

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**LIXIVIACIÓN DE MINERALES OXIDADOS DE Cu CON NITRATO
DE AMONIO, EN YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-
PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

**LIXIVIACIÓN DE MINERALES OXIDADOS DE Cu CON NITRATO
DE AMONIO, EN YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-
PUNO**

PRESENTADA POR:

MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS

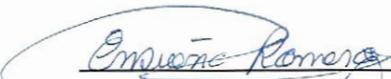
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

APROBADA POR:

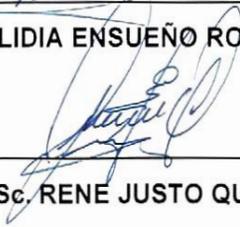
PRESIDENTE

:


Dra.Sc. LIDIA ENSUEÑO ROMERO IRURI

PRIMER MIEMBRO

:


Ing. M.Sc. RENE JUSTO QUISPE FLORES

SEGUNDO MIEMBRO

:


Ing. M.Sc. MARLENI YOVANA VALENCIA PACHO

DIRECTOR / ASESOR

:


Ing. M.Sc. GERMAN QUILLE CALIZAYA

ÁREA: Procesos Industriales.

TEMA: Lixiviación De Minerales Oxidados Cu.

LÍNEA: Tecnologías Ambientales Y Recursos Naturales.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis principalmente a Dios, forjador de mi camino, quién me dio fuerzas para seguir adelante y no quebrantarme ante situaciones adversas que se presentan.

Para mis padres Evangelina Montesinos Aguilar y Néstor Palomino Manzano, por ser los principales promotores de mis sueños, por su amor incondicional, por confiar y creer en mí y en mis expectativas. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño.

Para mis hermanos Jorge Luis y Guadalupe Sandra por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria, son mi motivación grande para seguir adelante con éxito.

Para mi familia en general, no podría sentirme más amena con la confianza puesta sobre mi persona, he contado con su apoyo, consejos y palabras de aliento.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a dios, por darme fuerzas para superar obstáculos y valor para culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres Evangelina Montesinos Aguilar y Néstor Palomino Manzano, por todo lo que me han dado durante toda mi vida, que me apoyaron incondicionalmente, les estaré siempre agradecido.

Al Ing. M.Sc. German Quille Calizaya, director de tesis y señores jurados por su invaluable asesoramiento en el proceso y culminación de la realización misma.

A la Universidad Nacional del Altiplano y Facultad de Ingeniería Química, docentes que forman parte de ella. Por la formación profesional brindada.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE ACRÓNIMOS.....	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Objetivos de estudio	14
1.1.1 Objetivo general	14
1.1.2. Objetivos específicos	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA	15
2.1. Antecedentes.....	15
2.2. Características del mineral.....	18
2.2.1. Cuprita.....	18
2.2.2. Malaquita.....	18
2.2.3. Azurita	19
2.3. Nitrato de amonio.....	19
2.3.1. Propiedades físicas y químicas	19
2.3.2. Estabilidad y reactividad	19
2.3.3. ANFO	20
2.4. Geología de los yacimientos de cobre	20
2.5. Lixiviación de minerales oxidados de cobre	22
2.5.1. Agentes lixiviantes.....	22
2.5.2. Lixiviación de mineral oxidado de cobre en medio amoniacal	23
2.5.3. Mecanismos de reacción.....	26
2.6. Diagrama de estabilidad Eh-pH	28
2.6.1. Diagrama de estabilidad sistema $\text{Cu}_2\text{O-NH}_3\text{-H}_2\text{O}$	29

2.7.	Factores que intervienen en una lixiviación	31
2.7.1.	Efectos de variable.....	31
2.7.1.1.	pH	31
2.7.1.2.	Tiempo de reacción.....	32
2.7.1.3.	Velocidad de agitación	33
2.8.	Cinética de lixiviación.....	33
2.8.1.	Modelos cinéticos de lixiviación.....	34
2.8.1.1.	Modelo de conversión progresiva	34
2.8.1.2.	Modelo del núcleo sin reaccionar	35
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1.	Materiales.....	39
3.1.1	Materiales de Vidrio	39
3.2.	Reactivos	39
3.3.	Equipos	39
3.4.	Diseño metodológico.....	39
3.4.1.	Tipo y diseño de Investigación	39
3.5.	Metodología de la Investigación	42
3.5.1.	Población y muestra	42
3.5.2	Variables	43
3.6.	Procedimiento del experimento.....	43
3.6.1.	Preparación de muestra del mineral oxidado de cobre	43
3.6.2	Evaluación de los parámetros óptimos de lixiviación de cobre ..	44
3.6.2.1	Proceso de pruebas de lixiviación de cobre.....	44
3.6.3	Determinación del modelo cinético de lixiviación.....	45
3.5.	Ubicación del yacimiento minero Socsan.....	46
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
4.1.	Preparación de muestra del mineral oxidado de cobre	48

