

**Universidad Nacional  
“José Faustino Sánchez Carrión”**



**“Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica”**

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica

**“TRATAMIENTO DE MINERAL OXIDADO MEDIANTE ÁCIDO  
CÍTRICO EMPLEADO COMO DISOLVENTE EL AGUA DE MAR POR  
AGITACIÓN PARA LA EXTRACCIÓN DE COBRE A NIVEL  
EXPERIMENTAL”**

**“TESIS PARA OPTENER EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO METALURGICO”**

**Autor**

Bach: MARCOS NICHU, YOMIRA JENNITZA

**Asesor**

M(°). GUERRA LAZO, CAYO EDUARDO

C.I.P. N° 18720

**Huacho - Perú**

2018

**“TRATAMIENTO DE MINERAL OXIDADO MEDIANTE ÁCIDO  
CÍTRICO EMPLEADO COMO DISOLVENTE EL AGUA DE MAR POR  
AGITACIÓN PARA LA EXTRACCIÓN DE COBRE A NIVEL  
EXPERIMENTAL”**

.....  
Dr. Cisneros Tejeira, Máximo  
Presidente

.....  
M(a). Natividad Huasupoma, Delicias Eufemia  
Secretario

.....  
Ing. Toledo Sosa, José Alonso  
Vocal

.....  
M(o) Guerra Lazo, Cayo Eduardo  
Asesor

## **DEDICATORIA**

A Dios que me ha dado la vida y fortaleza para terminar este proyecto.

A mis padres por estar ahí cuando más los necesite, y que por ellos he llegado hasta aquí, por permitirme soñar, enseñarme el valor de la perseverancia y realizar cada etapa de mi vida en su debido tiempo.

A mi hermana por su amor incondicional que me ha dado las fuerzas para seguir adelante.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, a mis padres por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida.

A mi hermana que ha sido el motor de cada una de mis metas planteadas a futuro que algunas han sido cumplidas y otras aún están en el proceso, y agradezco a mis seres queridos en general.

## PENSAMIENTO

“La vida es una película que vuelve a empezar cada mañana al despertarnos. Olvídate de tus errores, cada día tienes una nueva oportunidad para triunfar y alcanzar la felicidad.”

(Norkin Gilbert)

## INDICE

CARATULA.....	I
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
PENSAMIENTO.....	V
INDICE.....	VI
INDICE DE FIGURA.....	X
INDICE DE TABLA.....	XI
INDICE DE ANEXO.....	XII
GLOSARIO DE ABREVIATURAS.....	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVI
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2. Formulación del problema.....	1
1.2.1. Problema General.....	2
1.2.2. Problema Específico.....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivos generales.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Justificación.....	3
1.4.1. Justificación Práctica.....	3

1.4.2.	Justificación Metodológica.....	3
1.4.3.	Justificación Técnica.....	3
1.4.4.	Justificación Social.....	4
1.4.5.	Justificación Económica.....	4
1.5.	Delimitación.....	4
1.5.1.	Delimitación Territorial.....	4
1.5.2.	Delimitación Tiempo y Espacio.....	4
1.5.3.	Delimitación de Recursos.....	5
1.6.	Viabilidad de estudio.....	5
CAPÍTULO II.....		6
MARCO TEÓRICO.....		6
2.2.	Antecedentes de la investigación.....	6
2.2.1.	Investigación relacionada con el estudio.....	6
2.2.2.	Otras Publicaciones.....	11
2.3.	Lixiviación de minerales de cobre.....	14
2.3.1.	Lixiviación de minerales oxidados de cobre.....	14
2.3.2.	Lixiviación de minerales de cobre sulfuros.....	14
2.3.3.	Método de lixiviación.....	17
2.3.4.	Agentes lixiviantes.....	24
2.4.	Definición de términos básicos.....	25
2.5.	Formulación de hipótesis.....	30
2.5.1.	Hipótesis General.....	30
2.5.2.	Hipótesis Específicas.....	30
2.6.	Operacionalización de variables.....	30
CAPÍTULO III.....		32

METODOLOGÍA.....	32
3.1.    Diseño metodológico.....	32
3.1.1.    Tipo de Investigación.....	32
3.1.2.    Nivel de Investigación.....	32
3.1.3.    Diseño de la Investigación.....	32
3.1.4.    Enfoque de la Investigación.....	33
3.1.5.    Estrategias o procedimientos de contratación de hipótesis o cumplimiento de objetivos técnicos.....	33
3.2.    Población y muestra.....	33
3.2.1.    Población.....	33
3.2.2.    Muestra.....	34
3.3.    Técnica de recolección de datos.....	34
3.3.1.    Técnicas.....	34
3.3.2.    Instrumentos.....	34
3.4.    Técnica de procesamiento de la Información.....	35
3.5.    Aspectos Éticos.....	35
CAPÍTULO IV.....	36
RESULTADOS.....	36
4.1.    Equipos materiales y reactivos.....	36
4.1.1.    Equipos.....	36
4.1.2.    Materiales.....	36
4.1.3.    Reactivos.....	37
4.2.    Condiciones para las pruebas experimentales.....	37
4.2.1.    Mineral.....	37
4.2.2.    Diagrama de la prueba experimental.....	38

4.3. Resultados.....	39
4.3.1. Moliendabilidad.....	39
4.3.2. Extracción de cobre en la solución lixiviada.....	40
4.3.3. Consumo de ácido cítrico.....	41
4.4. Cálculos de los resultados.....	42
4.4.1. Liberación del mineral.....	42
4.4.2. Extracción y recuperación del cobre.....	43
4.4.3. Consumo de ácido cítrico.....	45
4.4.4. Recuperación del cobre en función del consumo del ácido cítrico.....	47
CAPÍTULO V.....	50
DISCUSIÓN CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
5.1. Discusión.....	50
5.2. Conclusiones.....	53
5.3. Recomendaciones.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	55
ANEXOS.....	58

## INDICE DE FIGURA

<i>Figura 1 Diagrama de Pourbaix sistema Cu-O-S-H<sub>2</sub>O a 25°C [Cu] = [S] = 10<sup>-4</sup> M.....</i>	15
Figura 2 Diagrama de Pourbaix del sistema Cu-Fe-S-H <sub>2</sub> O a 25°C.....	16
Figura 3 Método de lixiviación de minerales de cobre.....	17
<i>Figura 4 Diagrama de lixiviación de minerales de cobre.....</i>	17
Figura 5 Variables de la lixiviación por agitación.....	20
<i>Figura 6 Porcentaje de extracción en función del tiempo.....</i>	21
Figura 7 Eh/pH del sistema Cu-S-H <sub>2</sub> O, 25°C.....	22
Figura 8 Diagrama de Pourbaix de sistema Cu-S-O-H <sub>2</sub> O a 25 °C. [Cu] = [S] =10 <sup>-4</sup> M....	23
Figura 9 Complejos de aminas de cobre formadas en función de concentración Amoniac	24
Figura 10 Esquema de experimento y variable.....	33
Figura 11 Mineral para la parte experimental.....	37
Figura 12 Diagrama del proceso experimental realizado.....	38
Figura 13 Curva de moliedabilidad del mineral.....	42
Figura 14 Curva de recuperación del cobre en el tiempo.....	44
Figura 15 Predicciones de la recuperación del cobre en el tiempo.....	44
Figura 16 Consumo de ácido cítrico en el tiempo.....	46
Figura 17 Predicciones del consumo de ácido cítrico en el tiempo.....	46
Figura 18 Recuperación del cobre en función del consumo de ácido cítrico por kilogramo de mineral.....	48
Figura 19 Proyección de la recuperación del cobre en función del consumo de ácido cítrico por kilogramo de mineral.....	49

## INDICE DE TABLA

Tabla 1: Tamaño de algunos minerales para lixiviación por agitación.....	21
Tabla 2 Agentes lixiviantes.....	24
Tabla 3. Variables.....	31
Tabla 4 Moliendabilidad del mineral.....	39
Tabla 5 Extracción del cobre en g/l en el tiempo.....	40
Tabla 6 Consumo de ácido cítrico en las pruebas experimentales.....	41
Tabla 7 Proyección de la moliendabilidad del mineral.....	42
Tabla 8 Recuperación del cobre en el tiempo.....	43
Tabla 9 Consumo de ácido cítrico en la extracción de cobre.....	45
Tabla 10 Recuperación del cobre en función del consumo del ácido cítrico.....	47

## INDICE DE ANEXO

Anexo 1 Localización del centro de investigación FIQyM.....	59
Anexo 2 Matriz de consistencia general.....	60
Anexo 3 Matriz de consistencia específico.....	61
Anexo 4 : Análisis Granulométrico en 5 min.....	62
<i>Anexo 5: Análisis Granulométrico en 10 min.....</i>	<i>62</i>
<i>Anexo 6: Análisis Granulométrico en 15 min.....</i>	<i>63</i>
<i>Anexo 7: Análisis Granulométrico en 20 min.....</i>	<i>63</i>
Anexo 8 Chancado y pulverizado de muestra.....	64
Anexo 9 Pulverizado y secado de muestra.....	64
Anexo 10 Análisis de muestras.....	64

**GLOSARIO DE ABREVIATURAS**

<b>IQF</b>	:	Insumo químico fiscalizado.
<b>%</b>	:	Porcentaje.
<b>Fig.</b>	:	Figura
<b>EPP</b>	:	Equipos de protección personal.
<b>s/n</b>	:	Sin número.
<b>Nº</b>	:	Número.
<b>m<sup>2</sup></b>	:	Metros cuadrados.
<b>”</b>	:	Pulgada.
<b>ρ</b>	:	Densidad.
<b>l</b>	:	Litro.
<b>vol</b>	:	Volumen.
<b>g</b>	:	Gramo.
<b>ml</b>	:	Mililitro.
<b>g/ml</b>	:	Gramos por mililitro.
<b>mm</b>	:	Micrómetros.
<b>min</b>	:	Minutos.
<b>g/t</b>	:	Gramos por tonelada.
<b>g/l</b>	:	Gramos por litro.
<b>Cº</b>	:	Centígrados.
<b>Kg</b>	:	Kilogramos.
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	:	Gramos por centímetros cúbicos.
<b>hr</b>	:	Hora.

## RESUMEN

En el presente estudio el objetivo es el tratamiento de minerales oxidado mediante ácido cítrico empleando como disolvente el agua de mar por agitación, para la extracción de cobre a nivel experimental, permitiendo obtener un mejor resultado. La metodología del trabajo es experimental aplicada, cuantitativa, predictiva generador de resultados. El proceso experimental consta de preparación de muestra, molienda, lixiviación ácida por agitación. Como resultado se tiene para una ley cabeza de 3.17% Cu, una liberación 80% a malla 200 en 18.182 minutos, durante 24 horas se tiene una concentración de cobre 13.5 g/l, con una recuperación de 79.74%. Para una predicción estadísticamente significativa  $p < 0.05$ , con una confiabilidad del 95% es de 81.67% de recuperación en 25.6 horas. El consumo de ácido cítrico de 62.07 g/kg en 24 horas con una predicción de consumo de 60.485 g/kg en 18.4 horas. La relación de la recuperación del cobre en función del ácido cítrico es estadísticamente significativa  $p < 0.05$  con una confiabilidad de 95% la recuperación proyectada es de 98.195% con un consumo de 66 gramos de ácido cítrico por kilogramo de mineral, cumple con los objetivos planteados en el presente estudio.

**Palabra clave:** Lixiviación de minerales oxidados de cobre, Lixiviación acida de minerales, Lixiviación de minerales oxidados con agentes complejantes.

## ABSTRACT

In the present study the objective is the treatment of oxidized minerals by means of citric acid using seawater as a solvent by agitation, for the extraction of copper at experimental level, allowing to obtain a better result. The methodology of the work is applied experimental, quantitative, predictive generator of results. The experimental process consists of sample preparation, milling, acid leaching by agitation. As a result, we have for a head law of 3.17% Cu, a release 80% to 200 mesh in 18,182 minutes, for 24 hours we have a copper concentration 13.5 g / l, with a recovery of 79.74%. For a statistically significant prediction  $p < 0.05$ , with a reliability of 95% is 81.67% recovery in 25.6 hours. The consumption of citric acid of 62.07 g / kg in 24 hours with a consumption prediction of 60,485 g / kg in 18.4 hours. The ratio of the recovery of copper as a function of citric acid is statistically significant  $p < 0.05$  with a reliability of 95% projected recovery is 98.195% with a consumption of 66 grams of citric acid per kilogram of mineral, meets the objectives set in the present study.

Key Word: Leaching of oxidized copper ores, acid leaching of minerals, leaching of oxidized ores with complexing agents.

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el tratamiento de minerales oxidado mediante ácido cítrico empleando como disolvente el agua de mar por agitación, para la extracción de cobre a nivel experimental, con una recuperación óptima del cobre.

la disponibilidad de los recursos naturales para el presente estudio se fundamenta, que el Perú dispone de grandes recursos minerales, debiéndose destacar el Oro, La Plata y el Cobre, utilizados como fuente generadora de riqueza y principal rubro de producción minera.

El proceso de lixiviación es una etapa fundamental en un proceso hidrometalúrgico, que involucra la disolución del metal a recuperar desde una materia prima sólida, en una solución acuosa mediante la acción de agentes químicos. Las fuentes primarias son las menas naturales las cuales pueden ser menas nativas, oxidadas, o menas sulfuradas, de acuerdo a la composición mineralógica y contenido de cobre. Lógicamente que las fuentes de mayor importancia para la extracción de cobre las constituyen las menas oxidadas y sulfuradas. Durante las últimas décadas se busca nuevas alternativas en los procesos hidrometalúrgicos debido al deterioro ambiental y de salud, ocasionados por los efluentes de los ácidos que se emplean en dichos procesos.

El [proceso](#) de lixiviación con ácido cítrico para procesar minerales de cobre, se desarrolló a fin de sustituir el ácido sulfúrico por ser un insumo químico fiscalizado (iqf) en el Perú, [Bolivia](#) y [Colombia](#).

