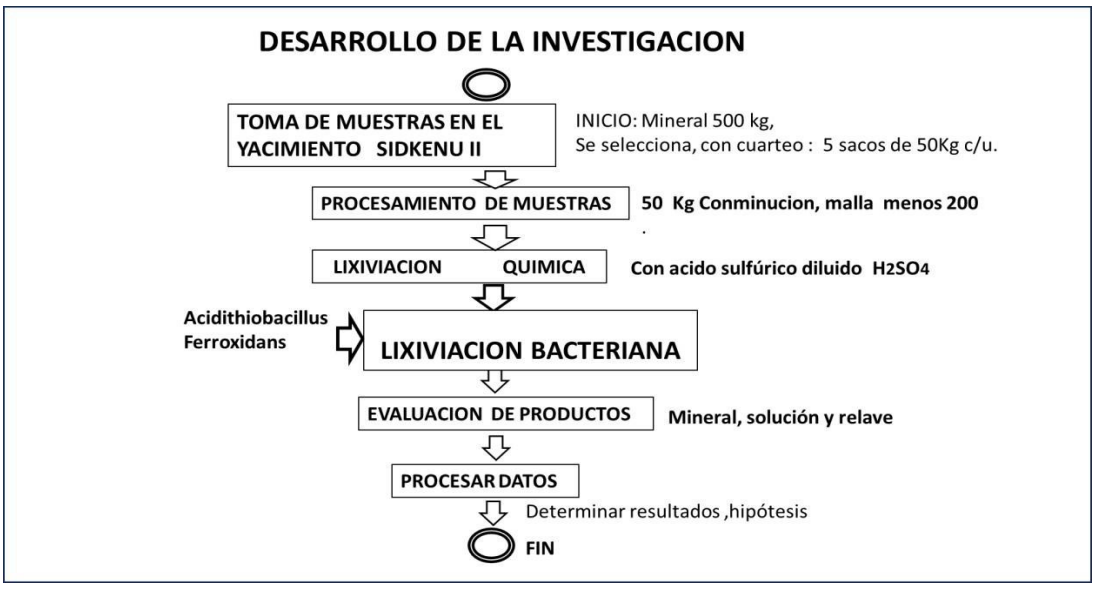
7. Evaluación de productos (Análisis químico). Cabeza, concentrado y relave.

8, Procesamiento de los datos (contrastación de hipótesis).

3.1.2 Diagrama de investigación

Figura 6

Proceso de la investigación



3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

Es el total de reservas de mineral de sulfuros de cobre contenidos en el área de las coordenadas que se muestran en la tabla 5. Se cubicaron 930 mil toneladas de mineral probadas y probables, pudiéndose incrementar si se continua con exploraciones en el

área de estudio.

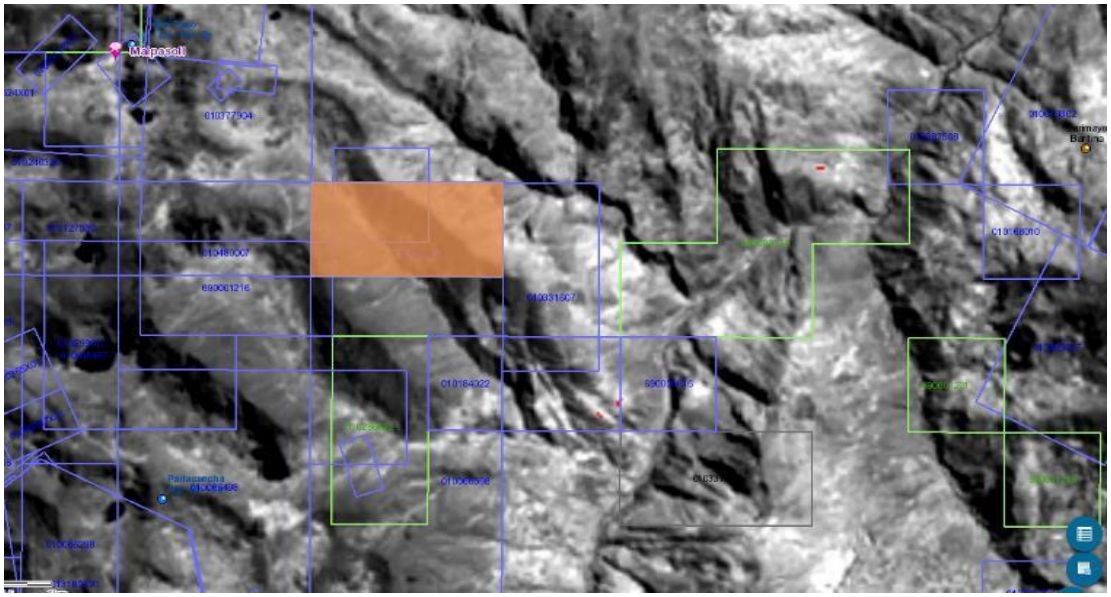
Tabla 5

Coordenadas del área de estudio que tienen reservas de minerales de sulfuros de cobre.

	COORDENADAS	UTM PSAD 56	COORDENADAS	WGS 84
VERTICE	NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
1	8852000.00	362000.00	8851633.70	361774.01
2	8852000.00	364000.00	8851633.71	363774.00
3	8851000.00	364000.00	8850633.70	363774.01
4	8851000.00	362000.00	8850633.70	361774.02

Figura 7

Ubicación del yacimiento de sulfuros de cobre, distrito de Pallanchacra, Pasco.



INGEMMET, Geocatmin

3.2.2 Muestra

Una fracción representativa del universo de reservas de mineral de cobre contenidos en el área de la población mostrada.

La porción total calculada es de 300 g. por ensayo. como resultado del proceso de trabajo de campo. Demostrando con las imágenes debidamente descritas.

Figura 8

Toma de muestras en el Yacimiento Sidkenu II, Pallanchacra



Figura 9

Preparación, chancado y trituración, de las muestras



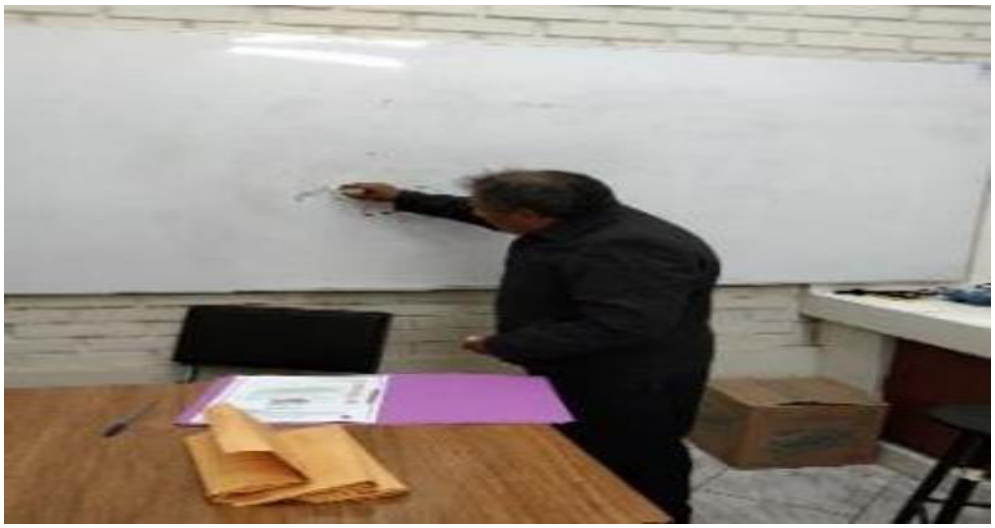
Figura 10

Embolsado, etiquetado y sellado de muestras, y explicación de la investigación a desarrollar.



Figura 11

Exlicar la investigación a dfesarrollar



3.3 Operacionalización de las variables.

3.3.1 Variable independiente: *Geobiometalurgia de Minerales*

Geobiometalurgia de minerales sulfurados de Pallanchacra Pasco.

Esta variable independiente (X) es la biolixiviación con acidithiobacillus ferroxsidans de sulfuros mineralizados de cobre contenidos en el yacimiento minero para obtener un sulfato de cobre y a partir de este obtener cobre metálico.

Se identifico por microscopia los sulfuros presentes.

3.3.2 Variable dependiente: Recuperación de cobre.

Recuperación de cobre de minerales sulfurados de Pallanchacra Pasco.

Variable dependiente (Y), es el porcentaje de cobre recuperado en el proceso de biolixiviación, que estará en función a la masa, al tiempo de contacto bacteria mineral. Este rendimiento del proceso debe analizarse mediante un balance metalúrgico considerando la masa de ingreso y productos, previamente analizados en laboratorio químico con información cuantitativa.