4.2.	Evaluación de los parámetros óptimos de lixiviación de cobre ..	49
4.2.1.	Análisis STATGRAPHICS	52
4.3	Determinación del modelo cinético de lixiviación.....	58
4.3.1.	Tiempo de lixiviación del mineral oxidado	58
4.3.2.	Modelo cinético del núcleo sin reaccionar	58
4.3.2.1.	Control por difusión en capa porosa.....	59
4.3.2.2.	Modelo cinético del núcleo sin reaccionar	60
V.	CONCLUSIONES.....	62
VI.	RECOMENDACIONES.....	63
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	64
	ANEXOS	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cristalografía de la cuprita.	18
Figura 2: Cristalografía de la Azurita,	19
Figura 3: Sección de un yacimiento porfídico de cobre,.....	21
Figura 4: Tratamiento de azurita con NH ₃ ,.....	25
Figura 5: Diagrama de estabilidad Cu ₂ O-NH ₃ -H ₂ O a 25 y 45°C.	30
Figura 6: Efecto de la agitación en la velocidad de lixiviación.....	33
Figura 7: Esquema del modelo de conversión progresiva.	34
Figura 8: Esquema del modelo del núcleo sin reaccionar.....	35
Figura 9: Esquema del modelo del núcleo sin reaccionar cuando existe control por difusión en capa porosa.	36
Figura 10: Esquema del modelo del núcleo sin reaccionar cuando existe control por reacción química.	38
Figura 11: Dos representaciones del diseño de Box-Behnken para tres factores.	42
Figura 12: Ubicación geográfica del yacimiento minero Socsan.	46
Figura 13: Diagrama del proceso de lixiviación del mineral oxidado de cobre .	47
Figura 14: Porcentaje de extracción de Cu según parámetros	50
Figura 15: Diagrama de Pareto estandarizado de extracción de Cu.....	53
Figura 16: Efectos principales para la extracción de Cu	55
Figura 17: Superficie de respuesta estimada	56
Figura 18: Contornos de la Superficie de la Respuesta estimada.....	56
Figura 19: Grafica de Residuos para la extracción	57
Figura 20: Tiempo de Lixiviación del mineral Oxidado de Cu.	58
Figura 21: Modelo de control por difusión en capa porosa	59
Figura 22: Modelo de Control por reacción química.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de reactivos de lixiviación.....	26
Tabla 2: Tabla de reacciones para el diagrama de estabilidad	29
Tabla 3: Diseño Box-Behnken para tres variables codificado	40
Tabla 4: Valores máximos y mínimos	40
Tabla 5: Factores y niveles de combinación para la lixiviación de minerales oxidados de Cu.	41
Tabla 6: Resultados de análisis de la muestra del mineral oxidado.....	48
Tabla 7: Evaluación de parámetros óptimos de lixiviación.....	49
Tabla 8: Porcentaje de extracción de Cu	51
Tabla 9: Cuadro de parámetros óptimos.....	51
Tabla 10: Efectos estimados para la extracción de Cu (%).....	52
Tabla 11: Análisis de Varianza aplicando el programa STATGRAPHICS.....	54
Tabla 12: Optimización de la respuesta STATGRAPHICS	57
Tabla 13: Modelo de control por difusión en capa porosa.....	59
Tabla 14: Modelo de Control por reacción química.....	60

ÍNDICE ACRÓNIMOS

ΔG	: Energía libre de Gibbs
UNAM	: Universidad Nacional Autónoma de México
ANFO	: Ammonium Nitrate - Fuel Oil
LAS	: Laboratorios Analíticos del Sur
INACAL	: El Instituto Nacional de Calidad
V.I.F.	: Factor de inflación de varianza
ANOVA	: Análisis de la varianza
MAE	: El error medio absoluto
pH	: Potencial de hidrógeno
Rs/L	: Relación sólido/líquido