La investigación sobre el posible reemplazo de ácidos inorgánicos como el sulfúrico, por un ácido orgánico y biodegradable como el ácido cítrico; se encuentra en una etapa de evolución, en la cual, se busca obtener valores metálicos y reducir así el uso de productos químicos nocivos para el suelo y el agua. Para poder elegir el método a utilizarse, hay que tener en cuenta el tipo de mineral a tratar, si la composición del mineral es óxido o sulfuro y la ley del

mineral. El mineral presente tiene una ley promedio del 3.17% de cobre y presenta principalmente el cobre en forma de crisocola.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción de la realidad problemática

La región central del Perú, cuenta con diferentes recursos metálicos y no metálicos, especialmente esta parte de la región del valle fortaleza una zona donde los recursos minerales no han sido explotado, al tener estos recursos metálicos sulfurados oxidados y semi oxidados es necesario su estudio para su aprovechamiento y darles valor agregados a estos recursos, en nuestro caso específico al cobre.

Los minerales oxidados en su mayoría pueden ser tratados mediante la lixiviación usando su propiedad de disolución mediante un agente químico ácidos, básicos y sales, permitiendo obtener los metales en forma de iones que posteriormente pueden ser recuperado por intercambio iónico o electrodeposición de esa manera darles un valor agregado a nuestros recursos e incrementar el ingreso a gobiernos locales, regionales y central.

En la búsqueda de alternativas a la concentración de minerales, se debe implantar la extracción de aquellos elementos existentes y producir como metales y sus aleaciones, dejando de lado de ser un país solo producto de material prima. Como alternativa de extracción los reactivos orgánicos son más amigables con el medio ambiente.

Por lo que al buscar alternativas en dar solución se plantea el siguiente problema como se describe a continuación en el planteamiento del problema.

### 1.2. Formulación del problema.

Los problemas generales y específicos utilizados en la lixiviación de minerales oxidados de cobre en el presente estudio se tendrán:

### **1.2.1. Problema General.**

¿En qué medida el tratamiento de minerales oxidado mediante ácido cítrico empleando como disolvente el agua de mar por agitación, nos permitirá la extracción de cobre a nivel experimental?

### **1.2.2. Problema Específico.**

- ¿En qué medida el tratamiento por lixiviación a los minerales oxidados con una concentración adecuado de ácido cítrico y un determinado tiempo, se podrá tener una recuperación optima de cobre?
- ¿En qué medida en el proceso de lixiviación de minerales oxidados con una concentración del ácido y un tiempo optimo, se podrá tener un consumo adecuado de ácido cítrico en función al mineral tratado?

## **1.3. Objetivos.**

Los objetivos generales y específicos utilizando en la lixiviación de minerales oxidados para el estudio se tiene los siguientes:

### **1.3.1. Objetivos generales.**

Evaluar el tratamiento de minerales oxidado mediante ácido cítrico empleando como disolvente el agua de mar por agitación, para la extracción de cobre a nivel experimental.

### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Evaluar el tratamiento de lixiviación a los minerales oxidados con una concentración adecuado de ácido cítrico y un determinado tiempo, para obtener una recuperación optima de cobre.
- Evaluar el proceso de lixiviación de minerales oxidados con una concentración del ácido y un tiempo optimo, para obtener un consumo adecuado de ácido cítrico en función al mineral tratado.

## **1.4. Justificación.**

### **1.4.1. Justificación Práctica.**

Al llevar a cabo esta investigación se podrá entender que el tratamiento de minerales oxidado mediante ácido cítrico empleando como disolvente el agua de mar por agitación para la extracción de cobre a nivel experimental, nos permitirá recuperar cobre y el consumo de ácido de acuerdo los objetivos planteados.

### **1.4.2. Justificación Metodológica.**

Los Métodos, procedimientos y técnicas e instrumentos empelados en la investigación, una vez demostrada su validez y confiabilidad podrán ser utilizadas en otros trabajos de investigación.

### **1.4.3. Justificación Técnica**

El presente trabajo sobre tratamiento de minerales oxidado mediante ácido cítrico empleando como disolvente el agua de mar por agitación para la extracción de cobre a nivel experimental, nos permitirá obtener una recuperación óptima.

#### **1.4.4. Justificación Social.**

Dentro de la investigación se mostrará que la actividad que se realiza fomentará en un futuro trabajadores de la zona de influencia de donde se recabe los minerales en este caso distrito de Raquí, provincia de Bolognesi departamento de Áncash y de las zonas de influencia directo e indirectamente.

#### **1.4.5. Justificación Económica.**

En el Tratamiento de minerales oxidado mediante ácido cítrico empleando como disolvente el agua de mar por agitación para la extracción de cobre a nivel experimental, permitirá los ingresos económicos de las personas de la zona de influencia y gobierno local, regional y central.

### **1.5. Delimitación.**

#### **1.5.1. Delimitación Territorial.**

País	:	Perú
Departamento	:	Lima
Provincia	:	Huaura
Distrito	:	Huacho
Ciudad	:	Universitaria - UNJFSC - FIQyM - EPIM - CiyDTM

#### **1.5.2. Delimitación Tiempo y Espacio.**

La investigación se realizará en el centro de investigación y desarrollo tecnológico de materiales de la escuela profesional de ingeniería metalúrgica de la facultad de ingeniería química y metalúrgica de la universidad nacional José Faustino Sánchez Carrión, durante el periodo de 2018.

### **1.5.3. Delimitación de Recursos.**

Falta de disponibilidad de recursos económicos para llevar a cabalidad el trabajo de investigación.

### **1.6. Viabilidad de estudio.**

La realización de la presente investigación es viable, por cuanto se tiene los conocimientos teóricos, los medios técnicos, métodos y los recursos económicos necesarios. Así mismo, está asegurado el acceso a lugares de las fuentes de la información requeridas; también se cuenta con la autorización correspondiente del jefe del centro de investigación y desarrollo tecnológico de materiales, a efectos de llevar a cabo el correspondiente trabajo de investigación.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.2. Antecedentes de la investigación.

##### 2.2.1. Investigación relacionada con el estudio.

###### 2.2.1.1. Tesis internacionales.

Para [CITATION Bar07 \y \l 3082 ] en su trabajo sobre “comportamiento de la recuperación de cobre en una pila de lixiviación a condiciones ambientales extremas”, concluye que,

La baja conductividad del mineral ayuda a que el proceso sea factible y que no se congele la solución para realizar la lixiviación.

No calentar a más de 10°C la solución lixivante en periodo invernal, sino se producen pérdidas económicas.

En periodo de verano, es posible calentar o enfriar la solución lixivante en un intervalo de  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ , desde su temperatura de operación, para que el proyecto no vea disminuidas en un gran porcentaje sus ganancias. [CITATION Bar07 \p 68 \l 3082 ].

En el proceso de lixiviación es importante el control de las condiciones climáticas del lugar de operación, con ello establecer las condiciones adecuadas de operación.

Para [CITATION Sar12 \y \l 3082 ], sobre la “lixiviación fúngica de cobre a partir de minerales del distrito minero portovelo – zaruma – minas nuevas” llegaron a las siguientes conclusiones:

Se determinó que *Penicillium* sp. tiene una buena producción de Ácido Cítrico (5.057 gr/L), ratificándose ésta en el consumo de sucrosa.

La liberación máxima de Cu se la obtuvo con B+, esto es 52.333 ppm.

La tasa máxima de Cu disuelto por lixiviación química obtenida fue de 228.00 ppm, usando los datos de ácido cítrico obtenidos de la C4 a los 14 días en lixiviación biológica.

La mayor producción de Ácido Cítrico no está directamente ligada a la mayor solubilización de Cu.

La ausencia de fuente de carbono y la presencia de mineral en la fermentación permite una mejor solubilización de Cu.

Cuando el pH es alcalino no existe precipitación de los metales favoreciendo así la disponibilidad de las sales de cobre.

La lixiviación a valores bajos de pH activa la reactividad de la ganga mineral.

La lixiviación química es más eficaz que la lixiviación biológica para esta cepa y en estas condiciones.

La temperatura del medio es un factor crítico que tiene un efecto profundo en la producción de Ácido Cítrico, siendo los valores óptimos entre 29°C y 31°C; cuando la temperatura es menor a 29°C la actividad enzimática del hongo tiende a disminuir mientras que, cuando la temperatura es mayor a 31°C la biosíntesis del Ácido Cítrico es baja debido a la producción de otros ácidos.

Mediante claves taxonómicas se determinó que el hongo involucrado corresponde al género *Penicillium*, la especie está por determinarse molecularmente. [CITATION Sar12 \p 73 \l 10250 ]

La lixiviación biológica es un medio que abre a una extracción de metales más amigables al medio ambiente, donde los agentes bio lixiviantes permite producir compuestos disolventes (ácidos) y esto a la ves extrae cobre en forma iónica.

Para [CITATION Gui17 \y \l 3082 ], sobre “factibilidad técnica de la aglomeración y posterior lixiviación de minerales oxidados, sulfurados y mezclas con cloruro de sodio y sulfato férrico”, llego a las siguientes conclusiones que:

El resultado obtenido en la aglomeración de minerales oxidados con NaCl indica que este reactivo no tiene una mayor influencia en la sulfatación de este tipo de material, sin embargo luego de haber comparado una prueba en blanco con diferentes pruebas a distintas condiciones de NaCl, se observó que las partículas finas no se adhieren con tanta fuerza en las muestras que no contenían sal mientras que aquellas que si poseían este reactivo mostraban una notable adherencia de los finos a las partículas gruesas, debido a esto puede resultar beneficioso adicionar una pequeña dosis de sal a este tipo de mineral con el objetivo de no perder finos. Muy por el contrario, a lo sucedido con los minerales oxidados, ARC 9, la sal tiene una influencia significativa en la aglomeración de minerales sulfurados, ARC 6, llegando a una diferencia de 12,2 puntos de sulfatación comparado con la prueba sin sal de este mismo mineral por un periodo de 20 días, en cambio el mineral ARC 9 sólo muestra una diferencia de 0,8 puntos respecto al blanco de este mismo mineral con un tiempo de reposo de 10 días. Al utilizar  $Fe^{+3}$  en la aglomeración se ve un importante incremento en la sulfatación del mineral ARC 6, debido a que este actúa como un oxidante aumentando la cinética de extracción de los minerales sulfurados. Se observó una diferencia de 11,8 puntos entre la prueba que

contenía sólo sal y la que contiene  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . [CITATION Gui17 \p 28 \l 3082 ].

En la extracción de cobre como agentes complementarios puede jugar un factor importante donde el cloruro de sodio interviene en la aglomeración, mientras que el sulfato férrico en la extracción.

#### **2.2.1.2. Tesis nacionales.**

Los trabajos referentes al tema a tratar en el ámbito nacionales se describen en los párrafos que a continuación se detalla para darle sustento a la investigación que se desarrollara.

Para [CITATION Sar12 \y \l 3082 ] sobre la “Influencia del pH y la concentración del ácido cítrico en la lixiviación por agitación de minerales oxidados de cobre tipo crisocola del distrito de salpo - la libertad” llego a las conclusiones siguientes:

El pH influye en la extracción de cobre usando ácido cítrico siendo el óptimo pH igual a 3, del mismo modo sucede con la concentración de ácido cítrico, siendo la concentración óptima 0.4 M.

A una granulometría de 95% -#10, con 33% sólidos, agitación mecánica durante 3 horas, pH = 3 y concentración de ácido cítrico = 0.4 molar se obtiene el mayor porcentaje de extracción de Cu (90.69 %).

Es factible la extracción de cobre en minerales oxidados como la Crisocola, utilizando ácido cítrico como disolvente, se obtiene altos porcentajes de extracción similares a cuando se utiliza ácidos inorgánicos en la lixiviación.

Según el análisis estadístico con un nivel de confianza de 95%, el análisis de varianza ratifica que las dos variables de estudio influyen significativamente y

que sus interacciones influyen, pero en menor proporción en el proceso de extracción de Cu de la crisocola del distrito de Salpo – La Libertad.

[CITATION Sar12 \p 73 \l 10250 ]

El uso de ácido cítrico tiene un alto grado de extracción por lo que es viables realizar las pruebas para cada tipo de mineral.

Para [CITATION Chu14 \y \l 3082 ] sobre, “optimización del proceso de aglomeración y lixiviación en una planta de lixiviación de cobre”, concluye que,

Los conceptos termodinámicos sobre la actividad química y fuerza iónica descritos anteriormente son verificados con los resultados experimentales de esta prueba, teniendo una mayor recuperación de cobre a una mayor actividad química y a su vez una menor concentración de ácido sulfúrico en el riego.

El consumo de ácido sulfúrico durante la aglomeración depende principalmente del porcentaje de cobre soluble en ácido (%CuSAc), porcentaje de fierro oxidado (%FeOx) y porcentaje de carbonatos (%CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), contenidos en el mineral oxidado de cobre chancado, proveniente de la mina Cuajone; de acuerdo al modelo matemático obtenido.

El mayor efecto en la ratio de consumo de ácido sulfúrico es por los altos valores de carbonatos (%CO<sub>3</sub>) principalmente por la presencia de malaquita, azurita, caliza y dolomita, como especies mineralógicas en mina cuajone. Las 2 últimas especies mineralógicas al reaccionar con el ácido sulfúrico producen sulfatos de calcio y magnesio, los cuales generan canalizaciones en las pilas de lixiviación industriales (.....).

Las pruebas de lixiviación en columnas y la evaluación económica, dio como resultado que la concentración crítica de ácido sulfúrico en la solución

lixivante durante la etapa de riego es de 8gpl. La relación  $[Cu_2^+]/[FeT]$  en las soluciones de percolación aumenta en un 33% con respecto al proceso normal. La optimización de los procesos de aglomeración y lixiviación, conlleva a un ahorro en el costo operativo (...).[CITATION Chu14 \p 101-102 \l 3082 ].