En resumen, la operacionalidad está definido por conceptos de entendimiento de las normas y los procesos especializados, químicos cuantitativos de análisis, valorados con cálculos especializados, (software SPSS 21) determinados con índices específicos e instrumentos propios para procesos metalúrgicos (laboratorio metalúrgico, chancado y molienda) y químico (preparación de muestras). El objetivo alcanzado es de tener cobre lixiviado presente en la solución como sulfato de cobre y de allí precipitar el cobre metálico. variables para la realización de la experiencia son: ·

- Ley del mineral de cabeza
- Tamaño de grano del mineral sulfuros de cobre menos malla 200 serie Tyler.
- pH de la solución (2.0), ligeramente acida, predeterminada

• Variable dependiente (Y) = Contenido de cobre en porcentaje, después del tratamiento.

Indicadores: ·

• El porcentaje de recuperación. Color de la solución lixiviada azul de sulfato de cobre.

• Variable independiente (X) = Contenido de cobre en el mineral antes de la biolixiviación.

- Indicadores · pH, color negro verdoso a amarillo pálido.

3.4 Instrumentos

3.4.1 Instrumentos utilizados en la operación de laboratorio

Se tomó en cuenta la estrecha relación entre las características que tienen los minerales con estudios básicos que posibiliten su aptitud al procesamiento de biolixiviación.

Estos trabajos, se realizaron con protocolos por cada actividad, tomando en cuenta los procedimientos y sistemas de seguridad en el trabajo.

Se diseñaron sistema de muestreo mediante calicatas mallas y un listado de procedimientos de la fase de muestreo en el yacimiento, de acuerdo a la actividad se dio un código.

Se enviaron las muestras codificadas y enumeradas, de ingreso y salida de pruebas y ensayos metalúrgicos y de productos intermedios para su análisis en el laboratorio químico, de acuerdo a los protocolos mostrados en la tabla 2 y anexos.

Tabla 6

Protocolos de muestreo, códigos y tareas para el muestreo.

Código	Nombre de la tarea del investigador
PB-U-T01	**Muestreo de calicatas en el yacimiento**
PB-U-T02	**Muestreo de mineral ingresos y salidas.**
PB-U-T03	**Muestreo de reactivos**
PB-U-T04	**Muestreo de soluciones**

3.5 Procedimientos

Se realizaron mediante una priorización y relación de las actividades en función al tiempo, elaborando un diagrama de flujo de camino crítico cualitativo, los cuales se mencionan a continuación.

3.5.1 Análisis documental

Se revisaron información de fuente primaria, con procedimientos como: acopio, lectura, análisis y resumen bibliográfico.

3.5.2 En el yacimiento

Se visito la zona mineralizada ubicada en el distrito de Pallanchacra, luego se realizaron un plan de trabajo con protocolos, diseños de muestreo y otros La ejecución de la investigación se inició con toma de muestras de mineral ínsitu, perforando calicatas, de acuerdo al método de redes, luego se caracterizan los minerales de cobre de la superficie de estudio.

Se tomaron muestras de mano, de análisis físico y químico. luego la extracción del mineral de 500 kilos, se cuartearon mediante protocolos y técnicas de reducción de muestras, tomándose 5 sacos de 50 kilos cada uno y luego se envió al laboratorio para su liberación, mediante trituración del mineral, luego homogenizado de la mena.

3.5.3 En el laboratorio

Tabla 7

Equipos de laboratorio

Código	**Equipos**
CI-01	Kid de muestreo y cuarteo. (Lona de jebe , espátula, brocha, cuarteador jones, bandejas metálicas, balanza, baldes de plástico, bolsas de plástico y sobres manila.
CI-02	Chancadora de quijadas
CI-03	Chancadora de rodillos
CI-04	Molino de bolas
CI-04	Malla Tyler 200
CI-07	Lupa
CI-0	Balanza electrónica
CI-09	Potenciómetro pH
CI-10	Termómetro
CI-11	Cronometro

Tabla 8

Materiales de vidrio

Código	Materiales	Código	Materiales
I-01	Tubos de ensayo	I-10	Vasos de 500 ml
I-02	Erlenmeyer	I-11	Vasos 1 000 ml
I-03	Piceta	I-12	Matraz aforado 500 ml
I-04	Picnómetro	I-13	Varillas de vidrio cilíndrico
I-05	Probeta graduada 50 y 100 ml	I-14	Bureta
I-06	Lavador de frasco	I-15	Pipeta aforada
I-07	Embudo de vidrio 90 mm	I-16	Jeringas de 10 ml
I-08	Bagueta	I-17	Papel de tornasol
I-09	Probeta 100 ml	I-18	Papel filtro

3.5.4 Reactivos usados en el laboratorio

Tabla 9

Reactivos

Código	Reactivos
AI-01	Agua destilada
AI-02	Acido sulfurico

Los reactivos usados durante los experimentos fueron de grado y calidad analítica y acreditados por vendedores nacionales garantizados.

3.5.5 Técnicas analíticas

Para Hallar la velocidad de extracción del cobre, se pulverizo el mineral, se homogenizo y tamizo a – malla 200 serie Tyler. Se guardan en Total 5 bolsas de 1 Kg c/u. Se determina la ley de cabeza y se tomó 300 gr. luego se biolixibian y recolectamos los datos mediante pruebas y ensayos químicos y metalúrgicos.

Para calcular el consumo de ácido por el uso de bacterias en la biolixiviación

de los minerales de cobre se cogieron muestras de soluciones de acuerdo al protocolo mostrado en muestreo de soluciones.

En la biolixiviación las bacterias oxidan sulfuros y otros iones presentes en el mineral como el hierro, generando sulfatos solubles y ácido sulfúrico. lixivian sulfuros de cobre secundarios. Las bacterias para la descomposición de los sulfuros se identificaron como acidithiobacilus ferrooxidans. estos microorganismos necesitan para su supervivencia de ciertos nutrientes que están, formados por algunas sales inorgánicas de K, P, N, Mg, Ca, así como O_2, CO_2 y H_20. para sinterizar sus moléculas, utilizan la energía proveniente de la oxidación de compuestos químicos (quimiotrofas); y, además, como único fuente de carbono utilizan al CO_2 del aire (autótrofas)

Silverman y Lundgren en 1959, crearon el medio nutriente 9K, esta tiene la siguiente constitución;

Solución A: (Disolver a 700 centímetros cúbicos.)

$(NF_4)_2$ SO 4 3,00 g, K_2HPO_4 0,50 g, M_3SO_4. $7H_2O$ 0,50g, KCl 0,10g, $Ca(NC_3)_2$0,01g

Solución B: (Disolver a 300 centímetros cúbicos) con agua destilada. $FeSO_4$ $7H_20$ 0,01g Se mezclan ambas soluciones y adiciona H_2SO_4 hasta tener un pH = 2. 5

En la preparación del cultivo, la muestra de bacteria traída de agua de mina de carbón del distrito de Goyllar provincia Daniel Carrión, Pasco se utilizó para hacer un pre cultivo usando el medio 9k

Para hacer el cultivo se dispone en un Erlenmeyer de 200 cc, 100 cc de esta solución y se adiciona a ella 5 ml del agua de mina en evaluación. En forma equivalente se realiza una prueba en blanco, es decir sin la presencia de agua de mina.

Pasado la semana la solución tiene un color ámbar, se demuestra la presencia del hierro férrico oxidado y sulfatado por la bacteria. El Erlenmeyer testigo nos manifiesta

la variación de color.

Para las condiciones de operación, se identificó con muestras de mano a nivel macro la presencia de los siguientes minerales de cobre: calcopirita, Bornita, calcosina y covelita, observándose además con la lupa las características mineralógicas. El trabajo de la lupa es para una evaluación preliminar, pero es insuficiente la información, necesariamente se recurrió a microscopía.

Microscópicamente se verifico la presencia de los sulfuros mencionados, caracterizando su composición (cualitativa y cuantitativa), el tamaño, los ensambles, amarres y la predicción del comportamiento frente a acciones físicas y/o químicas, "Procesabilidad" del mineral.

Figura 12

Caracterizando los minerales sulfuros presentes



Caracterizar los minerales es identificar mineralógicamente la presencia de minerales primarios y secundarios, así como si existen óxidos, carbonatos, sulfuros y otros. Además, se debe identificar aspectos de la mineralogía de los minerales que ayuden al trabajo metalúrgico que son: el tamaño de grano presente, la composición porcentual del cubre y el grado de liberación. Estos son determinadas mediante técnicas

variadas, y características, del mineral: macroscópicamente y microscópicamente.

El tamaño de grano del mineral de Pallanchacra se molió a la malla menos 200 serie Tyler es decir a 74 micrones, y normalmente en los procesos un mineral puede beneficiarse entre 300 y 20 micrones. (μ). Las leyes de cobre total en el mineral se reportaron en 1,6 % de cobre en promedio.

Los análisis químicos en realidad son herramientas fundamentales y valiosas. Pero su correcta interpretación y utilización sólo son posibles si se cuenta con la información que da un estudio microscópico y mineralógico apropiado. Te cuantifica la presencia de cobre, pero no te indica si tienes presencia de óxidos o sulfuros, que te muestra la mineralogía.

Tabla 10

Promedio de Análisis químico del mineral

%Cu	%Fe	%As	%S	g/t Au	g/t Ag
1,62	36,79	1,19	44,41	3,84	7,42

La desviación estándar de la muestra de datos de cobre, fierro y azufre varían con los siguientes valores 0,18, 0,89 y 0,74 respectivamente.