RESUMEN

En la actualidad la extracción del metal cobre con el uso de ácidos concentrados, trae consecuencias negativas en la salud de la población, afectaciones al equilibrio ecológico y al medio ambiental, motivo por el cual, en el presente trabajo de estudio denominado “Lixiviación de minerales oxidados de Cu con Nitrato de Amonio en Yacimiento minero SocSan de Pucará - Puno” se desarrolló en el Laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-PUNO, se ha planteado determinar la lixiviación de minerales oxidados de Cu mediante el uso de Nitrato Amonio, en la mina SocSan de Pucará-Puno y como objetivos específicos preparar muestra del mineral oxidado de cobre, evaluar los parámetros óptimos de lixiviación de cobre (pH, tiempo, concentración) y determinar el modelo cinético que represente el proceso de lixiviación de Cobre; con la metodología de toma de muestra y población, proceso metalúrgico, en donde se obtuvo la muestra representativa de estudio; y a cada vaso precipitado se agregó 20 g de muestra del mineral oxidado, solución de Nitrato de amonio, con ajustes de pH de solución de CaO; y se aplicó el Modelo del núcleo sin reaccionar. Se desarrolló con el diseño de Box-Behnken para $K=3$ con factores 2^k . Las pruebas de lixiviación se trabajó con una ley de 8.6 % de Cu. Los parámetros óptimos para la extracción de cobre son de 130 g/L de NH_4NO_3 , tiempo de 4 h y pH de 10,5; logrando una extracción de 93,8% de cobre y el modelo cinético ajustado es el modelo de control por difusión en capa porosa, el cual indica el 97,3 % de extracción de Cu.

Palabras clave: *Lixiviación, nitrato de amonio, minerales oxidados cobre, extracción, yacimiento minero Socsan de Pucará.*

ABSTRACT

Currently the extraction of copper metal with the use of concentrated acids, has negative consequences on the health of the population, effects on the ecological balance and the environment, which is why, in this study called "Leaching of minerals Oxidation of Cu with Ammonium Nitrate in the SocSan mining site of Pucará - Puno "was developed in the Quality Control Laboratory of the Faculty of Chemical Engineering of UNA-PUNO. It has been proposed to determine the leaching of oxidized Cu ores by the Use of Ammonium Nitrate, at the SocSan mine in Pucará-Puno, and as specific objectives, prepare sample of oxidized copper ore, evaluate the optimal parameters of copper leaching (pH, time, concentration) and determine the kinetic model that represents the process of Copper leaching; with the sampling methodology and population, metallurgical process, where the representative study sample was obtained; and to each precipitated beaker was added 20 g of sample of oxidized ore, ammonium nitrate solution, with pH adjustments of CaO solution; and the unreacted Core Model was applied. It was developed with the Box-Behnken design for $K = 3$ with 2k factors. The leaching tests were worked with a law of 8.6% Cu. The optimal parameters for copper extraction are 130 g / L of NH_4NO_3 , time of 4 h and pH of 10.5; achieving an extraction of 93.8% copper and the adjusted kinetic model is the control model by diffusion in porous layer, which indicates 97.3% of Cu extraction.

Keywords: *Leaching, ammonium nitrate, copper oxidized minerals, extraction, Socsan de Pucará mining deposit.*

I. INTRODUCCIÓN

La lixiviación es un proceso de la hidrometalurgia mediante el cual se extraen los metales de los minerales que contienen especies económicamente recuperables, a partir del siglo XX, la lixiviación de cobre se realizó principalmente con el uso de H_2SO_4 ; sin embargo, en los últimos años se ha venido experimentando investigaciones con bases orgánicas.

La extracción de metales con el uso de ácidos concentrados, trae consecuencias negativas en la salud de la población, alterando el equilibrio ecológico y al medio ambiente. El ácido sulfúrico es el agente lixivante más usado en minerales oxidados de cobre; el cual es una sustancia corrosiva y altamente tóxica al contacto con los tejidos capilares en bajas concentraciones, la inhalación de sus vapores provoca tos aguda generando severo daño en los pulmones y en todo el tracto respiratorio.