En los procesos de lixiviación previo aglomeración mejora la extracción en comparación a los métodos normales y los carbonatos permite alto consumo de ácido.

En su trabajo [CITATION MarcadorDePosición1 \y \l 3082 ], sobre “Influencia del tipo y concentración del agente lixivante en la extracción de cobre mediante lixiviación por agitación de un mineral tipo crisocola”, llegaron a las siguientes conclusiones:

La concentración de agente lixivante tiene un efecto significativo en la extracción de cobre, y de acuerdo a los resultados, la extracción de cobre incrementa con el aumento de la concentración de agente lixivante.

Para el rango de concentración de agente lixivante evaluado, la mayor extracción de cobre se obtiene cuando la concentración de dicho agente es 20 g/L, obteniéndose una extracción de 85.73 % con ácido sulfúrico y 79.18% con ácido cítrico.

En cuanto al tipo de agente lixivante se puede decir que es menos significativo que en el caso de la concentración de la concentración de agente lixivante. [CITATION MarcadorDePosición1 \p 28 \l 3082 ].

### **2.2.2. Otras Publicaciones.**

En su investigación [CITATION Gut69 \y \l 3082 ], sobre evaluación del proceso de lixiviación en medio básico para minerales oxidados de cobre, llegaron a la conclusión que,

El uso de un agente complejante como es el tartrato para la extracción de  $\text{Cu}_2^+$  en medio básico fue muy importante evidenciándose que la concentración de 8% del ión tartrato, el pH de la solución que fue de 13.7 y el tiempo de reacción de 25 días presentaron una relación directa muy significativa en el grado de extracción del cobre lográndose recuperaciones de hasta 92.28%.

Con el presente estudio, se propone un nuevo proceso de tratamiento para los minerales oxidados de cobre empleando el tartrato como agente lixivante en medio básico y teniendo en consideración que la lixiviación en medio básico presenta ventajas significativas con respecto a la lixiviación en medio ácido, específicamente para minerales provenientes de la Región Puno.

Estos resultados son concordantes con otros estudios realizados debido a que el uso de agentes complejantes en medio básico permite incrementar los niveles de recuperación disminuyendo así el impacto ambiental negativo y por ser un insumo químico disponible comercialmente. [CITATION Gut69 \p 415 \l 3082 ].

Para [CITATION Agu \y \l 3082 ] en su trabajo sobre “Lixiviación de un concentrado calcopirítico de cobre en medio ácido con presencia de iones cloruro”, concluyen que,

La presencia de iones cloruros tiene un efecto positivo sobre la lixiviación de la calcopirita con iones férricos. La concentración de ion cloruro está relacionado con la disolución de cobre y que una alta concentración no es necesaria.

La concentración de ion férrico afecta positivamente a la recuperación de cobre con concentraciones de ion cloruro de 20 g/L y 50 g/L de  $\text{Cl}^-$ , aumenta la velocidad de disolución con bajas concentraciones de ion férrico. Con altas

concentraciones el efecto es despreciable y el hierro precipita impidiendo la recuperación.

La concentración de ion cúprico inicial afecta positivamente la recuperación de cobre, solo en concentraciones mayores a 1 g/L de  $\text{Cu}_2^+$ .

El rango de potencial de la lixiviación es de 450- 480mV y potenciales superiores a 490mV favorecen la precipitación del ion  $\text{Fe}_3^+$ . [CITATION Agu \p 29 \l 10250 ]

[CITATION Aza1 \y \l 3082 ] sobre “Lixiviación de minerales de cobre con agua de mar”, llego a la siguiente conclusión:

Actualmente, la lixiviación de minerales de baja ley en montones mediante el uso de agua de mar es una opción económica para superar la escasez que enfrentan muchas mineras situadas cerca del mar, ahorrando los costos de extracción de agua dulce. Existen pocos estudios sobre las ventajas y/o desventajas sobre el uso de agua de mar como principal fuente hídrica en las operaciones de lixiviación, sin embargo, en muchas de ellas esta fuente pudiera ser lo más eficiente por el efecto catalizador que ofrecen los iones cloruros. En procesos que se requiera lixiviar concentrados de calcopirita, la reducción del tamaño y el aumento en la temperatura de lixiviación, así como oxidantes mucho más fuertes que las duplas de iones férricos y cúpricos pudieran emplearse como parámetros clave para aumentar la cinética de reacción. [CITATION Aza1 \p 25 \l 3082 ].

### 2.3. Lixiviación de minerales de cobre.

La lixiviación es un proceso de solubilizar los componentes valiosos de un mineral en una solución acuosa. Para los minerales de cobre, el ácido sulfúrico es el agente principal lixivante. Los minerales óxido de cobre se disuelven en ácido y algunos sulfuros, como la calcocita y la covellita, se disuelven en condiciones atmosféricas. Mientras que los sulfuros más refractarios (calcopirita y bornita) requieren altas temperaturas y presiones para romper las redes cristalinas y liberar el cobre de los minerales a la solución.

#### 2.3.1. Lixiviación de minerales oxidados de cobre.

La lixiviación de los minerales de cobre se pueden realizar con agentes acidas, básicas y sales, “el cobre se puede disolver como  $\text{Cu}_2^+$  en condiciones ligeramente ácidas ( $\text{pH} < 5$ ) de acuerdo el diagrama de Pourbaix (potencial-pH) en el diagrama del sistema Cu-O-S”.

[CITATION Sch111 \p 282 \l 10250 ]

Tenorita	$\text{CuO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cu}_2^+ + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	1
Azurita	$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 3\text{Cu}_2^+ + 3\text{SO}_4^{2-} + 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	2
Malaqui	$2\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 3\text{Cu}_2^+ + 3\text{SO}_4^{2-} + 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	3
ta		
Cuprita	$\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cu}_2^+ + \text{SO}_4^{2-} + \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$	4
Crisocol	$\text{CuOSiO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cu}_2^+ + \text{SO}_4^{2-} + \text{SiO}_2\text{nH}_2\text{O} + (3-n)\text{H}_2\text{O}$	5

a

#### 2.3.2. Lixiviación de minerales de cobre sulfuros.

La lixiviación de los minerales sulfuros es necesario primero romper la estructura del sulfuro por lo que, “los minerales de sulfuro de cobre requieren el uso de ácido y un agente oxidante para romper la red del mineral y liberar  $\text{Cu}^{2+}$  en solución” (Sherrit, Pavlides, y Weekes, 2005) citada en [CITATION Sch111 \p 283 \l 10250 ].



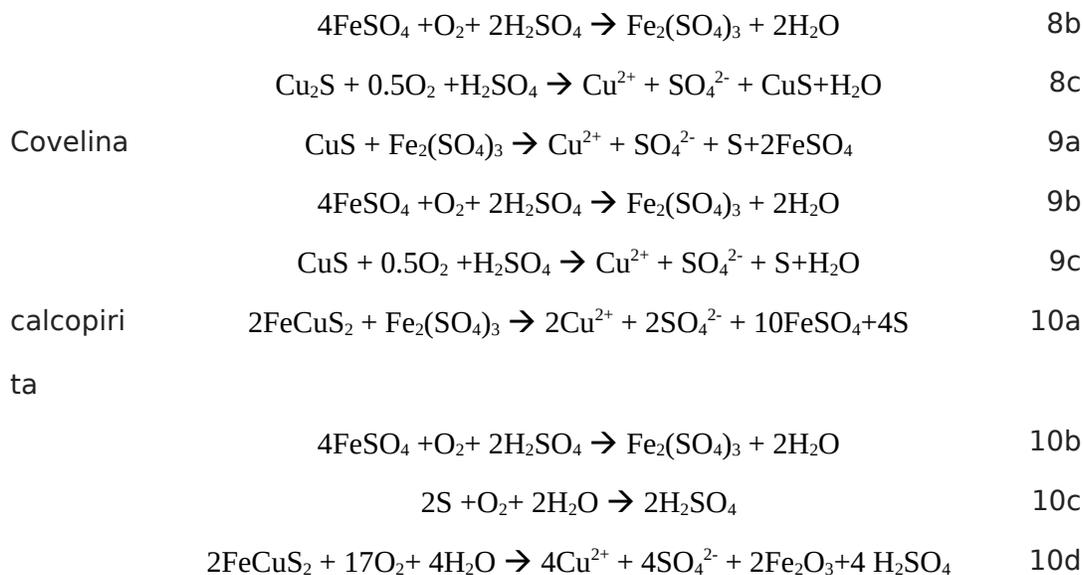
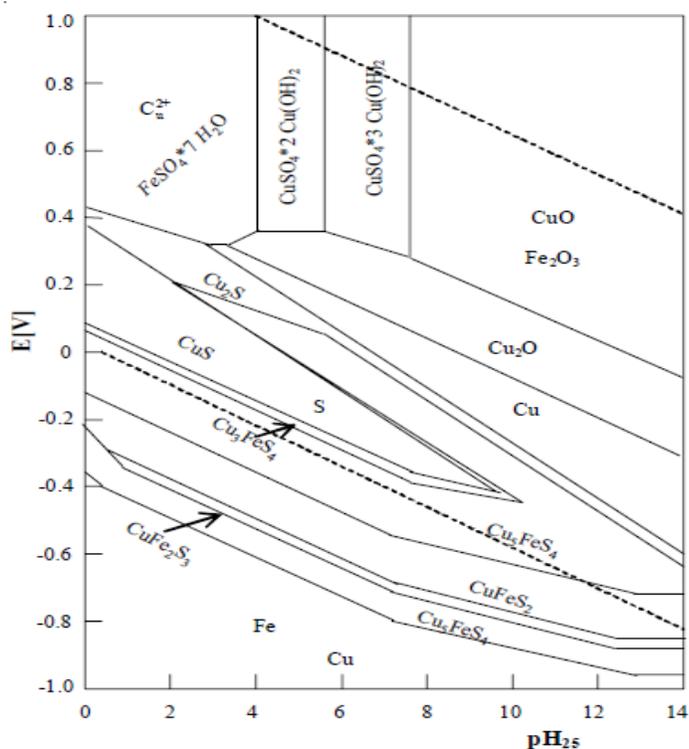


Figura 2 Diagrama de Pourbaix del sistema Cu-Fe-S-H<sub>2</sub>O a 25°C



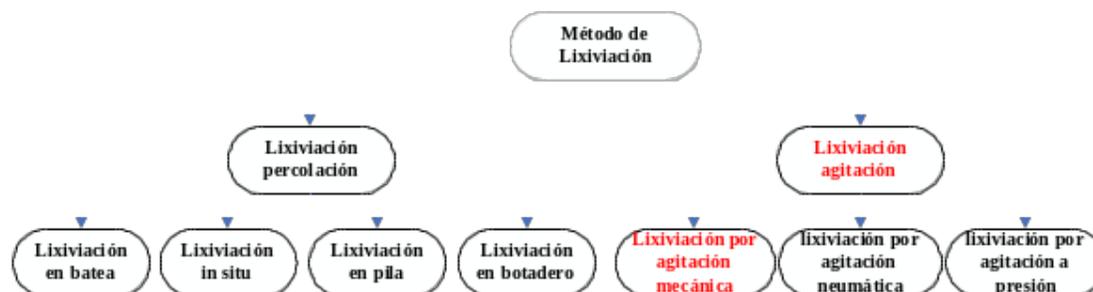
Nota: Fuente [CITATION Hav08 \p 155 \l 10250 ]

### 2.3.3. Método de lixiviación.

En el proceso de lixiviación, los métodos de extracción se pueden definir de acuerdo a la ley del mineral a tratar y la mineralización por lo que se clasifican en, “seis métodos para

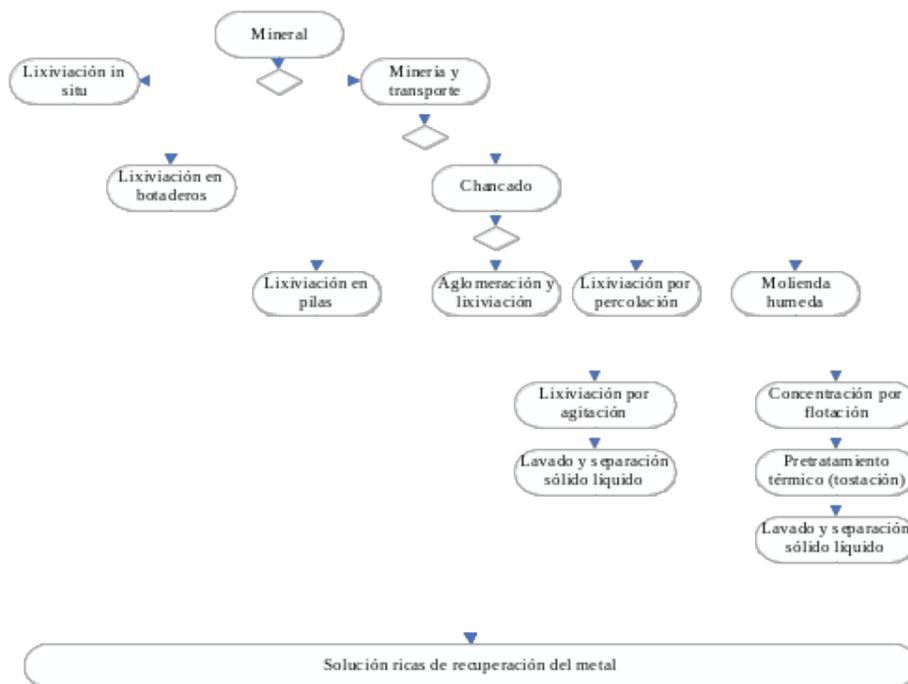
la lixiviación de minerales de cobre, lixiviación in situ, lixiviación en botaderos (dump leaching), lixiviación en pilas (heap leaching), lixiviación por percolación (vat leaching), lixiviación por agitación y lixiviación por agitación a presión”.[CITATION Sch111 \p 285 \l 10250 ]

Figura 3 Método de lixiviación de minerales de cobre



Nota: Fuente [CITATION Kum03 \p 479 \l 10250 ]

Figura 4 Diagrama de lixiviación de minerales de cobre



Nota: Fuente [CITATION Dom84 \p 161 \l 10250 ]

### **2.3.3.1. Lixiviación por agitación.**

La agitación se realiza en una mezcla de partículas de mineral molido y solución lixivante. La lixiviación se realiza por agitación neumática o mecánica.[ CITATION Kum03 \l 10250 ]

La agitación neumática se realiza en una pachuca, que es un recipiente cilíndrico alto con un fondo cónico y un tubo de aspiración, abierto en ambos extremos, posicionado coaxialmente.[ CITATION Kum03 \l 10250 ]

La agitación mecánica permite una mezcla íntima del mineral y el lixivante por una paleta giratoria. El mezclador proporciona la velocidad más alta y la mezcla más íntima para llevar a cabo reacciones de lixiviación controladas por difusión[CITATION Kum03 \p 483 \l 10250 ].