Para efectuar las pruebas se procede del siguiente modo:

La muestra representativa de mineral, homogenizado con cuarteador Jones y cuarteado mediante sistema de conos, se llevó a conminucion en seco en chancadora de quijada y de rodillos limpios libres de contaminación, luego se pasó por molienda a 70% de sólidos, durante 10 minutos en húmedo.

La pulpa en condiciones húmedas, se pasó por un rot-ap para averiguar la distribución granulométrica.

Se prepara la tabla con los pasantes y rechazos y se reporta el análisis

granulométrico del mineral de cabeza.

Tabla 11

Análisis de malla de los sulfuros del mineral de cabeza.

Malla	**Micras**	**%Peso**	**Acum (+)**	**Acum(-)**
65	208	0.83	0.83	99.17
100	147	4.27	5.10	94.90
150	104	18.91	24.01	75.99
200	74	0.54	24.55	75.45
270	53	21.94	46.49	53.51
400	38	4.99	51.47	48.53
-400	--	48.51	100.00	-

Con la malla 200 se seleccionó tamaños de partícula de 100% a -200 mallas, en húmedo.Se seco la muestra a menos de 70 grados centígrados y elaboramos nuestro composito. Se efectúa: los ensayos químicos de cabeza en porcentaje (%), por cobre (Cu), hierro (Fe), azufre (S)., arsénico (As), además gramos por tonelada de oro (Au) y de plata (Ag).

Se calibro la balanza a cero, se tomó 300 g. de muestra de mineral, en un erlenmeyer de 250 ml y se adiciona 70 ml de una solución nutriente 9K . Se agito, chequeo el pH; si el valor de esté supera a 2,8 agregamos ácido sulfúrico para aumentar la acides y controlar a 2,5 y agitar nuevamente.

Figura 13

Control del pH

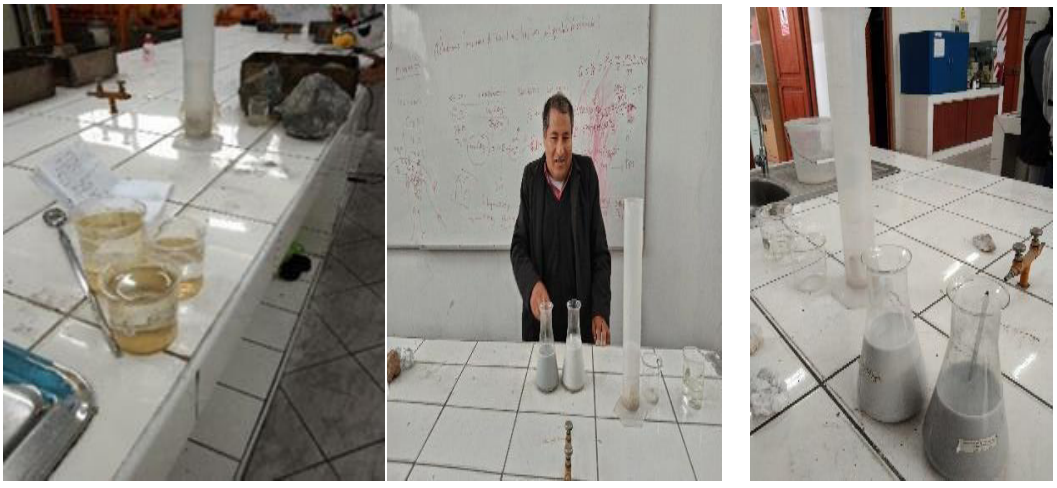


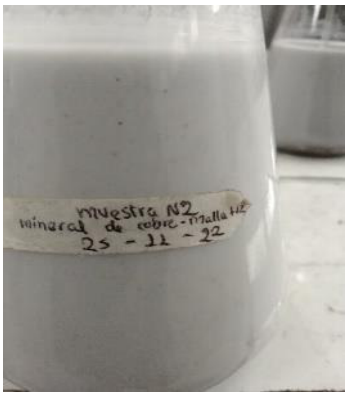
Reiteradas veces controlar el pH agregar más ácido si se necesita. Agitar y leer el pH, hasta obtener un pH constante y con un valor aproximado de 2,5. Se utiliza el ácido sulfúrico de 94,5% de pureza diluido a 10 g/l. Adicionar 45 ml de inóculo de dithiobacillus ferrooxidans.

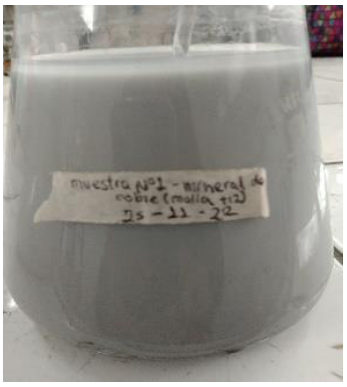
Todo el conjunto se pesa en una balanza electrónica y anotar y rotular sobre el erlenmeyer. Iniciándose así la lixiviación bacteriana.

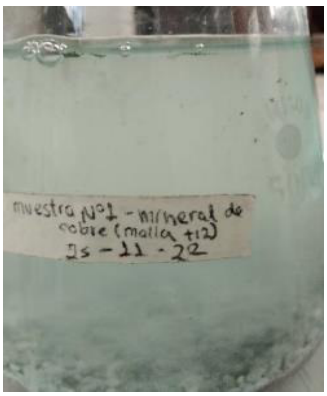
Figura 14

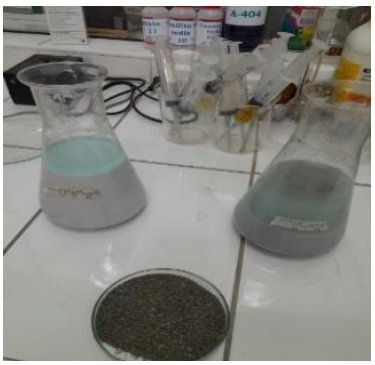
Proceso de lixiviación















El conjunto hemos agitado periódicamente y tomado muestras, Se pesa el conjunto antes de tomar la muestra, y se lleva al peso original, agregando agua destilada controlando el pH 2.0.

Al pasar el tiempo se va notando la presencia del sulfato de cobre característico.

Figura 15

Presencia del sulfato de cobre



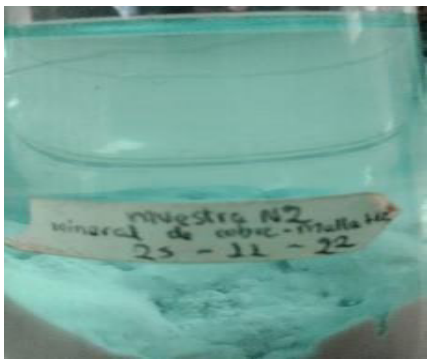
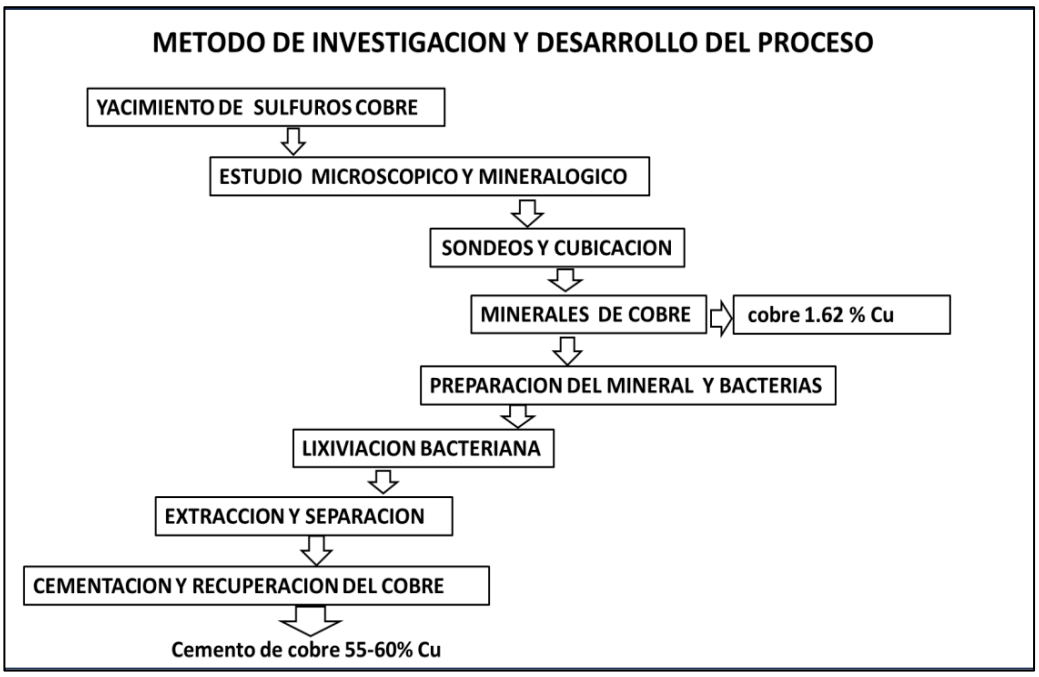


Figura 16

Actividades de la investigación



Se tomo muestras para análisis de iones de cobre y Hierro. Cu^{++}, Fe^{++}, Fe^{+++}, Se analizaron ocho muestras. Por duplicado intermedio y final. Las pruebas se realizaron a temperatura del ambiente de Cerro de Pasco, de 5 a 12 grados dentro de los ambientes de laboratorio, con control diario de pH.