El proceso de lixiviación por agitación, se inicia en la etapa de chancado molienda y pulverizado del mineral oxidado de cobre hasta un tamaño de malla -200, este mineral usualmente tiene alto contenido de cobre, seguidamente se lixivia con ácido sulfúrico aplicando agitación, finalmente pasa a una etapa de concentración por extracción de solvente y electrodeposición en láminas de cobre de alta pureza.

Pérez (2016), indica que la metalurgia extractiva se conoce como lixiviación al proceso de extraer desde un mineral una especie de interés por medio de reactivos que la disuelven o transforman en sales solubles; es decir, en el proceso de lixiviación se recuperan especies útiles desde una fase líquida, correspondiente a la sustancia o una sal de esta en disolución acuosa, los minerales usualmente lixiviados son aquellas menas oxidadas.

Los minerales oxidados que contienen el cobre en el estado divalente, por ejemplo: azurita ($Cu_3(OH)_2CO_3$), malaquita ($Cu_2(OH)_2CO_3$), tenorita (CuO) y crisocola ($CuSiO_3 \cdot 2H_2O$), son completamente solubles ya sea en la lixiviación ácida o alcalina a temperatura de ambiente (Ata et al., 2001; Kuhn et al., 1974;

Habashi et al., 1983).

Cárdenas et al., (2017) indica que en la lixiviación de metales se utiliza ácido sulfúrico concentrado, el cual es muy perjudicial para el medio ambiente; es por esta razón, en el presente estudio se propone una nueva alternativa menos contaminante para lixiviación de minerales oxidados de Cu con Nitrato Amonio en Yacimiento minero SocSan de Pucará-Puno.

En el presente estudio de trabajo se logró determinar los objetivos planteados de lixiviación del mineral oxidado de Cu mediante el uso de Nitrato de Amonio, del yacimiento minero de SocSan de Pucará-Puno, a partir de una muestra con una ley alta de 8,6 % de Cobre; las pruebas del proceso de lixiviación se realizó en un medio básico a una agitación de 350 rpm y a temperatura ambiente, lográndose una extracción de 93,8% de cobre. Las muestras estudiadas se enviaron a Laboratorios Analíticos del Sur de la Ciudad de Arequipa.

1.1. Objetivos de estudio

1.1.1 Objetivo general

- Determinar la lixiviación de minerales oxidados de Cu mediante el uso de Nitrato de Amonio, en yacimiento minero SocSan de Pucará-Puno.

1.1.2. Objetivos específicos

- Preparar muestra del mineral oxidado de cobre.
- Evaluar los parámetros óptimos de lixiviación del mineral oxidado de cobre (pH, Tiempo, concentración).
- Determinar el modelo cinético que representa el proceso de lixiviación de Cobre.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Bustamante (2016), en su trabajo de “Lixiviación de cobre con EDTA en minerales oxidados de cobre de la Compañía Minera Tintaya Antapaccay” en el estudio uso los parámetros de lixiviación, la concentración de 0,1 - 0,2 M EDTA aun rango de 12 – 13,5 pH con temperatura de 20 – 30°C y tiempo de agitación 120- 180 min. Donde obtuvo una extracción del 74% de Cu en una concentración de 0,2 M de EDTA, pH 12, temperatura 30°C y agitación de 180 rpm.

Quille (2010), realizó estudios de “Cinética de lixiviación de minerales de cobre malaquita y azurita con ácidos orgánicos”; en este estudio cinético utilizó el modelo de velocidad controlada por difusión y el modelo de velocidad por reacción superficial. En la lixiviación de minerales de cobre con solución 0,3087 M de ácido cítrico se obtuvo un porcentaje de extracción de cobre al 68%, en un tiempo de lixiviación 4 horas y tamaño de mineral malla -60 según ASTM. Por otra parte con una solución 1,029 M de ácido fórmico se obtuvo 75% de extracción de cobre, el tiempo de lixiviación fue de 2 horas, para un tamaño de partícula malla -60 y con solución 1,014 M de ácido acético obteniéndose un porcentaje de extracción de cobre al 36%; en un tiempo de lixiviación de 5 horas.