#### **2.3.3.1.1.Lixiviación de minerales óxido de cobre.**

La extracción de elementos metálicos que tengan alto ley se procesa por, “lixiviación por agitación para los minerales óxido que tienen una cinética de lixiviación rápida, como los carbonatos, que tienen una ley entre (0.8 a 5% Cu), y minerales o relaves de otros circuitos de lixiviación” (.....). (Baxter, Nisbett, Urbani y Marte, 2008; Kordosky, Feather y Chisakuta, 2008; Reolon, Gazis y Amos, 2009; Roux, van Rooyen, Minnaar, Robles y Cronje, 2010), citado en [CITATION Sch111 \p 303 \l 10250 ].

El proceso de lixiviación por agitación es necesario un previo tratamiento que consiste en una trituración y molienda luego,

El material se lixivia en tanques de agitación, donde las partículas finas del mineral se exponen a la solución lixivante, lo que lleva a una cinética más rápida y, a una mayor recuperación de cobre. La recuperación final del cobre soluble en ácido suele ser superior al 98% de los minerales fácilmente solubles

en ácido, generando un PLS que contiene 2 a12 g / L de Cu (Cognis, 2010) citado en[CITATION Sch111 \p 304 \l 10250 ].

Las pérdidas de los valores en la solución son debido a que no se realiza un lavado eficiente por lo que se debe tener en cuenta,

El funcionamiento eficiente de los circuitos CCD y maximizar la recuperación de cobre, donde es necesario mantener el balance de agua en el circuito. También estos circuitos pueden tener altos costos operativos debido a la necesidad de molienda fina y mayores requerimientos de ácido para el mineral fino, seguido de la necesidad subsiguiente de neutralizar los relaves para su eliminación (Nisbett, Feather y Miller, 2007) citada en [CITATION Sch111 \p 304 \l 10250 ].

En un mundo competitivo dinámico se busca la extracción de elementos de interés en un periodo corto por lo que, “la lixiviación por agitación (técnica intensiva), permite la recuperación de cobre que puede aproximarse al 100% en horas, en lugar de los meses o años que la lixiviación por percolación”[ CITATION Sch111 \l 10250 ].

#### **2.3.3.1.2.Lixiviación de minerales sulfurados de cobre.**

Para el tratamiento de los minerales sulfurados es necesario primero romper los enlaces luego sean solubles por los agentes lixiviantes, para ello se utiliza compuestos oxidantes tanto químico como bacterias que permiten romper los enlaces, los minerales deben cumplir ciertas condiciones para la lixiviación por agitación,

Los sulfuros secundarios con leyes ( $> 6\%$  Cu), se pueden tratar por lixiviación por agitación. El método es similar al descrito para la lixiviación de óxidos, pero se requieren temperaturas elevadas y un agente oxidante, aire (oxígeno) o  $Fe^{3+}$ . El PLS generado a partir de la lixiviación con sulfuro suele

estar más concentrado que el de la lixiviación con óxido de 12 a 25 g / L Cu.

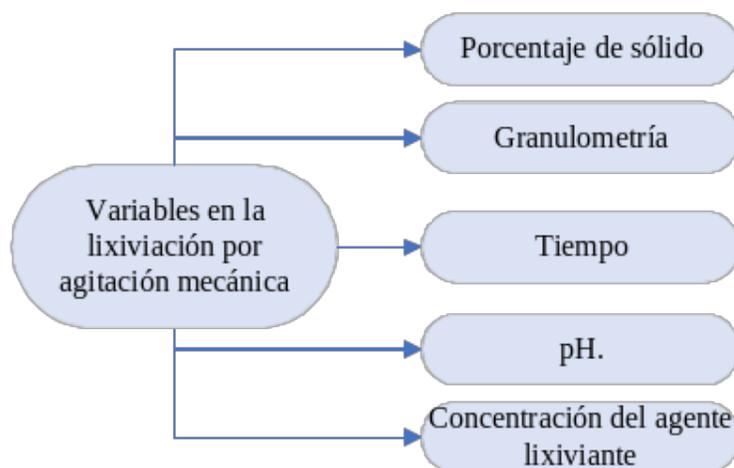
[CITATION Sch111 \p 304 \l 10250 ]

Referente a la extracción la recuperación de cobre tiene un alto grado que varía de 95 a 98% en un periodo de lixiviación que puede estar en menos de 24 horas a varios días, dependiendo de las condiciones de tratamiento.

### 2.3.3.2. Variables del proceso de lixiviación por agitación.

Las variables de la lixiviación por agitación están íntimamente relacionados al proceso de tratamiento y función a la mineralogía y su estado del material y son los siguientes:

*Figura 5 Variables de la lixiviación por agitación*



Nota: Fuente elaborado con los datos [CITATION Ins88 \p 59 \l 10250 ]

#### a) Granulometría.

La liberación de los minerales en el circuito de chancado y molienda antes de la lixiviación es aumentar la superficie de específico del mineral para tener un contacto con el reactivo y aumentar la extracción y velocidad de difusión[ CITATION Ins88 \l 10250 ].

Para la lixiviación dinámica se debe liberar el mineral a tamaño inferior a 1 mm, por consiguientes la liberación nos permite mejorar la extracción en la lixiviación, pero dentro de ciertos limite.

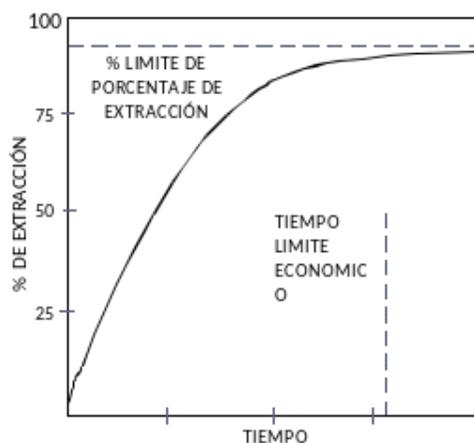
*Tabla 1: Tamaño de algunos minerales para lixiviación por agitación.*

Mineral	Tamaño	
	(mm)	(mallas ASTM)
Cobre oxidado	0.83	20
Oro	0.25	60
Conc. de oro (sulfuros)	0.044	325
Calcinados de Zn	0.074	200

#### b) Tiempo de lixiviación.

En un proceso de lixiviación dinámica es necesario medir el tiempo para una extracción aceptable, es decir la velocidad de disolución y extracción de los elementos de interés.

*Figura 6 Porcentaje de extracción en función del tiempo*

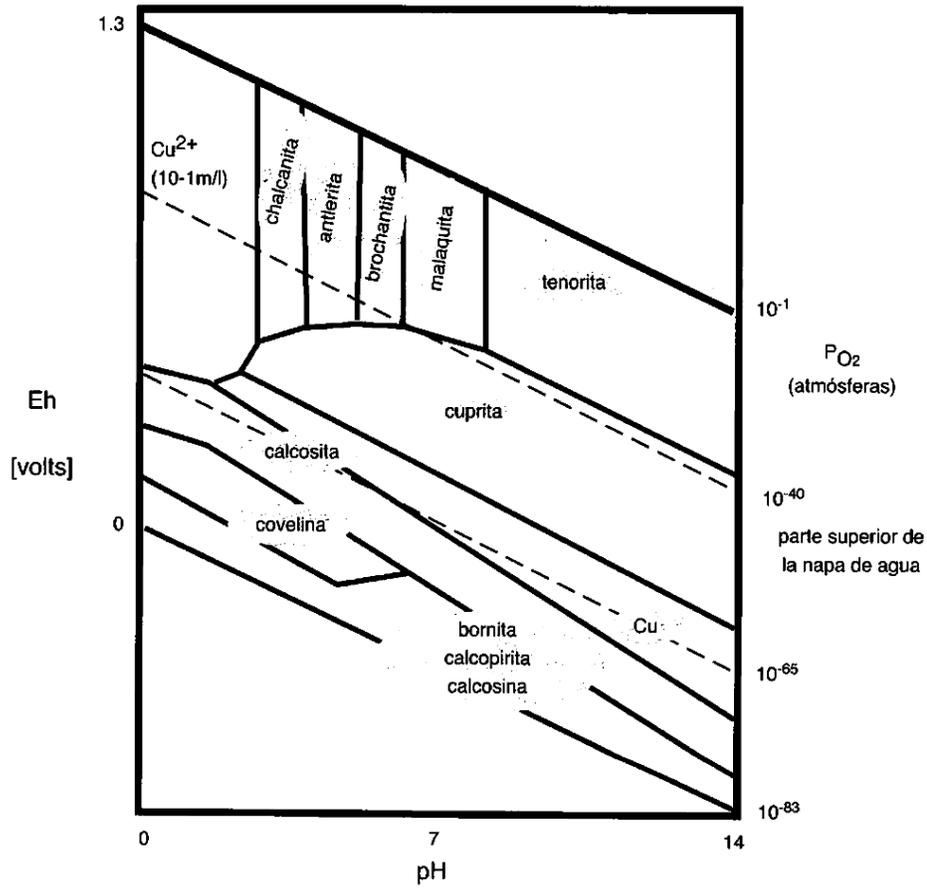


#### c) pH.

El medio de lixiviación da una potencial de hidrogeno o hidroxilado donde el mineral de acuerdo su electronegatividad se debe oxidar o reducir por lo que es necesario, si se trabaja en un medio acido o básico.

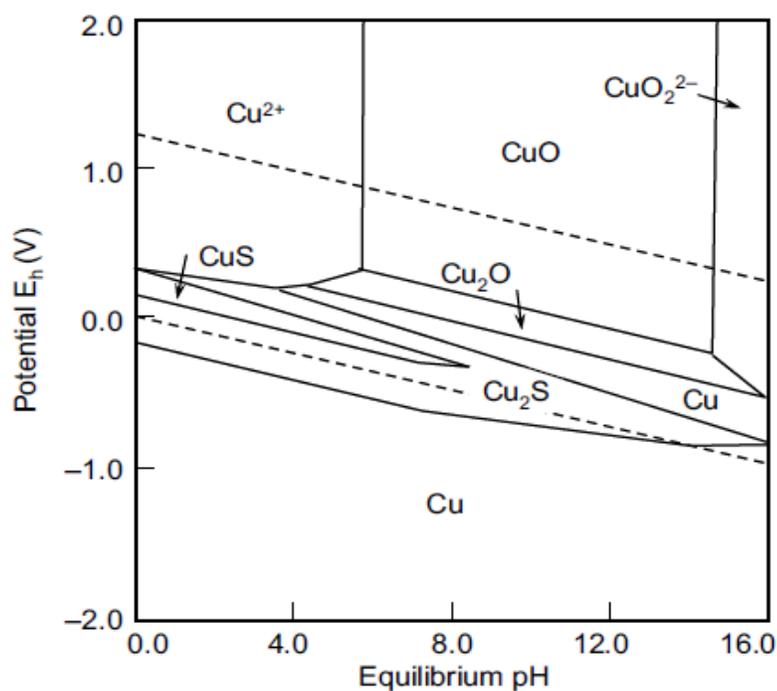
Los “minerales oxidados como el CuO se pueden lixiviar disminuyendo el pH (agregando ácido). Los sulfuros y el cobre nativo requieren un agente oxidante y ácido”. [CITATION Sch111 \p 284 \l 10250 ]

Figura 7 Eh/pH del sistema Cu-S-H<sub>2</sub>O, 25°C



Nota: Fuente [CITATION Dom84 \p 139 \l 10250 ]

Figura 8 Diagrama de Pourbaix de sistema Cu-S-O-H<sub>2</sub>O a 25 °C. [Cu] = [S] = 10<sup>-4</sup> M

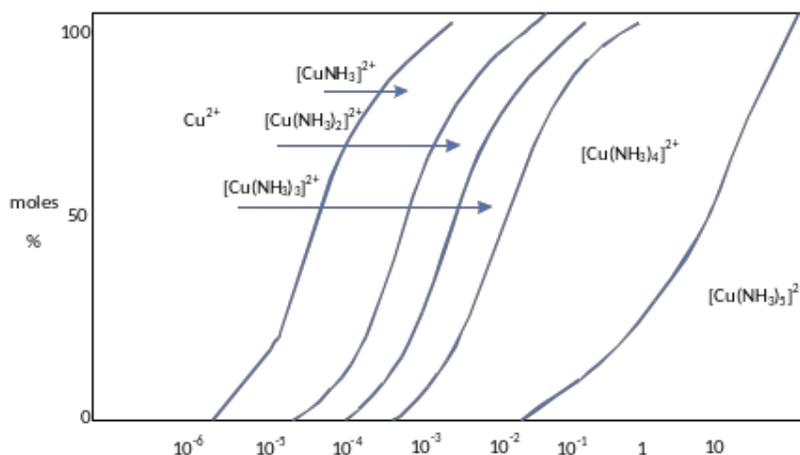


Nota: Fuente (House, 1987) citado en [CITATION Sch111 \p 284 \l 10250 ]

#### d) Concentración de reactivos.

La concentración de los componentes lixiviantes debe ser de acorde la ley del mineral y composición mineralógico, si es inferior a la óptima, se estará comprometiendo la recuperación de cobre, mientras que un incremento de la concentración de las soluciones lixiviantes permite alcanzar mayores recuperaciones del cobre.