La prueba termina cuando la velocidad de extracción de cobre, disminuyo notablemente, la coloración de la solución cosecha en el erlenmeyer ya no cambia, esta llego a 49 días.

3.6 Análisis de datos

Los análisis de muestras fueron desarrollados en el laboratorio de la facultad de ingeniería de Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión de Cerro de Pasco, área de metalurgia, tanto la identificación de minerales al microscopio preparación, análisis físicos y químicos. Para verificar el análisis químico se recurrió al laboratorio Minlab

de la ciudad de Lima.

La extracción de muestras de minerales del yacimiento minero y para las pruebas fueron ejecutados, cumpliendo recomendaciones y protocolos existentes.

Procedemos a preparar cada uno de las muestras con tamaño de grano (- #) = 200 y las cantidades señaladas de 300 gramos de masa.

Se reconoció la composición de muestra en valores de cobre, identificándose como ley de cabeza promedio 1,62 % de cobre, el pH de la solución (2.5), ligeramente acida, predeterminada y el tiempo de contacto en días.

Las recuperaciones se valoran con los resultados químicos de los reportes, estas se calculan en el gabinete realizando balances metalúrgicos prueba por prueba.

Con los datos obtenidos de las leyes de cobre se calculan contenidos metálicos tanto en la muestra de ingreso y productos, luego se calcula elporcentaje de recuperación de cobre (%R), con la siguiente relación matemática que identifica contenidos metálicos.

$$\% \text{ de R } = \frac{\text{B b } (100)}{\text{A a}}$$

Dónde:

B b = contenido metálico de cobre en la solución, que está presente como sulfato de cobre. (% de cobre.

A a = contenido metálico de cobre en el mineral de cabeza. (% de Cu)

- Este proceso se repite con cada uno de las pruebas, obteniéndose resultados que se dan en la tabla 9.
- Con estos resultados tomamos como valor ideal el promedio de 65.9% que tiene el porcentaje de recuperación de cobre, este puede variar de más menos 0,62% de

acuerdo a la desviación estándar.

- Luego, se grafica la curva de porcentaje de recuperación de cobre (%R) versus tiempo de lixiviación.

El trabajo estadístico se refirió comparar medias muestrales del contenido de cobre antes y después de la biolixiviación. Se utilizó el programa SPSS.

La estrategia de la prueba de hipótesis fue comparar los datos pretest con postest.

La contrastación de hipótesis se realizó con los resultados que normalmente las recuperaciones van incrementándose en función al tiempo, cuanto más tiempo mayor será el rendimiento, pero tiene un límite y los datos de recuperación serán cercanos al 100%, siendo este un ideal. Paralelamente se realizó en 4 frascos prueba en blanco, en ella no hay bacterias verificándose la ausencia de sulfato de cobre.

El sulfato de cobre se muestra con el tiempo que transcurre entre la convivencia de la bacteria en la solución acida con el mineral sulfurado de cobre y las recuperaciones se saben después del tratamiento por biolixiviación del mineral realizado en el laboratorio y los datos tratados estadísticamente.

IV. RESULTADOS

4.1 Características de las muestras

Seguidamente, explicamos las distintas características de las muestras sólidas usadas en el presente estudio, para luego lixiviar el mineral con bacterias dithiobacillus ferroxidans en medio acido,

4.1.1 Geoquímica

De acuerdo a la tabla 6, las muestras son del yacimiento minero Sidkenu II de Pallanchacra presentan leyes relativamente bajas de cobre, promediando 1,62% y puede variar entre 1,41 a 1,89%.

Tabla 12

Análisis químico del mineral de Pallanchacra, Pasco.

MINERAL DE CABEZA (MC)	**%Cu**	**%Fe**	**% S**
MC-1	1,69	36,42	44,17
MC-2	1,41	35,12	44,14
MC-3	1,89	37,63	44,43
MC-4	1,51	36,64	45,61
MC-5	1,60	38,14	43,70
MC-6	1,43	37,00	44,56
MC-7	1,55	36,64	45,25
MC-8	1,88	36,73	43,40
Promedio	1,62	36,79	44,41

La desviación estándar de la población de datos de cobre, fierro y azufre varían con los siguientes datos. 0,17, 0,83 y 0,69.

La desviación estándar de la muestra de datos de cobre, fierro y azufre varían con los siguientes valores 0,18, 0,89 y 0,74 respectivamente.

El contenido de hierro que debemos eliminar promedia 36,79% , variando entre 35,12 % a 38,14%.

También, la muestra de Sidkenu II, presenta una ley de azufre en el mineral de cobre considerablemente más alta, el contenido de azufre en promedio reporta 44,41%, variando su composición en el mineral entre 43,70% y 45,61%. Siendo este considerado el contaminante principal.

Las muestras pertenecen a un mismo depósito, pero existen desviaciones en las leyes, para el cobre, hierro y azufre. (0,17, 0,83 y 0,69 respectivamente). Las concentraciones de los elementos contaminantes de cobre, el hierro y el azufre es explicado por la mineralogía y génesis del depósito mineralizado, fig. 4, de ello depende el rendimiento del proceso que se traduce en la recuperación del cobre. A mayor profundidad disminuirán las leyes, los óxidos y los carbonatos disminuirán y encontraremos mayor cantidad de sulfuros.

4.1.2 Mineralogía

De acuerdo a las figs. 5 y 6, para el caso de la mineralogía, se han identificado los siguientes minerales, la cuprita, malaquita, covelita, calcosina bornita y calcopirita.

Se tiene variabilidad mineralógica también dentro del depósito mineralizado, se identificó como ganga el cuarzo, pirita y trazas de magnetita. Este mineral tiene contenido de plata y como tal probablemente tenga contenido de arsénico el cual no se estudió, solo se analizó el principal metal cobre contenido en el mineral presente

los sulfuros de cobre.

4.1.3 Tamaño de partícula

El tamaño de partícula del mineral, que son las muestras de investigación se seleccionó luego de un proceso de molienda en un molino de bolas, típico de mineral de cobre (liberación del mineral con carga molturante), seleccionándose partículas pasantes a la malla Tyler 200, es decir por debajo de los 74μ. Condicionado para lixiviarlo en medio acido con bacterias dithiobacillus ferroxidans. No se debe moler más fino porque se generarían lamas dificultando la lixiviación.

Se toma en cuenta que en suspensiones acuosas o en un sistema acuoso de partículas sólidas, los iones a ser oxidados son suministrados por la superficie del mineral.

4.2 Caracterización tecnológica

Se deja atrás la tecnología convencional para dar paso a nuevas tecnologías que no contaminen el medio ambiente. La tecnología aplicada se considera tecnología limpia dentro del desarrollo sostenible.

4.2.1 Proceso de biolixiviación

En un reactor estacionario, la concentración del ácido sulfúrico, se mantuvo constante al 10% controlado a un pH, al inicio de la investigación de 2.5 con agitación esporádica, intermitente, 2 veces cada 12 horas, la temperatura se registró, solo al inicio, luego no se controló consideramos el del medio ambiente.

El proceso de lixiviación bacteriana se desarrolló en estado acuoso, ácido sulfúrico, mineral más la bacteria. El mineral tiene un tamaño de partícula de un máximo de 72 μ, y la bacteria dithiobacillus ferroxidans de forma bacilar tiene de 1 a 2 micrones de longitud y de 0,5 a 1 micrón de diámetro, bajo estas condiciones se sulfatizo el metal cobre.

La oxidación biológica de los sulfuros y del ion ferroso, verifica movimientos de iones hidrogeno, así como de los electrones. por tanto, el pH es un mecanismo importante de control y tiene un efecto definido sobre el metabolismo de las bacterias.

Todos los días se controló el pH, manteniéndola a 2,5 y después de 20 días de lixiviación se reportó que el pH disminuía y se tenía que agregar agua destilada, este cambio nos indica que este proceso genera acido.

4.2.2 Recuperaciones

Todas estas pruebas se llevaron a cabo en las mismas condiciones.

Tabla 13

Porcentaje de recuperación

Ensayo	% R
1	66,1
2	66,2
3	65,8
4	66,2
5	66,4
6	66,1
7	64,3
8	66,1
Media	65,9

Los datos de la desviación estándar de la población de recuperación de cobre es 0,62 La desviación estándar de la muestra de datos de recuperación de cobre es 0,66

Conforme va avanzando el proceso de lixiviación estas recuperaciones se van incrementando, van al alza, debido al trabajo de las bacterias, este se visualiza al cambiar el color de la solución y aparición incipiente de sulfato de cobre que intensifica su presencia en la solución.