Roldan y Urbina (2015), en su trabajo de estudio “Lixiviación Amoniacal del Mineral de Cobre Tipo Crisocola Utilizando Nitrato de Amonio”, consideraron las variables de 9.5 – 10 pH, concentración del disolvente NH_3 3,706 g/L – 6,672 g/L, relación sólido/líquido 1/5 – 1/10 y los parámetros como la temperatura 25°C, tiempo 5h, tamaño de partícula #100 y 800 rpm de velocidad de agitación. Por lo que determinaron que la máxima extracción de cobre alcanzada fue de 45,36%, que corresponde a pH 9,5, relación sólido/líquido (1/10) y $[\text{NH}_3] = 6,6792$ g/L, velocidad de agitación 800 rpm, tamaño de partícula menos malla Tyler N° 100 (150 micras), peso de muestra 20 g, temperatura y presión ambiental.

Cárdenas et al., (2017), realizó estudios de “Proceso Alternativo de Lixiviación para la Obtención de Soluciones Ricas en Cobre en la Minería Artesanal de la Región Arequipa”; los valores óptimos de las variables

estudiadas, trabajándose con una concentración de nitrato de amonio 34, 35 g con tamaño de partícula hasta $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro, relación sólido/líquido (Rs/L) 5/1, se consideró a un nivel de pH= 9,5 y un tiempo de lixiviación de 6 días, así obteniendo un porcentaje de recuperación hasta del 65 % de cobre.

Ordoñez (2015), en su trabajo de investigación “Evaluación de un nuevo proceso de obtención de cobre a partir de sus minerales oxidados y sulfurados en medio hipoclorito-amoniaco”, en el estudio uso los parámetros de lixiviación, pH de 9,5, una relación sólidos/líquido de 5/1 con una concentración de hipoclorito a 50 g/L, obteniendo una extracción de 61,6% de cobre en la primera etapa que tuvo una duración de 5 h. En la segunda etapa alcanzaron una extracción del 82,7% de cobre al incrementa un tiempo de 5 h de lixiviación. En la tercera etapa, lograron una extracción del 89,4% de cobre, en 2 h adicionales.

Fernandez (2007), en el estudio “Optimización del proceso de lixiviación clorurante en medio ácido oxidante de concentrados sulfurados de cobre” optimizó en las siguientes condiciones de operación: peso de muestra 20gr, con pH de 0,26 – 2, relación sólido/líquido de 1/1.5 – 1/5, tiempo de lixiviación 2 a 24 h, tamaño de partícula de 70% malla -200, con 400 a 700 rpm de velocidad de agitación, concentración de FeCl_3 10-100 g/L, NaCl 40-150 g/L, NaNO_3 10-50 g/L y temperatura 80°C. Alcanzaron una máxima extracción del 76% de cobre en un periodo de 8 horas de reacción, relación de 1/5, velocidad de agitación 500 rpm, con muestras de concentrados sulfurados con tamaños de partículas de 70% - 200 mallas.

Pérez (2016), en su trabajo de investigación realizado “Lixiviación de cuprita en ambiente básico con hidróxido de amonio” obtuvo como resultado es estudio de la disolución de cuprita con distintos reactivos amoniacoales NH_4F , $(\text{NH}_4\text{F})_2\text{SO}_4$, NH_4OH se obtuvo que el mejor reactivo para lixiviar cuprita es el hidróxido de amonio, puesto que alcanzó una extracción de cobre de 99% al finalizar la prueba, mientras que otros reactivos como el fluoruro de amonio (NH_4F) solo alcanzó de extracción de cobre de 18% y el sulfato de amonio $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ alcanzó una extracción de cobre de 20% al finalizar la prueba.

Hernandez (2013), en su trabajo realizado “Estudio del equilibrio sólido-líquido de sistemas acuosos de minerales de cobre con agua de mar, aplicado a procesos de lixiviación”; obtuvieron buenos resultados de extracción de cobre, después de 7 días de lixiviación a concentraciones elevadas de reactivos y a una temperatura de 45°C, debido principalmente al alto poder de oxidación que posee el ión nitrato, mayor a los iones férricos y cúprico, y que en altas concentraciones de H⁺, su potencial de oxidación se incrementa.

Espinosa (2012), “Recuperación de Cu a partir de soluciones nuestras de sulfato de amonio (NH₄)₂SO₄ por medio de procesos de cementación”, determinó que la cementación de Cu con Fe desde soluciones de Cu-(NH₄)₂SO₄ está controlada por reacción química superficial, se logran recuperaciones hasta del 95 %, al elevar la temperatura o adicionando H₂SO₄ al sistema, ambas ocurren en condiciones estáticas.