Figura 9 Complejos de aminas de cobre formadas en función de concentración Amoniaco



Nota: Fuente [CITATION Dom84 \p 237 \l 10250 ]

#### e) Porcentaje de Sólidos.

En las operaciones de lixiviación en agitación, para una buena mezcla mineral reactivo, es importante que el porcentaje de sólidos en la pulpa varía entre 20 y 50%.

El porcentaje de sólidos se calcula por el peso del mineral en la pulpa.

$$\% \text{ Sólidos} = \frac{1}{1+2} = 33 \%$$

#### 2.3.4. Agentes lixiviantes.

Para la extracción de los elementos metálicos en forma de iones y disociación en el agua se requiere agentes lixiviantes y estos se divide en dos grupos ácidos y base:

Tabla 2 Agentes lixiviantes

Ácidos	Básicos
• Ácido sulfúrico.	• Amoniaco.
• Ácido nítrico, nitroso	• Cianuro
• Ácido clorhídrico.	• Hidróxido de sodio o potasio.
• Ácido cítrico.	• Hipoclorito de sodio.

- 
- Cloro y cloruros.
  - Sulfatos Sulfato férrico
- 

Nota: [ CITATION Ins88 \l 10250 ]

Los minerales de cobre requieren primero la oxidación para luego ser lixiviada, para los minerales de cobre oxidados y carbonatos solo requiere la disociación, mientras que los sulfuros requieren la oxidación y esto depende del tipo de sulfuros.

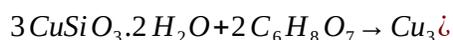
#### 2.3.4.1. Ácido Cítrico.

El ácido cítrico es un sólido incoloro, translucido o blanco, que se presenta en forma de cristales, granular o polvo.

La fórmula molecular del ácido cítrico es  $C_6H_8O_7$ , Su masa molar es de 192,12 g/mol. El ácido cítrico es un alfa-hidroxiácido con un esqueleto de tres carbonos, que tiene tres grupos de ácido carboxílico (COOH), y un grupo hidroxilo (OH).

La liberación de los iones cobre es dependiente del pH del medio, los cítricos proporcionan los iones  $H^+$  requeridos para la solubilización. El cobre divalente,  $Cu^{+2}$ , se liga fuertemente con los ácidos húmicos y fúlvicos, formando complejos con materia orgánica.

Reacción de Crisocola con Ácido Cítrico:



#### 2.4. Definición de términos básicos.

- **Acuosa:** Toda sustancia que sea predominantemente líquida, o que de forma irremediable se encuentre relacionada con ese [estado](#) químico de la [materia física](#).
- **Mena:** Se denomina así a toda acumulación de mineral con contenido valioso recuperable por algún proceso metalúrgico.
- **Mineral:** Es todo compuesto químico inorgánico, que tiene propiedades particulares en cuyo origen no han intervenido los seres

- orgánicos, y se encuentran en lo interior o en la superficie de la tierra, tales como metales, piedras, etc.
- Efluente: Corresponde a un curso de agua, también llamado distributivo,
- que desde un lugar llamado confluencia se desprende de un lago o río como una derivación menor, ya sea natural o artificial.
- Nocivo: Todo aquello considerado como peligroso o dañino para la vida de una persona, de cualquier ser vivo y del ambiente.
- Equipos de Protección Personal: Son elementos de uso individual destinados a dar protección al trabajador frente a eventuales riesgos que puedan afectar su integridad durante el desarrollo de sus labores.
- Organigrama: Es la representación gráfica de la estructura de una empresa o cualquier otra organización.
- Lixiviación: Proceso hidrometalúrgico mediante el cual se provoca la disolución de un elemento desde el mineral que lo contiene para ser recuperado en etapas posteriores mediante electrolisis.
- Gravedad Específica: Relación entre la densidad de una sustancia y la de otra, tomada como patrón, generalmente para sólidos y líquidos se emplea el agua destilada y para gases, el aire o el hidrógeno.
- Picnómetro: Instrumento que permite medir la densidad de un fluido, en referencia a la de un fluido de densidad conocida como el agua o el mercurio.
- Propagación: Es la acción de propagar, es decir, expandir, multiplicar, hacer que algo llegue a los mayores sitios posibles, la palabra se refiere a un efecto.
- Paulatino: Se trata de un adjetivo que refiere a aquello que se desarrolla de una manera lenta y, por lo general, progresiva.
- Granulometría: Es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices.
- Micrón: Es una unidad de medida que representa la milésima porción del milímetro, o sea 0.001 mm, o referido al metro, su millonésima porción.

- Geo Estadística: Rama de la estadística que se especializa en el análisis de la
- variabilidad espacial en ciencias de la tierra. Su objeto de estudio es el análisis y la predicción de fenómenos en espacio y/o tiempo, como: leyes de metales, porosidades, concentraciones de un contaminante, etc.
- Permeabilidad: Es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atravesase sin alterar su estructura interna.
- Porosidad: Es una medida de la capacidad de almacenamiento de fluidos que posee una roca y se define como la fracción del volumen total de la roca que corresponde a espacios que pueden almacenar fluidos.
- Compósito: Material constituido por dos o más integrantes heterogéneos para obtener propiedades no existentes en los materiales componentes.
- Dosificación: Es la cantidad y frecuencia, con que se debe realizar algo, se refiere a la cantidad exacta.
- Agente Lixivante: Sustancia química (cianuro, tiourea, ácido) que tiene la propiedad de disolver selectivamente uno o más elementos presentes en una roca o mineral.
- Socavones: Son galerías de acceso al yacimiento desde el exterior, situadas en la ladera del monte, en las minas subterráneas situadas por encima de nivel del valle. Recibe este nombre, normalmente, la galería inferior de una mina y está situada cerca de la plaza de la mina.
- Titulación: Es un método de [análisis químico cuantitativo](#) en el laboratorio que se utiliza para determinar la [concentración](#) desconocida de un [reactivo](#) conocido.
- Desalinización: La eliminación de la sal del agua del mar o de aguas salobres para producir agua potable, usando varias técnicas.
- Yacimiento: Un criadero más o menos horizontal que sustituye

- Estratiforme: característicamente a un sedimento estratigráfico, generalmente caliza.
- Porfídico: Describe la textura de las rocas ígneas que contienen cristales relativamente grandes, encajados en una [pasta](#) de granulación más fina.
  - Catalítica: Aumento en la velocidad de una reacción química producida por la presencia de una sustancia que es consumida en la reacción química neta.
  - Ley De Cobre: Es el porcentaje de cobre que encierra una determinada muestra. Cuando se habla de una ley de 1% significa que en cada 100kg. De roca mineralizada hay 1 kilo. De cobre puro.
  - Aglomeración: Es el acto de reunir muchos elementos, acoplar o pegar diferentes sustancias o fragmentos de algo.
  - Desimpregnar: Tomar una cosa apartándola de otras, o del lugar en que estaba.
  - Automatización: Es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias o procesos industriales.
  - pH: Es una medida de [acidez](#) o [alcalinidad](#) de una [disolución](#). El pH indica la concentración de iones [hidrógeno](#) [H]<sup>+</sup> presentes en determinadas disoluciones.
  - Aminas: Son sustancias que derivan del amoníaco, un gas que se compone de tres átomos de hidrogeno y un átomo de nitrógeno. Cuando se sustituye al menos uno de los átomos de hidrogeno del amoníaco por radicales aromáticos o alifáticos, se obtiene una amina.
  - Inocuo: Que es inofensivo, que no puede causar daño.
  - Solubilización: Es cuando un compuesto denominado soluto (ya sea sólido, líquido o gaseoso) se disuelve en otro (solvente), es decir, entre los dos pasan a formar una sola fase homogénea (se ve como si solo fuera un solo compuesto) el solvente es el que se encuentra

en mayor cantidad, generalmente es un líquido, los gases son malos solventes, el factor de solubilidad es la cantidad de soluto que se puede disolver en el solvente a cierta temperatura.

- **Ácido Fulvico:** Es una sustancia orgánica soluble en agua, peso molecular que se deriva del humus.

## **2.5. Formulación de hipótesis.**

### **2.5.1. Hipótesis General.**

Con un adecuado control de las variables se podrá realizar el tratamiento de minerales oxidado mediante el empleo de ácido cítrico empleando como disolvente el agua de mar por agitación, para la extracción de cobre a nivel experimental.

### **2.5.2. Hipótesis Específicas.**

- En el tratamiento de lixiviación a los minerales oxidados con una concentración adecuada de ácido cítrico en un determinado tiempo, se tendrá una recuperación optima de cobre.
- En el proceso de lixiviación de minerales oxidados con una concentración del ácido y el tiempo optimo, se tendrá un consumo adecuado de ácido cítrico en función al mineral tratado.

## **2.6. Operacionalización de variables.**

Para las operaciones de las variables en el tratamiento de minerales oxidados se tiene en cuenta la concentración de ácido cítrico, tiempo, granulometría, etc. en función a ello en se extraerá el cobre en forma iónica, donde se medirá la recuperación del cobre y el consumo del ácido en función del mineral.

Tabla 3. Variables

Variable	Concepto	Dimensión	Indicador
	<b>Independiente</b>		
Tratamiento	Es la forma o los medios que se utilizan para llegar a la extracción de cobre en forma iónica, mediante una reacción química.	Medio	- Tiempo - Concentración.
	<b>Dependiente</b>		
Extracción	Es la técnica de separación de los distintos elementos de una mezcla mediante un disolvente, mediante una reacción química.	Mecanismo de medición	- Consumo. - Recuperación.
	<b>Intervinientes</b>		
		Parámetros de control	- Granulometría. - Densidad de pulpa. - pH.

---

- Agitación

---

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Diseño metodológico.

##### 3.1.1. Tipo de Investigación.

El tipo de investigación es experimental por que se caracteriza porque en ella el investigador actúa conscientemente sobre el objeto de estudio, en tanto que los objetivos de estos estudios son precisamente conocer los efectos de los actos producidos por el propio investigador como mecanismo o técnica para probar sus hipótesis[CITATION Ber10 \p 117 \l 3082 ].

**De acuerdo a su naturaleza:** Experimental.

**De acuerdo al propósito o utilización:** Investigación aplicada.

Se realiza investigación experimental y aplicada, en este trabajo ya que se realiza experimental al nivel de laboratorio con un control mínimo para posteriormente aplicar en el proceso de concentración de minerales al nivel industrial.

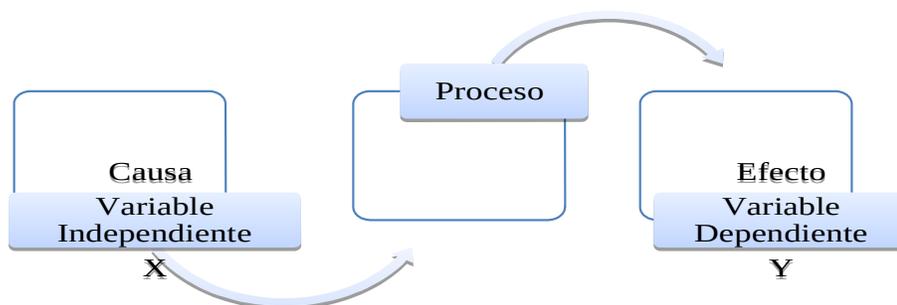
##### 3.1.2. Nivel de Investigación.

Es una investigación nivel predictiva o experimental por que se aplicara métodos y técnicas para mejorar y corregir la situación problemática, que da origen al estudio de investigación[CITATION Car05 \p 42 \l 3082 ].

### 3.1.3. Diseño de la Investigación.

En el presente estudio se aplicará el diseño experimental, ya que se manipulará las variables independientes, para observar su efecto sobre la variable dependiente con una situación de control [CITATION Fer14 \p 129 \l 3082 ].

*Figura 10 Esquema de experimento y variable*



### 3.1.4. Enfoque de la Investigación.

El enfoque del presente estudio es cuantitativo, porque el estudio son variables o fenómenos cuantificables o fácilmente mensurables. “Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base a la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teoría” [CITATION Fer14 \p 3-4 \l 3082 ].

### 3.1.5. Estrategias o procedimientos de contratación de hipótesis o cumplimiento de objetivos técnicos.

Se aplicará las siguientes técnicas de investigación:

- **Técnica de Muestreo.**

Tipo de Muestreo estratificado (incremento).

## **3.2. Población y muestra.**

### **3.2.1. Población.**

Estará representado por el mineral de cobre de la zona de raquia, distrito de raquia, Provincia de Bolognesi Departamento de Ancash.

### **3.2.2. Muestra.**

La muestra para el trabajo de investigación se extraerá aproximadamente 100 kg luego se reducirá el mineral, posteriormente se cuarteará hasta llegar aproximadamente 1 kilo cada muestra para las pruebas y 100 gramos para el análisis.

## **3.3. Técnica de recolección de datos.**

### **3.3.1. Técnicas.**

#### **a. Observación sistemática Directa.**

Se empleará esta técnica para observar el proceso de investigación en el momento que se está desarrollando.

#### **b. Observación Sistemática Indirecta.**

Mediante esta técnica se podrá analizar y estudiar los diversos documentos que contiene información sobre el tema de investigación.

#### **c. Observación experimental.**

Con esta técnica será posible conocer la forma como se desarrollan las actividades en el desarrollo experimental para extraer datos con el fin de procesar posteriormente.

**d. Otras Técnicas.**

Técnica de cuestionario.

**3.3.2. Instrumentos.**

- a. Ficha de observación.
- b. Lista de cotejo.
- c. Escalas libreta de notas.
- d. Filmadora, cámara fotográfica y grabadora.