Debe anotarse también que hay presencia de sulfato férrico que se manifiesta de color blanco grisáceo a café y denso, se observa cuando se remueve la solución se nota claramente, ver Figura 15.

Se realizaron los análisis químicos tanto del mineral de cabeza que ingresa al reactor, así como analizar químicamente la parte del mineral que no se ha lixiviado que queda como relave y el contenido de cobre presente en la solución.

Con estos dos productos, concentrado y relave, se realiza un balance metalúrgico, para el cual debe anotarse los contenidos metálicos tanto en el mineral de cabeza en la solución y en el relave.

El contenido metálico promedio en el mineral de cabeza reporto 4,86 gramos de cobre, es decir en 300 gramos de mineral con 1,62% de cobre están presentes 4,86 gramos de cobre. El producto promedio reporta 62% de cobre con 5,16 gramos, luego el contenido metálico es 3,20 gramos de cobre, luego se hace uso de la fórmula de recuperación o eficiencia del proceso encontramos una recuperación promedio de 65,9% que se alcanzó en 49 días de lixiviación.

El máximo de recuperación de cobre reportado durante los 49 días de lixiviación es de 66.2%, y el mínimo 64,3% manifestando este rango la eficiencia de

la lixiviación.

Figura 17

Eficiencia de la lixiviación bacteriana mineral de Pallanchacra.

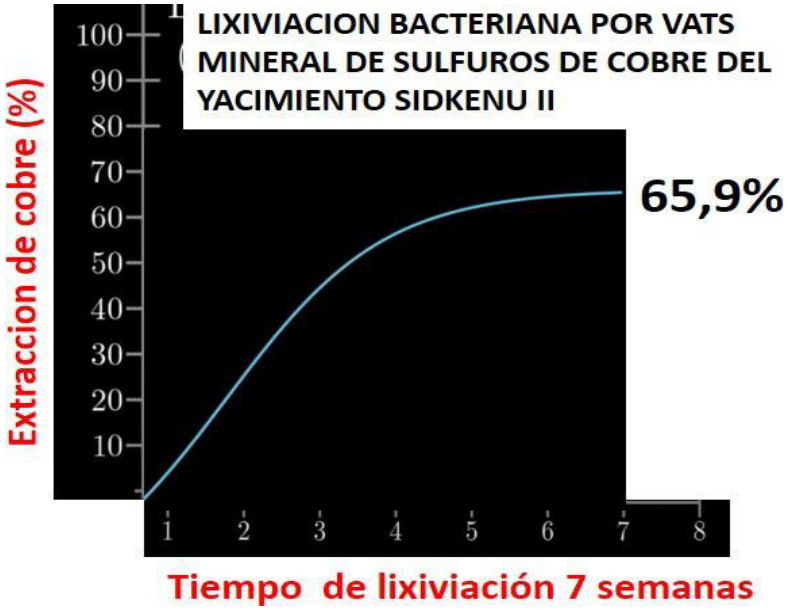
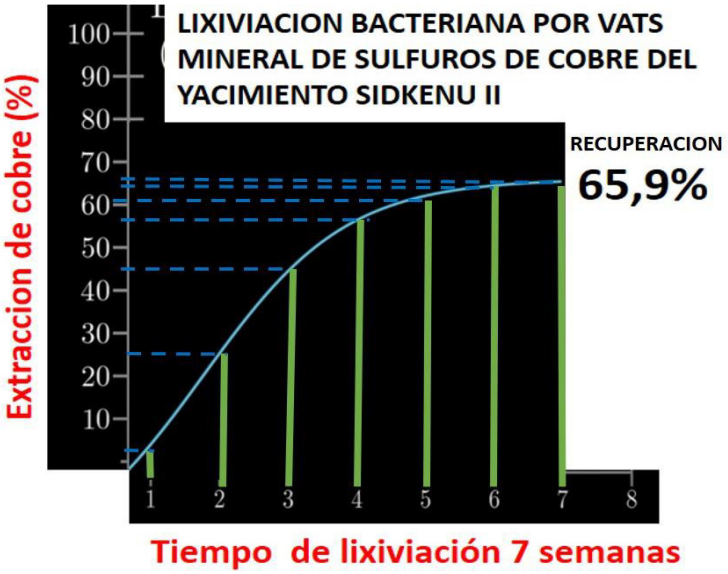


Figura 18

Evolución de la lixiviación bacteriana mineral de Pallanchacra.



V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los reportes de leyes tomados en el mismo yacimiento varían. El análisis químico del cobre total del mineral de cabeza reporto 1,62 % de cobre como sulfuros, con este mineral se llevó a cabo las pruebas de lixiviación bacteriana. Se identifica notoriamente en mayor proporción cobres secundarios con presencia de óxidos y sulfuros, además de cobre primario. Se identifica pirita siendo este el portador de hierro en mayor proporción y sílice cuarzosa que ambos pasan a formar parte de la ganga, sin valor comercial.

Se explica porque el yacimiento se encuentra en exploración, casi sin explotar, porque se retiró poca cantidad de mineral y como estamos en las partes altas y superficiales se nota estos óxidos y sulfuros secundarios tanto macroscópicamente como microscópicamente.

Es razonable trabajar con esta ley de 1.62 % de cobre en cabeza. En su trabajo Mendoza et al. (2024) manifiestan que se debe considerar la disponibilidad y agotamiento de recursos, además las reservas de cobre están disminuyendo, lo que lleva a la exploración de yacimientos de menor ley y a mayores costos de extracción Además algunas empresas trabajan con leyes inferiores, Dueñas (2019); la Cía. Minera la Candelaria S.A. ley de 0,7% de cobre. Zúñiga. P Arévalo A. (1918); manifiestan que CODELCO, Chile, Mina El teniente, reporta 0,73; 0,96; 1,11; y 1,67% de Cobre. Además, 6,47; 6,52; 4,29; y 3,98% de hierro. Nuestro mineral reporta 6,79 % de Fe. La Sociedad Minera Cerro Verde trabaja con ley de 0.328% Cu. La calidad de cátodos producidos es de grado “A”. Vende cátodo con 99.99% de cobre, el volumen de producción es elevado.

La recuperación obtenida, fue 65,9 % es relativamente baja tomando en cuenta

que los procesos de biolixiviación son más eficientes como en biopilas se obtienen rendimientos de extracción del 94% de cobre en 90 días, en calcopirita con bacterias a 70 °C Rodríguez, Y. Blázquez, L. González, F. (2001). Dueñas (2019) Cía. Minera la Candelaria S.A manifiestan que obtienen un rendimiento de 70%.

Este bajo rendimiento se debe a factores, entre otros; tipo de mineral, presencia de minerales secundarios mixtos, al clima de Pasco porque se sabe que el *dithiobacillus ferrooxidans* se desarrolla de 25 - 35ºC, siendo su fuente energética el hierro +2 y el azufre, muy a pesar que controlamos el pH a 2,5, a partir de los 20 días la acides disminuía indicándonos que la biolixiviación del cobre generaba ácido y se llevó control hasta los 49 días.

También la baja recuperación se puede explicar con la presencia de mayores cantidades de calcopirita pues este teóricamente es medianamente difícil de oxidar y sulfatizar bajo la influencia de la bacteria, tiene un tiempo más prolongado, aunque los otros sulfuros secundarios presentes son relativamente más dóciles para la lixiviación bacteriana, Manuel, D., (2016), a partir de calcopirita trabajando con partículas de 9,5 mm que contenía 0,739% de cobre, recuperó el 86,07% por biolixiviación en columnas, por gravedad; el cual fue superior al obtenido al cobre recuperado por lixiviación química con 53,9% de cobre después de 24 días.

En realidad, en suspensiones y soluciones acuosas de partículas sólidas de minerales, los iones a ser oxidados y sulfatizados son desarrolladas en la superficie del mineral, entonces la concentración de estos iones está controlada por muchos fenómenos que deben analizarse para mejorar la recuperación estos son, el tamaño de partícula del mineral, área superficial, la tensión superficial, el producto de solubilidad, el potencial redox, las reacciones de hidrolisis y la presencia de electrolitos inertes,

Así, un mayor entendimiento de estos fenómenos y la interacción entre ellos y los microorganismos es necesario para lograr una ventaja máxima de la conversión metabólica de los sulfuros metálicos (Misari, 2016).

Se debe valorar positivamente como tecnología limpia y ofrece ventajas en relación a las teorías tradicionales, porque las tecnologías convencionales y tradicionales del cobre traen impacto ambiental significativo, contaminan el agua, aire y suelo, contribuyendo a la reducción de gases de efecto invernadero.

Se debe destacar que esta tecnología demanda para su producción más tiempo que las tradicionales, para lograr los mismos resultados, pero es menos contaminante por lo que los costos en términos ambientales se reducen lo que estaría contribuyendo a la sostenibilidad ambiental del planeta.

Al inicio del proceso durante el ajuste de pH consume ácido sulfúrico, este fue restituido, avanzada la lixiviación produjo considerable cantidad de ácido, este se manifiesta al controlar el pH, entonces beneficia económicamente al proceso productivo disminuyendo costos de operación.