Álvarez (2012), investigaron la Lixiviación acida no-oxidativa de calcopirita a 70°C, considerando tamaños de partícula 186 µm y 11,03 µm, con concentraciones de ácido sulfúrico de 15, 50, 100 g/L; donde presenta una mayor extracción de cobre con 100 g/L de concentración de ácido sulfúrico y un tamaño de partícula de 186 µm para la ecuación de control por difusión en capa porosa obtuvo un ajuste de R² = 0,986 y para el control por reacción química obtuvo un ajuste de R² = 0,95.

Bingol et al., (2005), estudiaron las condiciones de lixiviación del mineral de cobre tipo malaquita en soluciones amoniacales. Donde las condiciones óptimas de lixiviación fueron a una concentración 5M NH₄OH + 0,3M (NH₄)₂CO₃, relación sólido/líquido de 1/10 g/mL, tiempo de lixiviación de 180 minutos, velocidad de agitación de 350 rpm, temperatura de lixiviación de 25°C y tamaño de partícula de menos malla 100 µ; logrando recuperar hasta un 98% de cobre. En la lixiviación con amoníaco, el cobre era recuperado en forma de Cu NH₃)₄²⁺ mientras las gangas del mineral no reaccionaron. Esto significa que la solución de lixiviación de amoníaco es muy conveniente para las operaciones de extracción de disolvente.

La cuprita (Cu_2O), un óxido rico en cobre (hasta en 88,82% de su estructura), con una composición de óxido cuproso $\text{Cu}=88,8\%$ $\text{O}=11,2\%$ normalmente puro, pero puede estar presente el óxido de hierro como impureza.

2.2. Características del mineral

2.2.1. Cuprita

La cuprita (Cu_2O), un óxido rico en cobre (hasta en 88,82% de su estructura), con una composición de óxido cuproso $\text{Cu}=88,8\%$ $\text{O}=11,2\%$ normalmente puro, pero puede estar presente el óxido de hierro como impureza. Cristalografía cubica; hexaquisoctaédrico corrientemente, en cristales formados por cubos, octaedros dodecaedro frecuentemente en combinación (Dana and Hurlbut, 1987).

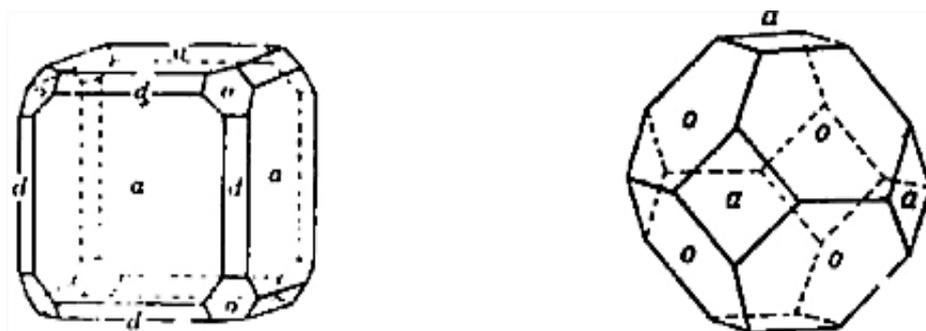


Figura 1: Cristalografía de la cuprita.

Fuente: Manual de Mineralogía, (Dana y Hurlbut, 1987).

2.2.2. Malaquita

La malaquita es un mineral secundario de cobre que se encuentra generalmente en depósitos oxidados de Cobre. Pertenece al sistema cristalino monoclinico y al grupo de los carbonatos, con una composición química $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3$; 71,95% CuO , 12,90% CO_2 y H_2O 8,15%. con forma de cristales prismas (Dud'a et al., 2014).

Este mineral se halla en zonas de oxidación de los filones de cobre asociada a al azurita, cuprita, cobre natural y póxidos ferricos y diversas sulfatos de cobre y hierro (Dana and Hurlbut, 1987).

2.2.3. Azurita

La azurita siendo un mineral secundario que se forma en las zonas oxidadas, perteneciente a grupo de carbonatos de color azul intenso y con forma de cristales prismáticos o tubulares con gran variedad de caras cristalinas (Louis, 2008). Composición química, $(\text{CO}_3)_2 \text{Cu}_3(\text{OH})_2$; 69,2% CuO, 25,6% CO_2 , 5,2% H_2O y 55,3% Cu.