**3.4. Técnica de procesamiento de la Información.**

Se usará el análisis estadístico, usando programas de cálculo como Excel, SPSS, minitab 18; para luego mostrar la información, mediante tablas, registros, figuras, promedios, medianas, desviación estándar y otros.

**3.5. Aspectos Éticos.**

Todo trabajo de investigación debe ser inédito.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Equipos materiales y reactivos.

##### 4.1.1. Equipos.

Los equipos empleados en las pruebas experimentales desarrollados se describen a continuación.

- Máquina de agitación.
- Estufa para secar muestra.
- Balanza digital hasta 05 kg de capacidad.
- Chancadora de quijada.
- Balanza analítica de 4 dígitos.
- pH metro.
- Cocina.

##### 4.1.2. Materiales.

Los materiales empleados en las pruebas experimentales desarrollados se describen a continuación.

- Vaso precipitado.
- Bureta.
- Matraz volumétrico.
- Picnómetro.
- Gotero.
- Espátula.
- Pipeta.
- Probetas.
- Luna de reloj.
- Pinza para vasos.
- Frasco lavador.
- Malla de asbesto.
- Malla filtro.

### 4.1.3. Reactivos.

Los reactivos usados en las pruebas experimentales desarrollados se describen a continuación.

- Ácido cítrico.
- Ácido nítrico.
- Ácido clorhídrico.
- Ácido Sulfúrico.
- Ácido acético.
- Tiosulfito de sodio.
- Agua destilada.
- Hidróxido de sodio.
- Fenolftaleína.
- Almidón.
- Hidróxido de amonio.
- Bifloruro de amonio.
- Yoduro de potasio.
- Nitrato de plata.

## 4.2. Condiciones para las pruebas experimentales.

### 4.2.1. Mineral.

- Mineral oxidado 1.8 kg.
- Densidad del mineral 2,67 g/cm<sup>3</sup>.
- Ley de cabeza 3,17% de cobre.
- las pruebas de molienda tiempo 5,10,15 y 20 minutos.

*Figura 11 Mineral para la parte experimental*

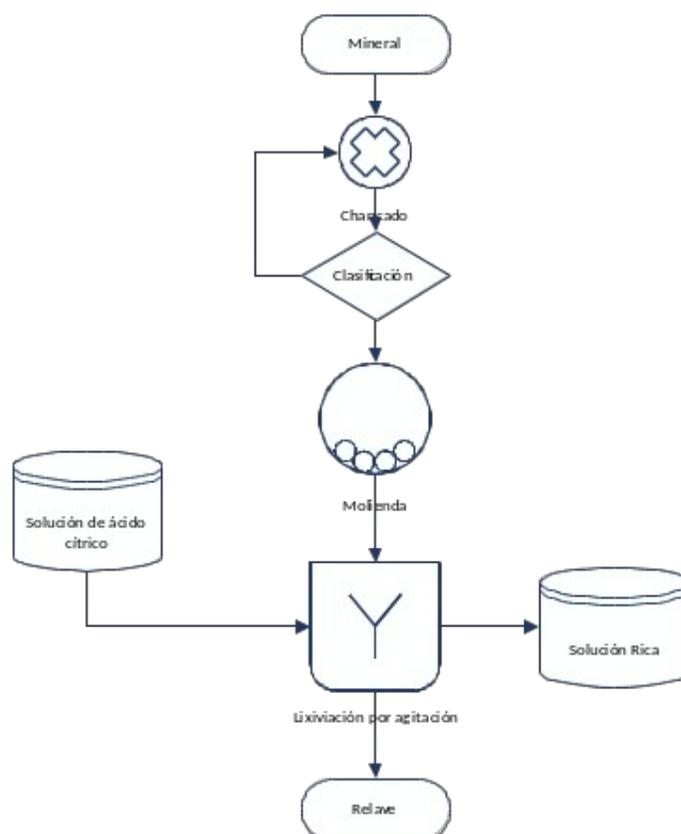


los minerales presentes en la muestra tenemos la malaquita, crisocola, cuarzo, etc.

#### 4.2.2. Diagrama de la prueba experimental.

El diagrama del proceso de la parte experimental desarrollada se describe en la figura 12 que a continuación se presenta.

Figura 12 Diagrama del proceso experimental realizado



Nota: Fuente diseñado en función de las pruebas experimentales

En la figura 12 se detalla el proceso realizado en la parte experimental que consiste el material extraído de mina se trae en sacos de 25 kilos las cuales se pasan a la chancado y se clasifican con la malla 10 el pasante es el producto y que se rechaza se retorna a la al chancado. El mineral malla -10 se cuarte y se realiza la molienda y el producto se lixivía con ácido cítrico, el producto de la lixiviación se obtiene dos productos solución rica y relave.

### 4.3. Resultados

#### 4.3.1. Moliendabilidad.

La molienda del mineral en el tiempo de 5, 10, 15 y 20 minutos como resultado se calcula pasante a la malla 200 como se aprecia en la tabla 4.

*Tabla 4 Moliendabilidad del mineral*

N°	Tiempo (min)	%-200m
1	0	10,81
2	5	36,67
3	10	56,06
4	15	73,25
5	20	83,17

Nota: Fuente de la prueba de molienda experimenta

De la tabla 4 la liberación del mineral pasante a la malla 200 abertura 74  $\mu\text{m}$  se tiene que el mineral antes de la molienda pasante a malla 200 tiene el 10.81%, después de la molienda durante 5 minutos se tiene pasante 36.67%, para 10 minutos pasa el 56.06%, para 15 minutos 73.25% y para 20 minutos el 83.17%.

### 4.3.2. Extracción de cobre en la solución lixiviada.

La extracción del cobre en la solución en gramos por litro el tiempo se aprecia en la tabla 5 que se muestra a continuación.

*Tabla 5 Extracción del cobre en g/l en el tiempo*

N°	Tiempo hora	Cu (g/l)
1	0,0	0,00
2	1,5	1,71
3	2,0	2,12
4	3,0	2,52
5	4,0	3,13
6	4,5	3,80
7	5,0	4,39
8	8,0	7,73
9	9,0	8,11
10	18,0	13,03
11	20,0	13,41
12	24,0	13,50

Nota: Fuente de la extracción de cobre de las pruebas experimentales

De la tabla 5 se aprecia que en 1.5 horas la concentración del cobre es de 1.71 g/l de cobre, en 2 horas 2.21 g/l, 3 horas 2.52 g/l, en 4 horas 3.13 g/l, en 4.5 horas 3.8 g/l, en 5 horas 4.39 g/l, en 8 horas 7.73 g/l, en 9 horas 8.11 g/l, en 18 horas es de 13.03 g/l, para 20 horas es de 13.41 g/l y 24 horas es de 13.5 g/l de cobre.

### 4.3.3. Consumo de ácido cítrico.

El consumo del ácido cítrico se detalla en la tabla 6 en función del tiempo para la prueba experimental por agitación.

*Tabla 6 Consumo de acido citrico en la pruebas experimentales.*

N°	Tiempo hr	F sol. g/l	Agregar g/l
1	0,00	0,00	0,00
2	1,5	0,88	6,78
3	2,0	5,60	2,06

4	3,0	4,99	2,67
5	4,0	5,00	2,66
6	4,5	5,00	2,66
7	5,0	5,05	2,61
8	8,0	4,83	2,83
9	9,0	5,00	2,66
10	18,0	4,98	2,68
11	20,0	5,10	2,56
12	24,0	5,17	2,49

Nota: Fuente consumo del ácido cítrico en las pruebas experimentales

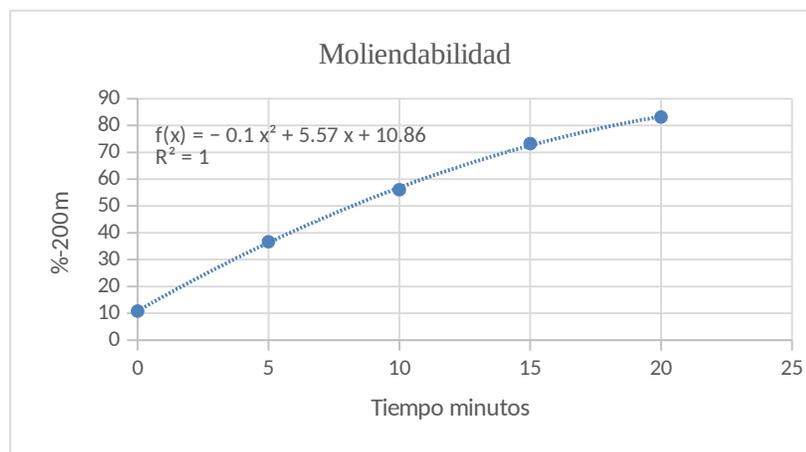
De la tabla 6 se aprecia el consumo del ácido cítrico en el tiempo es en 1.5 horas es de 6.78 g/l, en 2 horas 2.06 g/l, 3 horas 2.67 g/l, en 4 horas 2.66 g/l, en 4.5 horas 2.66 g/l, en 5 horas 2.61 g/l, en 8 horas 2.83 g/l, en 9 horas 2.66 g/l, en 18 horas es de 2.68 g/l, para 20 horas es de 2.56 g/l y 24 horas es de 2.49 g/l de cobre.

#### 4.4. Cálculos de los resultados.

##### 4.4.1. Liberación del mineral.

La curva de la liberación del mineral en función al tiempo se aprecia en la figura 11 para una malla pasante a la malla 200.

Figura 13 Curva de moliendabilidad del mineral



Nota: Fuente procesado en Excel los resultados de la molienda de las pruebas experimentales

De la figura 13 la curva de la liberación del mineral pasante a la malla 200 en función al tiempo tiene un coeficiente de correlación de 0. 9998 y representado por el modelo matemático de la liberación:  $(\%-200m) = -0,0974(\text{minuto})^2 + 5,5734(\text{minuto}) + 10,863$ , para una liberación de 80% pasante a la malla 200 se tiene un tiempo de 18.182 minutos.

Tabla 7 Proyección de la moliendabilidad del mineral

Nº	Tiempo (min)	%-200m	%-200m Proy
1	0	10,81	10,863
2	5	36,67	36,295
3	10	56,06	56,857
4	15	73,25	72,549
5	20	83,17	83,371

Nota: Fuente procesado en Excel proyección de la liberación del mineral

De la tabla 7 se aprecia la proyección de la liberación del mineral pasante a la malla 200 abertura  $74 \mu\text{m}$ , se tiene que el mineral antes de la molienda pasante a la malla 200 tiene el

10.863%, después de la molienda durante 5 minutos se tiene pasante 36.295%, para 10 minutos pasa el 56.857%, para 15 minutos 72.549% y para 20 minutos el 83.371%.

#### 4.4.2. Extracción y recuperación del cobre.

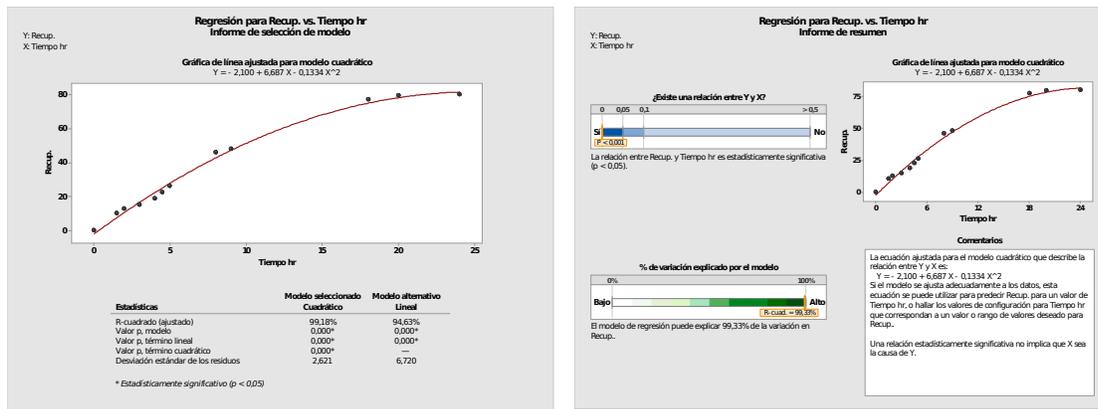
La recuperación del cobre en la lixiviación con ácido cítrico en el tiempo y la concentración del cobre en la solución se muestra en la tabla 8 que se muestra a continuación.

*Tabla 8 Recuperación del cobre en el tiempo*

N°	Tiempo hr	C (g/l)	g Cu	Recup.
1	0,0	0,00	0,00	0,00
2	1,5	1,71	5,85	10,10
3	2,0	2,12	7,25	12,52
4	3,0	2,52	8,62	14,89
5	4,0	3,13	10,70	18,49
6	4,5	3,80	13,00	22,45
7	5,0	4,39	15,01	25,93
8	8,0	7,73	26,44	45,66
9	9,0	8,11	27,74	47,91
10	18,0	13,03	44,56	76,97
11	20,0	13,41	45,86	79,21
12	24,0	13,50	46,17	79,74

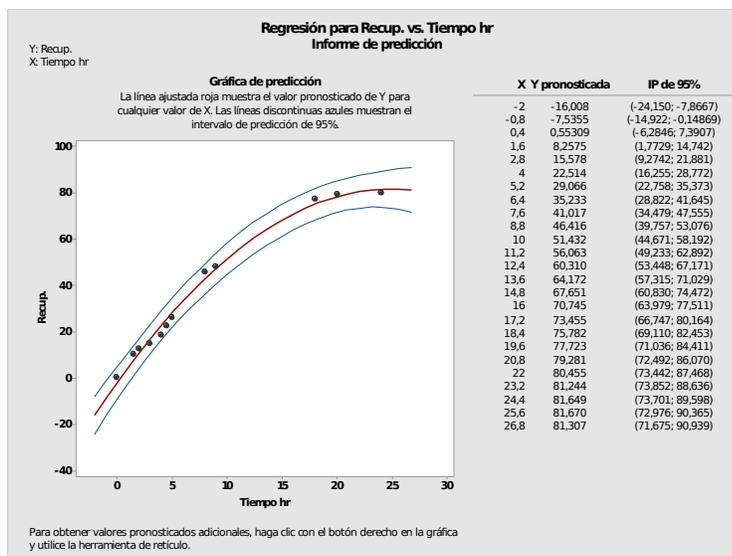
De la tabla 8 la recuperación del cobre en función del tiempo es en 1.5 horas es de 10.10%, en 2 horas 12.52%, 3 horas 14.89%, en 4 horas 18.49%, en 4.5 horas 22.45%, en 5 horas 25.93%, en 8 horas 45.66%, en 9 horas 47.91%, en 18 horas es de 76.97%, para 20 horas es de 79.21% y 24 horas es de 79.74% de cobre.