VI. CONCLUSIONES

6.1. En el yacimiento Sidkenu II, de Pallanchacra, se evidencia óxidos superficiales y sulfuros secundarios de cobre identificándose los minerales, covelita, calcosina, y bornita, además calcopirita que es un sulfuro primario como resultado de la aplicación de la geobiometalurgia a los minerales sulfurados de cobre secundarios de Sidkenu II, Pallanchacra Pasco, cuyo mineral de cabeza reporta 1,62% de cobre, 6,79 % de hierro y 4,41% de azufre.

6.2. Se alcanzo una recuperación de 65,9%. Esto es relativamente bajo tomando en cuenta que los procesos de lixiviación son más eficientes, puede deberse a múltiples variables, entre ellos ; el tipo de mineral, tamaño de grano, presencia de minerales mixtos, impurezas perjudiciales y también al clima de Pasco porque se sabe que el *dithiobacillus ferrooxidans* se desarrolla de 25 – 35 ºC, no hemos llevado el control permanente de la temperatura, Esta recuperación manifiesta un desafío y una posibilidad de beneficio del mineral a bajo costo con tecnología limpia para el desarrollo sostenible.

6.3. Se analizo el ciclo de lixiviación experimental que duro 49 días en vats, con tamaño de mineral a malla - # 200 y durante este proceso, la lixiviación bacteriana ha generado ácido, reportando en promedio 1,3 gramos de ácido sulfúrico por kilo de mineral. Los minerales lixiviados reportaron de 0,29 a 0,42% de cobre.

VII. RECOMENDACIONES

7.1. Se debe continuar la investigación de este mineral, ampliar investigaciones microscópicas, estudiar la presencia de elementos contaminantes, analizar qué porcentaje del mineral de cobre se presenta como sulfuros, como óxidos y mixtos.

7.2. Se recomienda su aplicación industrial, a pesar de la recuperación baja obtenida. Este tratamiento de minerales de cobre por lixiviación acido bacteriana representa una operación rentable en las actuales operaciones mineras, con fuerte demanda mundial de cobre para el desarrollo sostenible del distrito de Pallanchacra, región Pasco, son investigaciones para el uso de tecnologías limpias que involucran gastos de inversión bajos comparados con los métodos convencionales, además de costos mínimos de producción, tenemos esta tecnologías disponible y la ingeniería para desarrollar proyectos de esta naturaleza, como realizar pruebas en sistemas continuos usando fermentadores, percoladores y mini columnas para aumentar la recuperación, evaluar parámetros y ver la posibilidad de instalar una planta piloto.

7.3. Se recomienda evaluar y cuantificar el parámetro de generación de ácido sulfúrico, este dato nos ayudara a economizar el proceso productivo.

VIII. REFERENCIAS

Acevedo, B. (2010). Aplicación de la ingeniería bioquímica a la lixiviación de sulfuros" *Seminario Internacional sobre procesos Especiales de la Metalurgia Extractiva del Cobre. Trujillo-Perú.* (23-25 de noviembre).

Arenas, F. (2019). *Lixiviación por agitación, en óxidos de cobre.* Editorial AZG editors.

Astucuri, V. (2018). *Introducción a minería y desarrollo sostenible.* Editorial Universidad de Lima. https://biblioteca.gerens.edu.pe/bib/1663

Austin, G. (2018). *Manual de Procesos Químicos en la Industria.* McGraw-Hill.

Boynton, R. (2018). *Chemistry and Technology of Lime and Limestone.* Editorial John Wiley & Sons Inc.

Castillo P. (20110). Resultados obtenidos en la investigación y experimentación de la planta piloto de biolixiviación sobre un mineral especifico.. Chile. *Minerales, 320*, 1-12

Cochilco (2024). Perú segundo mayor productor de cobre en 2025. Rumbo minero 12. https://www.rumbominero.com/peru/cochilco-peru-segundo-mayor-productor-de-cobre- en-2025/

Córdova, A. & Menacho, J. (2019). Presencia de Agentes Emulsificantes Sólidos en la Operación de Intercambio Iónico. *II Seminario Fisicoquímico de Superficies y Flotación, Chile.*

Corporación minera de Bolivia, Oruro (mayo 1980), Proyecto de pre factibilidad "Planta hidrometalurgia de cobre Corocoro" https://www.google.com/search?sca_esv=9594ada01a48a169&q=Corporaci%C3%B3n+ inera+de+Bolivia,+Oruro,+,(mayo+1980),+Proyecto+de+pre+factibilidad+Planta+hidrometalurgia+de+cobre+Corocoro&sa=X&ved=2ahUKEwienaXI7uyPAxV9lJUCHYMqFcMQgwN6BAgOEAE&biw=1536&bih=730&dpr=1.25

Cred, R (2018), Crecimiento Bacterial y su Dependencia con Respecto a Parámetros que Interfieren en el Ciclo Vital de las Bacterias. Mexico, *Mineria* 17-20.

Cruzado, A. (2018). *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 de grado, Universidad Privada del Norte]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPN_d6a1ce38993fba2712a57a778b46b1 4a/Details

Dana, E. (junio 2022) *Manual de mineralogía Dana.* (2da ed.). Editorial Reverte

Dominic, M. (2019). *Hidrometalurgia.* (3ra ed.). Editorial Instituto de Ingenieros de Minas de Chile.

Dueñas, V. (2019). *Biolixiviación de los minerales sulfurados de la Cía.* Minera la Candelaria S.A. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSA_0973fdd73f84b89033c373e7eedee2e7

Estrada, J. (2019). *Evaluación de la lixiviación bacteriana de minerales mixtos de la mina Utcush para la recuperación de cobre – Huánuco – 2018.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1493

Figueroa, M., (2017) Obtención de cepas nativas para mejorar el proceso de biolixiviación en chile. Universidad del Bío Bío. http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/3588

Gonzales, F. & Pizarro, C. (Julio 2019). *Lixiviación Bacterial", Mina vieja de Potrerillos.* Informe interno CIMM.

Herrera, A., Fernández, J. & Corimaya, A. (2013) Aplicación de la tecnología de lixiviación bacteriana en minero Lima Perú.

Herrera, M. & Rodríguez, J. (2020). *Lixiviación Bacteriana.* http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/4646/FB-M-2018 0939.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Manrique, H. & Sanborn, C. (2021). *La minería en el Perú.* Editorial Universidad del Pacifico. https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/LIB-329.pdf

Manuel, D. (2016). *Biolixiviación de cobre por bacterias ferrooxidantes a partir de calcopirita en un sistema de columnas de lixiviación por gravedad.* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSA_355c75ce2fa6cb95b15816e69298e1 5b/Details

Mendoza, J., Buitrago, D., Navas, W. & Suriaga, M., (2024). *El agotamiento de los recursos naturales y su efecto en el medio ambiente.* https://www.google.com/search?q=Northey%2C+et+al+(2013)+manifiestan+que+se+deb e+considerar+la+disponibilidad+y+agotamiento+de+recursos&oq =Northey%2C+et+al+(2013)+manifie

Meza, J. (2016). *Biolixiviación fúngica de minerales sulfurados refractarios de oro, plata y cobre.* Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx

Misari, F. (2016). *Tecnología de la lixiviación bacteriana de minerales.* Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería Osinergmin. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publica cione Biolixiviacion.pdf

Porcel, C. (2019). *Biología.* Editorial San Marcos.

Pozo, A.J.S., Puente, I., Laguela, S. & Veiga, Ma. (2020). Tratamiento microbiano de aguas ácidas resultantes de la actividad minera: una revisión. *Tecnología y Ciencias del Agua, 8*(3), 75-91. http://dx.doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-05

Reporte interno de Centromin Perú al PADT-cobre, (1986) comunicación privada, Producción de sulfato de cobre a nivel de laboratorio. La Oroya Perú. 3-7.

Reporte interno de Centromin Perú al PADT-cobre, (1987), Lixiviación bacteriana, comunicación privada, Producción de sulfato de cobre con soluciones de lixiviación de la Planta de Toromocho. (6-9)

Rodríguez, Y., Blázquez, L. & González, F. (2001). La biolixiviación al comienzo del siglo XXI. *Revista de Metalurgia 37*(5), 616 – 627. https://doi.org/10.3989/revmetalm.2001.v 37.i5.528

Severo P. (2008) *Ingeniería de Procesos.* CONCYTEC Editorial Reynoso EIRL.

Severo P. (2017). *Proceso Severo.* CONCYTEC Editorial Reynoso EIRL.

Simpson J. (2014). *Lixiviación bacteriana.* https://www.metalurgia.usach.cl/sites/metalurgia/files/documentos/lixiviacion_bacteriana.pdf

Sotillo, C. (2010). *Lixiviación Bacteriana.* INCITEMI.

Torma, A. E. & Walden, C. (2012). Biotecnología.

Uceda, D. (2016). *Hidrometalurgia química e ingeniería.* Editorial Aleph Impresiones S.R.L. https://es.scribd.com/document/543975870/Hidrometalurgia-Quima-e-Ingenieria.