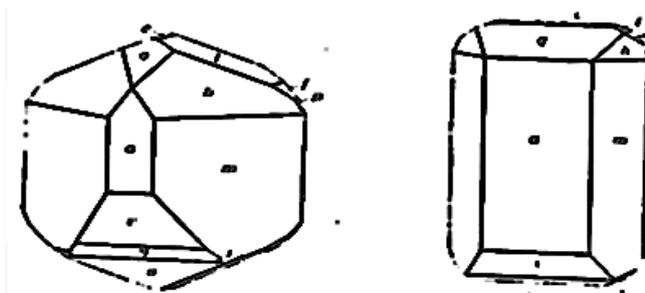


Figura 2: Cristalografía de la Azurita,

Fuente: Manual de Mineralogía, (Dana and Hurlbut, 1987).

2.3. Nitrato de amonio

2.3.1. Propiedades físicas y químicas

El nitrato de amonio o nitrato amónico es una sal formada por iones nitrato y amonio. Su fórmula es NH_4NO_3 . Se trata de un compuesto incoloro e higroscópico, altamente soluble en agua (GTM, 2014).

Aspecto: Cristales transparentes.

Olor: Inodoro.

Solubilidad: 118g/100g agua a 0°C (32F).

Peso específico: 1,73 a 23°C (77F)

pH: 5,4

% De Volátiles por Volumen a 21°C (70F): 0

Punto de ebullición: 210°C (410F) se descompone.

Punto de fusión: 170°C (338F)

2.3.2. Estabilidad y reactividad

GTM (2014), presenta la siguiente estabilidad y reactividad del nitrato de amonio:

Estabilidad: Estable bajo condiciones normales de uso y almacenamiento. Higroscópico.

Productos de descomposición peligrosos: Emite óxidos de nitrógeno cuando se calienta hasta la descomposición. Libera amoniaco en la reacción con álcalis fuertes.

Polimerización peligrosa: No ocurrirá.

Incompatibilidades: Aluminio, antimonio, cromo, cobre, hierro, plomo, magnesio, manganeso, níquel, zinc, cobre, petróleo, carbón, materia orgánica, ácido acético, cloruro de amonio, bismuto, cadmio, cloruros, cobalto, fósforo, potasio y sulfato de amonio, hipoclorito de sodio de sodio, perclorato de sodio, sodio, aleación de potasio y sulfuro.

Condiciones a evitar: Calor, llamas, fuentes de ignición, polvo e incompatibles. La humedad y los materiales combustibles. Sensible al choque.

2.3.3. ANFO

Gonzales (2015), el ANFO consiste en una mezcla de nitrato de amonio y un combustible derivado del petróleo. Estas mezclas son muy utilizadas principalmente por las empresas mineras y de demolición, debido a que son muy seguras, baratas y sus componentes se pueden adquirir con mucha facilidad.

Las cantidades de nitrato de amonio y combustible varían según la longitud de la cadena hidrocarbonada del combustible utilizado. Los porcentajes van del 90% al 97% de nitrato de amonio y del 3% al 10% de combustible, por ejemplo: 95% de nitrato de amonio y 5% de queroseno.

2.4. Geología de los yacimientos de cobre

De acuerdo a la geología los principales yacimientos de cobre se clasifican como estratiformes, de sulfuros masivos y porfídicos. Los yacimientos porfídicos son lo más importantes, ya que constituyen la principal fuente de

extracción de cobre debido a su gran volumen, la explotación puede resultar económicamente atractiva aun en concentraciones de cobre cercanas al 0,4% (Bartlett, 1998).