Figura 14 Curva de recuperación del cobre en el tiempo



En la figura 14 la línea ajustada para el modelo es la cuadrática con un coeficiente de correlación de 0,97528122 con una desviación estándar de 2.621 frente al lineal de 6.72, estadísticamente significativo  $p < 0.05$ , representado con el modelo matemático de  $(\% \text{Recuperación Cu}) = -0.1334(\text{horas})^2 + 6.687(\text{horas}) - 2.10$ .

Figura 15 Predicciones de la recuperación del cobre en el tiempo



De la figura 15 para un intervalo de predicciones de la recuperación de cobre para confiabilidad del 95%, están dentro de los límites de control llegando una recuperación máxima en 25.6 horas una recuperación de 81.67%.

#### 4.4.3. Consumo de ácido cítrico.

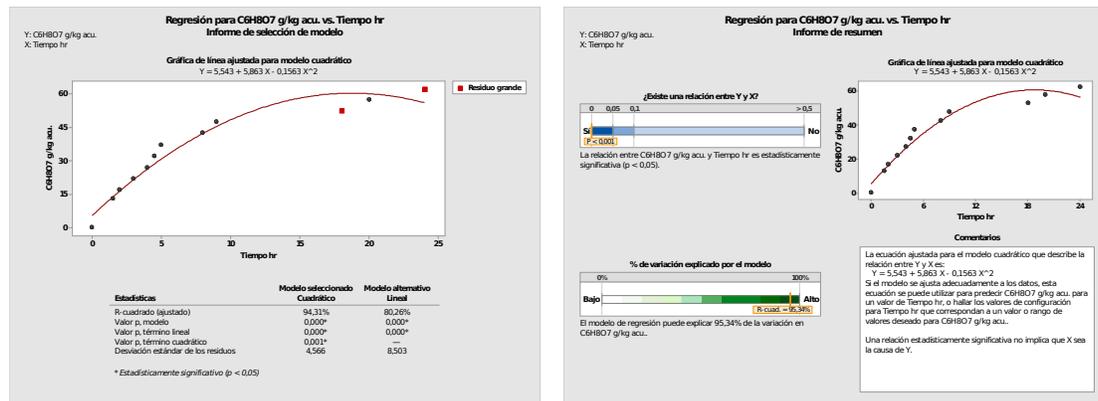
El consumo del ácido cítrico en la extracción del cobre del mineral en gramos por kilogramo de mineral o kilos por tonelada de mineral se describe en la tabla 9 que se presenta a continuación.

*Tabla 9 Consumo de ácido cítrico en la extracción de cobre*

N°	Tiempo hr	Agregar g/l	g	g/Kg	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> g/kg acu.
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1,5	6,78	23,20	12,89	12,89
3	2,0	2,06	7,04	3,91	16,80
4	3,0	2,67	9,13	5,07	21,88
5	4,0	2,66	9,09	5,05	26,93
6	4,5	2,66	9,11	5,06	31,99
7	5,0	2,61	8,93	4,96	36,95
8	8,0	2,83	9,69	5,38	42,34
9	9,0	2,66	9,09	5,05	47,39
10	18,0	2,68	9,17	5,09	52,48
11	20,0	2,56	8,75	4,86	57,34
12	24,0	2,49	8,50	4,72	62,07

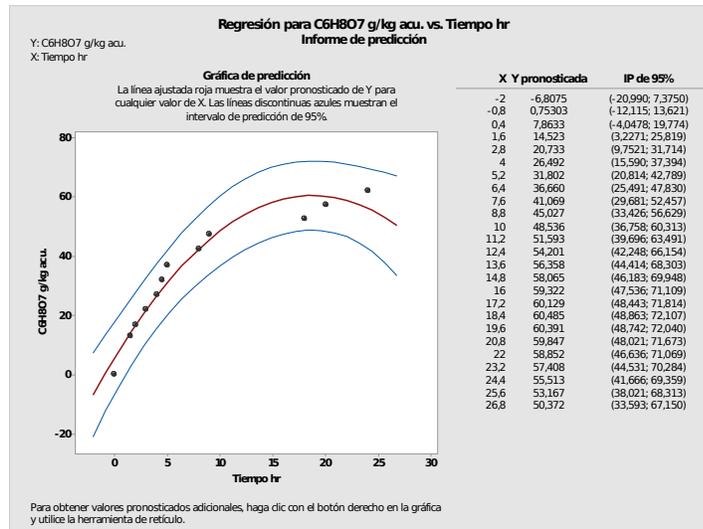
De la tabla 9 el consumo de ácido cítrico en función del tiempo es en 1.5 horas es de 12.89 g/kg, en 2 horas 16.80 g/kg, 3 horas 21.88 g/kg, en 4 horas 26.93 g/kg, en 4.5 horas 31.99 g/kg, en 5 horas 36.95 g/kg, en 8 horas 42.34 g/kg, en 9 horas 47.39 g/kg, en 18 horas es de 52.48 g/kg, para 20 horas es de 57.34 g/kg y 24 horas es de 62.07 g/kg de mineral.

Figura 16 Consumo de ácido cítrico en el tiempo



En la figura 16, para el consumo de ácido cítrico, representada para la línea ajustada de modelo cuadrática con un coeficiente de correlación de 0,97113336 con una desviación estándar de 4.566 frente al lineal de 8.503, estadísticamente significativo  $p < 0.05$ , con una confiabilidad del 95.34%, y representado con el modelo matemático del consumo del ácido cítrico respecto al mineral  $(\text{Consumo g/kg}) = -0.1563(\text{horas})^2 + 5.863(\text{horas}) + 5.543$ .

Figura 17 Predicciones del consumo de ácido cítrico en el tiempo



De la figura 17 para un intervalo de predicciones del consumo del ácido cítrico para una confiabilidad del 95%, están dentro de los límites de control llegando un consumo máximo en 18.4 horas un consumo de 60.485 g/kg o kg/TM.

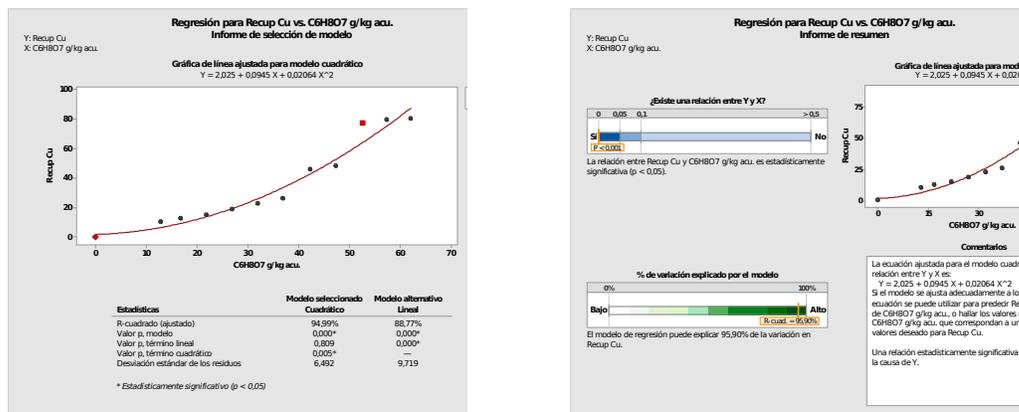
#### 4.4.4. Recuperación del cobre en función del consumo del ácido cítrico

*Tabla 10 Recuperación del cobre en función del consumo del ácido cítrico*

<u>g/kg Ac. Cítrico</u>	<u>Cu g/l</u>	<u>Recup Cu</u>
0,00	0,00	0,00
12,89	1,71	10,10
16,80	2,12	12,52
21,88	2,52	14,89
26,93	3,13	18,49
31,99	3,80	22,45
36,95	4,39	25,93
42,34	7,73	45,66
47,39	8,11	47,91
52,48	13,03	76,97
57,34	13,41	79,21
62,07	13,50	79,74

De la tabla 10 la recuperación del cobre en función del consumo del ácido cítrico es cuando se consume 12.89 g/kg la recuperación es de 10.10%, si el consume 16.80 g/kg la recuperación es de 12.52%, si el consume 21.88 g/kg la recuperación es de 14.89%, si el consume 26.93 g/kg la recuperación es de 18.49%, si el consume 31.99 g/kg la recuperación es de 22.45%, si el consume es 36.95 g/kg la recuperación es de 25.39%, el consume 42.34 g/kg la recuperación es de 45.66%, si el consume 47.39 g/kg la recuperación es de 47.91%, si el consume es 52.48 g/kg la recuperación es de 76.97%, si el consume es 57.34 g/kg la recuperación es de 79.21%, si el consume es 62.07 g/kg la recuperación es de 79.74%.

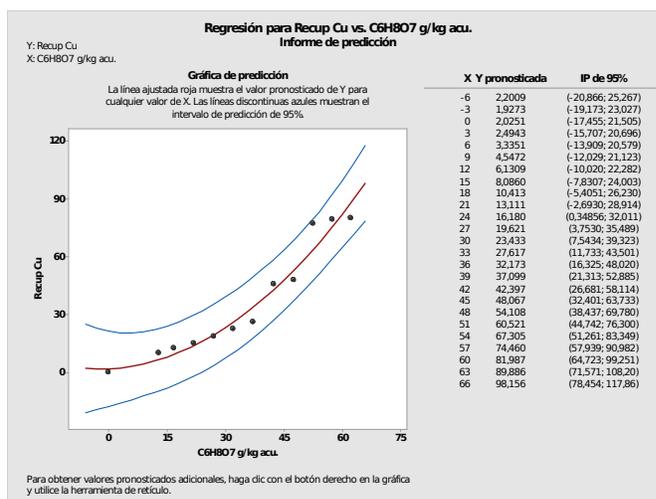
Figura 18 Recuperación del cobre en función del consumo de ácido cítrico por kilogramo de mineral



Nota: Fuente minitab 18 procesado con datos de la parte experimental.

En la figura 18, para la recuperación del cobre en función al consumo de ácido cítrico, representada para la línea ajustada de modelo cuadrática, con un coeficiente de correlación de 0,97462813 con una desviación estándar de 6.492 frente al lineal de 9.719, estadísticamente significativo  $p < 0.05$ , con una confiabilidad del 95.90%, y representado con el modelo matemático de la recuperación del cobre en función del consumo del ácido cítrico respecto al mineral (**% Recup. Cu**) =  $0.02064(\text{g/kg})^2 + 0.0945(\text{g/kg}) + 2.025$ .

Figura 19 Proyección de la recuperación del cobre en función del consumo de ácido cítrico por kilogramo de mineral



*Nota: Fuente minitab 18 procesado con datos de la parte experimental.*

De la figura 19 para un intervalo de predicciones de la recuperación del cobre en función del consumo del ácido cítrico respecto al mineral para una confiabilidad del 95%, están dentro de los límites de control llegando una recuperación máxima de 98.195% cuando 66 g/kg de ácido cítrico respecto al mineral.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Discusión.

A continuación, sobre tratamiento de minerales oxidado mediante ácido cítrico empleando como disolvente el agua de mar por agitación para la extracción de cobre a nivel experimental, se realiza el análisis de los resultados obtenidos de las pruebas experimentales mediante lixiviación acida para la extracción de cobre.

Para un mineral de compuesto de malaquita y crisocola en su mayor porcentaje con una ley de cabeza de 3.17% de cobre para el 80% pasante a la malla 200m, en la molienda se determinó la liberación en un periodo de 5, 10, 15 y 20 minutos, donde se tiene una relación matemática de  $(\%-200m) = -0,0974(\text{minuto})^2 + 5,5734(\text{minuto}) + 10,863$ , de donde se determinó que en 18.182 minutos el 80% pasa la malla 200, en la extracción de cobre se realiza una extracción de 24 horas donde la concentración del cobre en la solución es de 13.5 g/l y un porcentaje de recuperación de cobre de 79.74%, para la recuperación el modelo matemático cuadrática es la más adecuado con un coeficiente de correlación de 0.97528, con una desviación estándar de 2.621, estadísticamente significativo  $p < 0.05$  representado por  **$(\% \text{Recuperación Cu}) = -0.1334(\text{horas})^2 + 6.687(\text{horas}) - 2.10$** . con una recuperación ajusta predicha, con una confiabilidad del 95% está dentro de los límites de control llegado a una recuperación máxima de 81.67% en un periodo de 25.6 horas.

En el consumo del ácido cítrico en un tiempo de 24 horas se consume 62.07 g/kg de mineral, representado con una línea de ajustada de modelo cuadrática con un coeficiente correlación de 0.9711, con una desviación estándar de 4.566, estadísticamente significativa  $p < 0.05$  representado por  **$(\text{Consumo g/kg}) = -0.1563(\text{horas})^2 + 5.863(\text{horas}) + 5.543$** . El consumo del

ácido cítrico frente al mineral proyectada con una confiabilidad del 95% está dentro de los límites de control y el máximo consumo es de 60.485 g/kg de mineral en 18.4 horas.