Vidalón, G. (2015). *Minería, en la estrategia del desarrollo del Perú.* Editorial Computextos S.A.C.

Yin, S., Wang, L., Kabwe, E., Chen, X. & Yan, R. (2020). Copper Bioleaching in China: Review and Prospect. *Minerals, 8*(2). http://dx.doi.org/10.3390/min8020032

Zepeda, V. (2018). *Biolixiviación de minerales sulfurados de cobre de baja ley.* Universidad Complutense de Madrid. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=151169

Zúñiga, P. & Arévalo, A. (1918) *Análisis insitu de mineral quebrado mediciones físicas y químicas.* CODELCO Chile, División el teniente Chile.

IX. ANEXOS

Anexo A

Protocolo de muestreo de calicatas.

E AIRE Manual de Operaciones	MUESTREO DE CALICATAS		COD:	PB– U – T01
			Página	1 de 1
	ICI :	PROCESOS	Manual	VOL 1 : Laboratorio Químico Metalúrgico
	Dpto / Sección :	Laboratorio Químico Metalúrgico		

INTRODUCCION:	Permite obtener muestras para caracterizar el mineral antes o después del ciclo de lixiviación.
MATERIALES Y EQUIPOS REQUERIDOS:	Mineral, Balde, picos, lampas plana y tipo cuchara, bolsas de polietileno, soga de más de 5 metros.
SEGURIDAD Y EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL:	
PERSONA EJECUTANTE:	Técnico y colaboradores, investigadores del Laboratorio Metalúrgico UNDAC

ETAPAS DEL TRABAJO		RIESGOS POTENCIALES		
		Personales	Materiales	Medioambientales
	¿Qué es lo que voy a hacer y por que? ¿Qué cosa podría ir mal? ¿Qué puedo hacer al respecto?			
1 Planificar el muestreo	Definir el punto de muestreo y niveles de donde se debe extraer la muestra. El número y profundidad de las calicatas. Coordinar con el personal de investigaciones. Definir el personal que realizará el muestreo como mínimo deben ser 4 personas.			
2 Muestrear	Recolectar la muestra con la ayuda de la lampa a los baldes buscando su representatividad y depositarlos en las bolsas.	Ingreso de particulas a los ojos. Efectos por realizar sobre esfuerzo	Desperfecto en la pala y el balde	
3 Etiquetar la muestra	Con tinta indeleble. Especificar el punto de muestreo, nivel, hoyo, fecha y hora.			
4 Transportar la muestra al laboratorio	Evitando contaminar la muestra manteniendo su representatividad (derrames)	Ingreso de particulas a los ojos Efectos por sobre esfuerzo.		Derrames de mineral
5 Tratar la muestra	Análisis químico de muestra Determinar su humedad. Lavar si corresponde para retirarle el ácido, mínimo 4 veces.	Inhalación de gases, quemaduras		Formación de gases
6 Orden y Limpieza	Retirar todos los materiales llevados a campo, darles su mantenimiento y guardarlos donde corresponde	Ingreso de particulas de mineral a los ojos		

Distribuido a:					Revisión No:	
Elaborado por: Fecha: Firma:		Revisado por: Fecha: Firma:		Aprobado por: Fecha: Firma:		

Anexo B

Protocolo de muestreo de mineral

E AIRE Manual de Operaciones	MUESTREO DE MINERAL		COD:	PB-U-T02
			Página	1 de 1
	Investigacion :	PROCESOS	Manual	VOL I: Laboratorio Químico Metalúrgico
	Depto / Sección :	Laboratorio Químico Metalúrgico		

INTRODUCCIÓN:	Permite recolectar mineral chancado diariamente en forma representativa para caracterizarlo.
MATERIALES Y EQUIPOS REQUERIDOS:	Mineral, balde, cilindro y pala.
SEGURIDAD Y EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL:	
PERSONA EJECUTANTE:	Trabajador del Laboratorio Metalúrgico.

ETAPAS DEL TRABAJO		RIESGOS POTENCIALES		
		Personales	Materiales	Medioambientales
	¿Qué es lo que voy a hacer y por que? ¿Qué cosa podría ir mal? ¿Qué puedo hacer al respecto?			
1 Tomar la muestra	Coordinar con investigadores, muestrear in citu 500Kg, bajar a 100 Kg conear, cuartear preparar en laboratorio - # 200 , cuartear homogenizar 10Kg separado 1Kg C/U. Lixiviar .recolectar solución vasija hasta sus ¼ partes . Agitar pulpa y Muestrear solución en la : Guardia A: entre las 11-12 hrs y entre las 17-18 hrs.	Ingreso de partículas de mineral a los ojos. Efectos por realizar algún mal esfuerzo	Desperfecto de la pala y del balde	Derrames de mineral
2 Etiquetar la muestra	Para evitar confusión de muestras y garantizar el trabajo.			
3 Transportar la muestra al laboratorio	Si corresponde Evitando derrames y contaminación de la muestra.	Ingreso de partículas de mineral a los ojos Efectos por realizar algún mal esfuerzo		Derrames de mineral
4 Orden y Limpieza	Disponer los equipos utilizados en su lugar. Limpieza en caso hubo derrames.	Ingreso de partículas de mineral a los ojos.		Formación de polvos

Distribuido a:					Revisión No:	
Elaborado por: Fecha: Firma:		Revisado por: Fecha: Firma:		Aprobado por: Fecha: Firma:		

Anexo C

Protocolo de muestreo de reactivos

E AIRE Manual de Operaciones	MUESTREO DE REACTIVOS		COD:	PB-U-T03
			Página	1 de 2
	Investigacion :	PROCESOS	Manual	VOL I: Laboratorio Químico Metalúrgico
	Dpto./ Sección :	Laboratorio Químico Metalúrgico		

INTRODUCCIÓN:	Permite obtener muestra de los reactivos para verificar su calidad.
MATERIALES Y EQUIPOS REQUERIDOS:	Reactivo, Muestreador. Depósito para la muestra recolectada.
SEGURIDAD Y EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL:	
PERSONA EJECUTANTE:	Trabajador del Laboratorio Metalúrgico

ETAPAS DEL TRABAJO		RIESGOS POTENCIALES		
		Personales	Materiales	Medioambientales
	¿Qué es lo que voy a hacer y por que? ¿Qué cosa podría ir mal? ¿Qué puedo hacer al respecto?			
1 Planificar el muestreo	Identificar frascos, bolsas y sobres de donde se obtendrá la muestra Se puede definir por la técnica sistemática que es de cada cierto número elegir uno o al azar, que seria sacar la muestra de cualquiera. Definir la cantidad de muestra a tomar.			
2 Muestrear	Recolectar la cantidad de muestra especificada utilizando el muestreador adecuado y depositarlo en el envase previamente definido.	Ingreso de partículas de reactivo a los ojos.	Desperfecto del muestreador	Derrames de reactivo.
3 Etiquetar la muestra	Identificar la muestra con un marcador indeleble, poniendo los datos más característicos.			
4 Transportar la muestra al laboratorio	Evitando su contaminación y derrames			Derrames de reactivo
5 Orden y Limpieza	Devolver a sus lugares respectivos los equipos utilizados luego de darle su limpieza adecuada.	Ingreso de partículas de reactivo a los ojos		

Anexo D

Protocolo de muestreo de reactivos

E AIRE Manual de Operaciones	MUESTREO DE REACTIVOS		COD:	PB-U-T03
			Página	2 de 2
	Investigacion :	PROCESOS	Manual	VOL I: Laboratorio Químico Metalúrgico
	Dpto / Sección :	Laboratorio Químico Metalúrgico		

ETAPAS DEL TRABAJO	RIESGOS POTENCIALES		
	Personales	Materiales	Medioambientales



Figura 1: Tomando la muestra de reactivo

Distribuido a:					Revisión No:	
Elaborado por: Fecha: Firma:		Revisado por: Fecha: Firma:		Aprobado por: Fecha: Firma:		

Anexo E

Protocolo de muestreo de soluciones

E AIRE Manual de Operaciones	MUESTREO DE SOLUCIONES		COD:	PB-U-T04
			Página	1 de 2
	Investigación :	PROCESOS	Manual	VOL I: Laboratorio Químico Metalúrgico
	Dpto / Sección :	Laboratorio Químico Metalúrgico		

INTRODUCCIÓN:	Permite recopilar muestras de soluciones de los flujos previamente determinados desde los puntos más adecuados para evaluar la eficiencia del proceso.
MATERIALES Y EQUIPOS REQUERIDOS:	Solución, Muestreador, Depósito para la muestra
SEGURIDAD Y EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL:	
PERSONA EJECUTANTE:	Investigador del Laboratorio Metalúrgico.

ETAPAS DEL TRABAJO		RIESGOS POTENCIALES		
		Personales	Materiales	Medioambientales
	¿Qué es lo que voy a hacer y por que? ¿Qué cosa podría ir mal? ¿Qué puedo hacer al respecto?			
1 Cortar la muestra	Coordinar con equipo investigador. Enjuagar la vasija a muestrear 2 á 3 veces. Cortar la muestra las veces que sean necesarias hasta obtener la cantidad de muestra especificada. Usar utensilios y jeringas limpias.	Salpicaduras de solución	Pérdida de muestreadores por corriente del flujo	Derrames de soluciones
2 Verter al envase recolector	Enjuagar 2 ó 3 veces el envase con la solución a muestrear. Evitar derrames	Salpicaduras de solución		Derrames de soluciones
3 Etiquetar la muestra	Para evitar confusión de muestras y garantizar el trabajo.			
4 Transportar la muestra al laboratorio	Evitando derrames y contaminación por contacto o exposición	Salpicaduras de solución		Derrames de soluciones
5 Orden y Limpieza	Disponer los equipos utilizados en su lugar. Limpieza en caso hubo derrames.			

Anexo F

Protocolo de muestreo de soluciones

E AIRE Manual de Operaciones	MUESTREO DE SOLUCIONES		COD:	PB-U-T04
			Página	2 de 2
	Investigación :	PROCESOS	Manual	VOL I: Laboratorio Químico Metalúrgico
	Dpto / Sección :	Laboratorio Químico Metalúrgico		

ETAPAS DEL TRABAJO	RIESGOS POTENCIALES		
	Personales	Materiales	Medioambientales



Figura 1 Recolectando la muestra en la planta

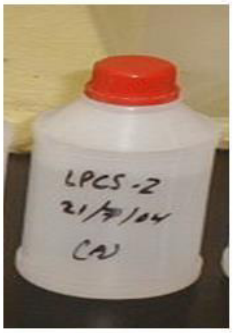


Figura 2: Muestra debidamente etiquetada

Distribuido a:					Revisión No:	
Elaborado por: Fecha: Firma:		Revisado por: Fecha: Firma:		Aprobado por: Fecha: Firma:		

Anexo G. Evidencias del trabajo desarrollado

1. Datos y ubicación de la concesión

RESUMEN DEL DERECHO MINERO

Datos Generales

Código	**010094607**	Nombre	**SIDKENU II**
Fecha de Formulación	**19/01/2007**	Situación	**VIGENTE**
Procedimiento	**TITULADO(CONCESION)**	Tipo	**PETITORIO (D.LEG. 708)**
Has. Formuladas	**200.00**	Sustancia	**METALICA**
Ubicación	**ARCHIVO CENTRAL desde el 09/10/2022**		

Titular Referencial

Tipo	*Nombre de Razón Social*	*Dirección*	*% Participación*
NATURAL	RICK BRAYAN SANCHEZ HUANE	null / null / null	100

Vigencia

AÑO	*CALIFICACIÓN*	*HECTÁREAS*	*DEUDA*	*DEPÓSITO*	*SALDO*
2022	PMA	200.0000	US$ 100.00	US$ 100.00	US$ 0.00
2021		200.0000	US$ 600.00	US$ 100.00	US$ - 500.00
2020		200.0000	US$ 600.00	US$ 100.00	US$ - 500.00
2019	PMA	200.0000	US$ 100.00	US$ 100.00	US$ 0.00
2018	PMA	200.0000	US$ 100.00	US$ 100.00	US$ 0.00

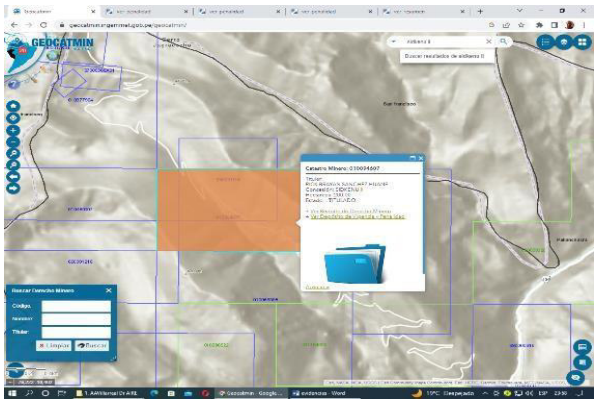
AÑO	*BANCO*	*BOLETA*	*FECHA PAGO*	*MONEDA*	*PAGADO*
2022	SCOTIABANK	3580500700086	28/06/2022	US $	100.00
2021	SCOTIABANK	4210500700007	30/06/2021	US $	100.00
2020	SCOTIABANK	4210500700006	30/06/2021	US $	100.00
2019	SCOTIABANK	0110500700045	22/09/2020	US $	100.00
2018	SCOTIABANK	0110500700094	27/06/2018	US $	100.00

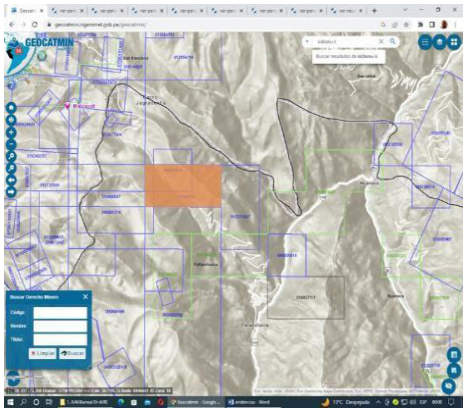
Penalidad

AÑO	*CALIFICA*	*HECTÁREAS*	*DEUDA*	*DEPÓSITO*	*SALDO*
2022		200.0000	S/ 17,600.00 (*)	S/ 17,600.00	
2021		200.0000	S/ 17,200.00 (*)		S/ - 17,200.00
2020		200.0000	S/ 16,800.00 (*)	S/ 16,800.00	
2019	PMA	200.0000	S/ 830.00 (*)	S/ 830.00	
2018	PMA	200.0000	US $ 100.00 (*)	US $ 100.00	

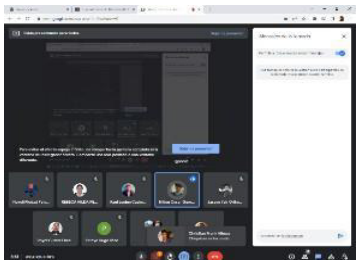
AÑO	*BANCO*	*BOLETA*	*FECHA PAGO*	*MONEDA*	*PAGADO*
2022	SCOTIABANK	3580500700083	28/06/2022	S/.	17,600.00
2020	SCOTIABANK	4210500700014	30/06/2021	S/.	16,800.00
2019	SCOTIABANK	0110500700038	22/09/2020	S/.	830.00
2018	SCOTIABANK	0110500700116	27/06/2019	US $	100.00

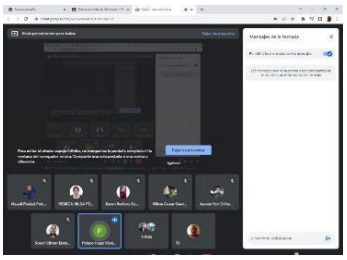
COPIA INFORMATIVA
Emitida a través de consultas por internet. No tiene validez para trámites administrativos, judiciales u otros.

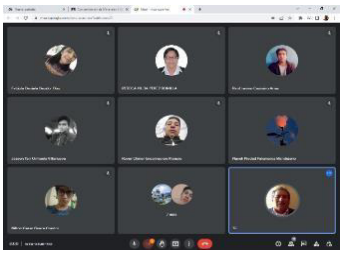


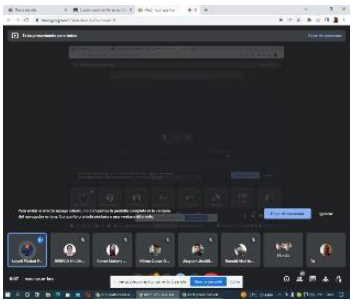


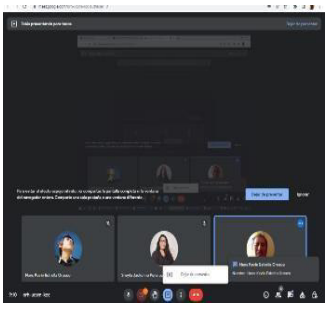
2. Reuniones de trabajo virtual

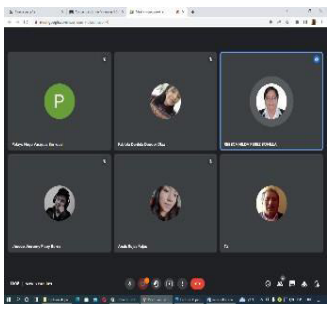


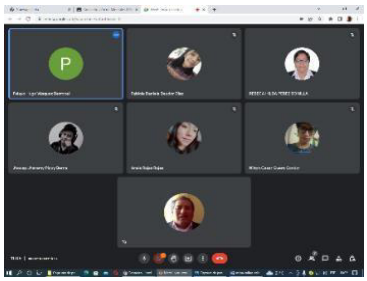


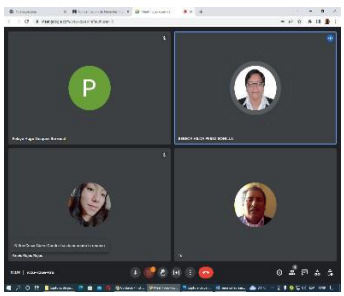












3. Trabajos de campo