El consumo de ácido cítrico en función de la recuperación del cobre representado por la línea ajustada de modelo cuadrática, con un coeficiente de correlación de 0.9746 con una desviación estándar de 6.492, es estadísticamente significativa  $p < 0.05$ , representado por (**% Recup. Cu**) =  $0.02064(\text{g/kg})^2 + 0.0945(\text{g/kg}) + 2.025$ , con una confiabilidad de 95% está dentro de los límites de control llegándose a una recuperación máximo proyectada de 98.195% con un consumo de 66 g/kg de ácido cítrico por kilogramo de mineral.

Respecto los trabajos realizados por [CITATION Bar07 \y \l 3082 ] sobre, comportamiento de la recuperación de cobre en una pila de lixiviación a condiciones ambientales extremas “La baja conductividad del mineral ayuda que el proceso sea factible y que no se congele la solución para realizar la lixiviación. No calentar a más de 10°C la solución lixivante en periodo invernal, sino se producen pérdidas económicas”.

[CITATION Sar12 \y \l 3082 ], sobre la lixiviación fúngica de cobre a partir de minerales del distrito minero portovelo – zaruma – minas nuevas, “La tasa máxima de Cu disuelto por lixiviación química obtenida fue de 228.00 ppm, usando los datos de ácido cítrico obtenidos de la C4 a los 14 días en lixiviación biológica”.

[CITATION Gui17 \y \l 3082 ], sobre factibilidad técnica de la aglomeración y posterior lixiviación de minerales oxidados, sulfurados y mezclas con cloruro de sodio y sulfato férrico, “El uso de  $\text{Fe}^{+3}$  en la aglomeración se ve un importante incremento en la sulfatación del mineral ARC 6, debido a que este actúa como un oxidante aumentando la cinética de extracción de los minerales sulfurados”.

[CITATION Sar12 \y \l 3082 ] sobre la “Influencia del pH y la concentración del ácido cítrico en la lixiviación por agitación de minerales oxidados de cobre tipo crisocola del distrito de salpo - la libertad”, “Según el análisis estadístico con un nivel de confianza de 95%, el análisis de

varianza ratifica que las dos variables (pH, granulometría) de estudio influyen significativamente y que sus interacciones influyen, pero en menor proporción en el proceso de extracción de Cu de la crisocola”.

[CITATION Chu14 \y \l 3082 ] sobre, optimización del proceso de aglomeración y lixiviación en una planta de lixiviación de cobre. “El consumo de ácido sulfúrico durante la aglomeración depende principalmente del porcentaje de cobre soluble en ácido (%CuSAc), fierro oxidado (%FeOx) y carbonatos ( $\%CO_3^{2-}$ ), contenidos en el mineral oxidado de cobre chancado, de acuerdo al modelo matemático”.

[CITATION MarcadorDePosición1 \y \l 3082 ], sobre Influencia del tipo y concentración del agente lixivante en la extracción de cobre mediante lixiviación por agitación de un mineral tipo crisocola. “La concentración de agente lixivante (ácido cítrico) tiene un efecto significativo en la extracción de cobre, y de acuerdo a los resultados, la extracción de cobre incrementa con el aumento de la concentración de agente lixivante”.

Para [CITATION Gut69 \y \l 3082 ], sobre evaluación del proceso de lixiviación en medio básico para minerales oxidados de cobre. “El tartrato en la extracción de  $Cu^{2+}$  en medio básico es importante, la concentración de 8% ión tartrato, pH de solución 13.7 y tiempo de 25 días presentaron relación directa en la extracción del cobre lográndose recuperaciones de 92.28%”.

[CITATION Aza1 \y \l 3082 ] , sobre Lixiviación de minerales de cobre con agua de mar. “Actualmente, la lixiviación de minerales de baja ley en montones mediante el uso de agua de mar es una opción económica para superar escasez que enfrentan muchas mineras situadas cerca del mar, ahorrando costos de extracción de agua dulce”.

## 5.2. Conclusiones.

en el estudio sobre, tratamiento de minerales oxidado mediante ácido cítrico empleando como disolvente el agua de mar por agitación para la extracción de cobre a nivel experimental, se llegó a las siguientes conclusiones:

A una granulometría de malla #200 (74  $\mu\text{m}$ ) pasante, con agitación durante 24 horas, con pH variable de 1 a 3 se obtiene 79,74% de extracción de cobre. El proceso de liberación de minerales está íntimamente ligado a la trituración, para generar una mayor liberación del mineral, para que tenga un contacto óptimo con el agente lixivante.

La eficiencia de moliendabilidad en el mineral oxidado de cobre está en un promedio de liberación de 80% en 18.182 min y el mineral responde favorablemente por agitación con Ácido cítrico, utilizando un tamaño de partícula a malla #-200, alcanzando un 79,74% de extracción de cobre en 24 horas.

El mineral con los parámetros trabajados, dependiendo del tonelaje y las condiciones es susceptible de beneficios por el método de lixiviación con ácido cítrico. A mayor tiempo de agitación, mayor extracción de Cu y consumo de ácido, pero tiende a un límite.

En la prueba de lixiviación por agitación durante las 24 horas de extracción se tiene una concentración de la solución de 13,50 g/L de cobre con una extracción de 79,74% y un consumo de solución extraente de 62,07 g/kg.

En la proyección de la extracción de cobre se puede llegar en 25.6 horas a obtener una recuperación teórica de 81.67 %.

En la proyección del consumo del ácido en la extracción de cobre se puede llegar en 66.00 g/kg, obtener una recuperación teórica de 98.156 %.

En la extracción del cobre, es estadísticamente significativa  $p > 0.05$ , todos los datos obtenidos de las pruebas experimentales tanto para el consumo, concentración, recuperación y con relación al tiempo y consumo del ácido cítrico con la recuperación.

Con el presente estudio, se propone un nuevo proceso de tratamiento para los minerales oxidados de cobre empleando el ácido cítrico como agente lixivante.

### **5.3. Recomendaciones.**

En función del trabajo de investigación sobre, tratamiento de minerales oxidado mediante ácido cítrico empleando como disolvente el agua de mar por agitación para la extracción de cobre a nivel experimental se llega a las siguientes conclusiones:

En el transcurso de los meses en el laboratorio la experiencia vivida y aprendida para mejorar las próximas investigaciones sobre lixiviación de mineral oxidado de cobre por agitación con agua de mar se debe tener en cuenta el consumo de ácido cítrico para una recuperación de cobre más óptima y una agitación constante durante todo el proceso de lixiviación.

Se debe tener cuidado con el tamaño del mineral triturado; puesto que un mal tamaño de mineral triturado afecta en la molienda, mientras hay un buen tamaño de granulometría mejor será el proceso de lixiviación por agitación.

Se recomienda hacer pruebas de electrodeposición directa de las soluciones cargas con citrato de cobre, buscando optimizar la variable de electrodeposición y analizar la pureza del cobre depositado.

Con respecto a la seguridad y salud del centro de investigación de ingeniería metalúrgica, se deben respetar los parámetros de seguridad y utilizar correctamente los equipos de protección persona (EPP). Se debe tener cuidado con la preparación de reactivos utilizando los EPP correctos puesto que muchos de estos en especial los ácidos irritan la vista además de producir quemaduras.

## BIBLIOGRAFÍA

Instituto tecnológico geominero de españa. (1988). *Minería química*. Madrid: Artes graficos MV S.A.

Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación* . Chía: Pearson.

Carrasco, S. (2005). *Metodología de la investigación científica* . Lima: San marcos.

Castellón, C. (2016). Lixiviación de minerales de cobre con agua de mar. *Geomimet Asociación de ingenieros de minas, metalurgista y geologicos de mexico A.C*, 25. Obtenido de Sistema birtual y biblioteca central: [http://www.geomin.com.mx/revista/G\\_324.pdf](http://www.geomin.com.mx/revista/G_324.pdf)

Chavez, E., & Sarmiento, A. (2015). evaluación del proceso de lixiviación en medio básico para minerales oxidados de cobre. *REV. INVESTIG. ALTOANDIN*, 415. Obtenido de <file:///C:/Users/JOAQUIN/Downloads/154-250-1-PB.pdf>

Cordova, J., & Campos, E. (2016). Influencia del tipo y concentración del agente lixivante en la extracción de cobre mediante lixiviación por agitación de un mineral tipo crisocola. *Titulo ingeniero metalurgista*. Universidad de trujillo, Trujillo. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8755/Cordova%20Marchand%20Johel%20Anthony%3b%20Campos%20Bail%C3%B3n%20Elvis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Espinoza, M., & Ludeña, K. (2014). lixiviación fúngica de cobre a partir de minerales del distrito minero portovelo – zaruma – minas nuevas. *Titulo ingeniero químico*. Universidad trujillo, Trujillo. Obtenido de

[http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1843/3/UTPL\\_Espinosa\\_Armijos\\_Mayra\\_Fernanda\\_1049729.pdf](http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1843/3/UTPL_Espinosa_Armijos_Mayra_Fernanda_1049729.pdf)

Esteba, M., & Domic, M. (2001). *Hidrometalurgia fundamento procesos y aplicaciones*. Santiago.

Fernandez, C. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F: Mc Gram Hill .

Havlík, T. (2008). *Hidrometalurgia Principios y aplicaciones*. Boca Raton: CRC Press.

Kumar, C. (2003). *Chemical Metallurgy: Principles and Practice*. . Mumbai: WILEY-VCH.

Miranda, N. (2012). factibilidad técnica de la aglomeración y posterior lixiviación de minerales oxidados, sulfurados y mezclas con cloruro de sodio y sulfato férrico. *Titulo ingeniero civil en metalurgia extractiva*. Pontificia uiversidad catolica de valparaiso, Valparaiso. Obtenido de [http://opac.pucv.cl/pucv\\_txt/txt-5500/UCF5621\\_01.pdf](http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-5500/UCF5621_01.pdf)

Navarro, P., & Manzor, R. (2017). Lixiviación de un concentrado calcopiritico de cobre en medio acido con presencia de iones cloruro. *Revista científica universidad santiago de chile*, 29. Obtenido de Conferencia internacional de mineria: [www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/remetallica/article/download/3179/2899](http://www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/remetallica/article/download/3179/2899)

Schlesinger, M., King, M., Sole, K., & Davenport, W. (2011). *Hydrometallurgical Copper Extraction* (5ta ed.). Amsterdam: Elsevier Ltd.

Surco, M. (2012). optimización del proceso de aglomeración y lixiviación en una planta de lixiviación de cobre. *Titulo ingeniero químico*. Universidad de ingeniería, Lima. Obtenido de [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1355/1/surco\\_am.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1355/1/surco_am.pdf)

Zavala, M. (2013). comportamiento de la recuperación de cobre en una pila de lixiviación a condiciones ambientales extremas. *Titulo ingenero civil químico*. Pontificia

universidad catolica de valparaiso, valparaiso. Obtenido de  
[http://opac.pucv.cl/pucv\\_txt/txt-3000/UCE3009\\_01.pdf](http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-3000/UCE3009_01.pdf)

## **ANEXOS**

Anexo 1 Localización del centro de investigación FIQyM

Localización de la UNJFSC



Localización del P. Sacracancha



Mapa Provincia de Huaura



Mapa Departamento Lima



Mapa del Perú



## Anexo 2 Matriz de consistencia general

	Titulo	Problema Generales	Objetivos General	Hipótesis General	Variable Independiente	Indicadores
"TRATA MIENTO DE		- ¿En qué medida el tratamiento	de el - Evaluar de tratamiento	- Con un adecuado control de las variables se podrá	Tratamiento	- Tiempo - Concentración.

Anexo 3 Matriz de consistencia específico

Titulo	Problema Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Variable Depend.	Indicad.
TRATAM IENTO DE	✓ ¿En qué medida el tratamiento por lixiviación a los minerales oxidados con	✓ Evaluar el tratamiento de lixiviación a los minerales oxidados con una concentración	✓ En el tratamiento de lixiviación a los minerales oxidados con una concentración	Extracción	Consumo. Recuperación.

*Anexo 4 : Análisis Granulométrico en 5 min.*

Malla	Abertura (u)	Peso (g)	%Peso	G(x)	F(x)
50	300	13,35	8,56	8,56	91,44
70	212	9,82	6,295	14,85	85,15
100	150	21,02	13,474	28,33	71,67
140	106	28,1	18,013	46,34	53,66
200	75	27,37	17,545	63,88	36,12
-200	0 - 50 mm	56,34	36,115	100,00	0,00
Total		156			

*Anexo 5: Análisis Granulométrico en 10 min.*

Malla	Abertura (u)	Peso (g)	%Peso	G(x)	F(x)
50	300	18,78	12,00	12,00	88,00
70	212	4,51	2,883	14,89	85,11
100	150	4,64	2,966	17,85	82,15
140	106	21,38	13,666	31,52	68,48
200	75	25,11	16,050	47,57	52,43
-200	0 - 50 mm	82,03	52,432	100,00	0,00
Total		156,45			

*Anexo 6: Análisis Granulométrico en 15 min.*

Malla	Abertura (u)	Peso (g)	%Peso	G(x)	F(x)
50	300	1,82	1,16	1,16	98,84
70	212	1,79	1,139	2,30	97,70
100	150	3,44	2,188	4,48	95,52
140	106	12,11	7,703	12,19	87,81
200	75	20,78	13,217	25,40	74,60
-200	0 - 50 mm	117,28	74,596	100,00	0,00
Total		157,22			

*Anexo 7: Análisis Granulométrico en 20 min.*

Malla	Abertura (u)	Peso (g)	%Peso	G(x)	F(x)
50	300	2,1	1,35	1,35	98,65
70	212	3,92	2,522	3,87	96,13
100	150	4,14	2,663	6,54	93,46
140	106	7,68	4,941	11,48	88,52
200	75	13,2	8,492	19,97	80,03
-200	0 - 50 mm	124,4	80,031	100,00	0,00
Total		155,44			

*Anexo 8 Chancado y pulverizado de muestra*



*Anexo 9 Pulverizado y secado de muestra*



*Anexo 10 Análisis de muestras*