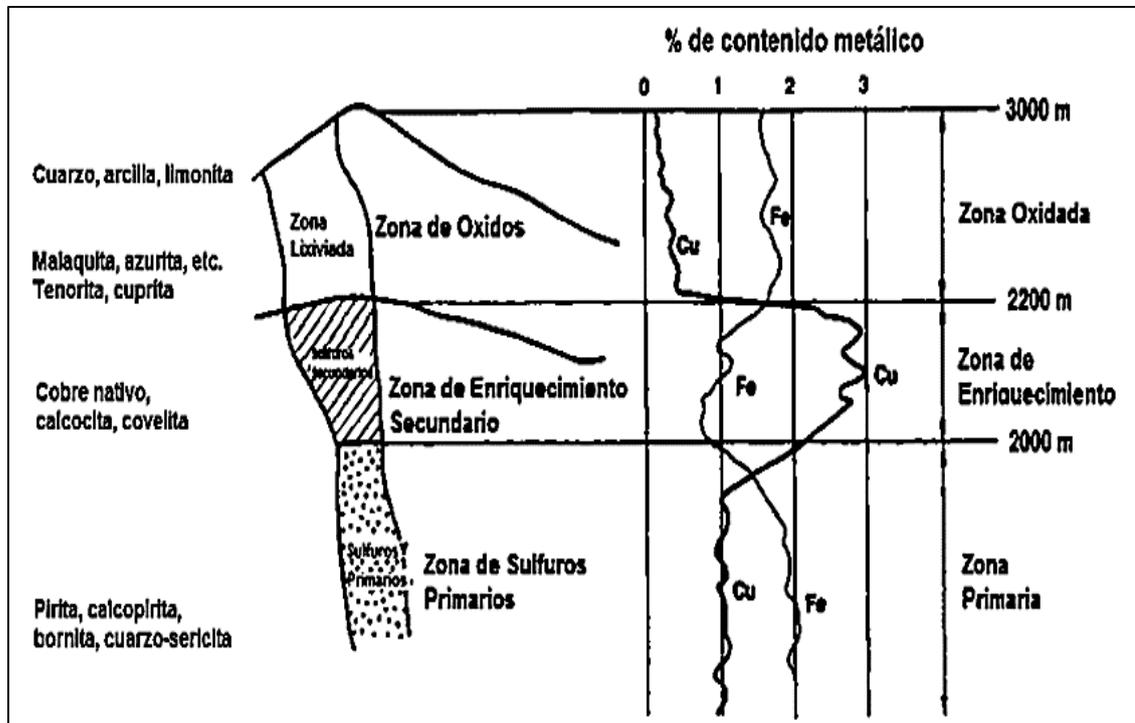


Figura 3: Sección de un yacimiento porfídico de cobre, Fuente: Geología de los yacimientos de cobre (Bartlett, 1998).

Un yacimiento porfídico de cobre, en su estado original de formación corresponde a un cuerpo intrusivo que contiene mineralización primaria finamente diseminada de calcopirita y de pirita, el cual es sometido a la acción de los niveles de agua superficial cargada con oxígeno por su cercanía al ambiente atmosférico, las sales que en ella se disuelven y la acción catalítica de las bacterias. En dichas condiciones se produce una oxidación, disolución y transporte del cobre, hierro y otros elementos de importancia (Bartlett, 1998).

Este transporte de soluciones mineralizadas a través de la roca, da lugar a reacciones de formación de nuevas especies minerales (sulfuros secundarios), que pueden llegar a acumularse en cantidades económicamente importantes formando lo que se conoce como una zona de "enriquecimiento secundario". Una oxidación posterior de esta zona de enriquecimiento, puede conducir a la

formación de los llamados minerales oxidados. En algunos casos la erosión juega un papel importante, y es posible que alguna de dichas zonas no estén presentes o que existan zonas de composición mixta (Domic Mihovilovic, 2004). Cuando se encuentra menas secundarias (malaquita, azurita), depósitos de cobre sobre la superficie, saben que les conducirán a grandes concentraciones de cobre en las profundidades (Louis, 2008).

2.5. Lixiviación de minerales oxidados de cobre

La lixiviación es un proceso que se aplica más a medida que su tecnología ha venido incrementándose, haciéndola más eficiente y económica. También llamada disolución selectiva, es un proceso donde interviene un material sólido de origen, un agente lixivante (disolvente) que normalmente está disuelto en la solución acuosa y ocasionalmente un agente externo que actúa como oxidante o reductor y participa en la disolución del metal de interés mediante un cambio en los potenciales de óxido-reducción (potencial redox) de la solución lixivante (Hernández, 2013).

La lixiviación, es el procedimiento que tiene por finalidad la recuperación de un metal de un concentrado o una mena, mediante un disolvente y la separación de la solución resultante de la fracción sin disolver (Treybal, 2000)

Cuando se trata de una mena oxidada, como puede ser la malaquita o la cuprita, según Haung et al., (1986) el cobre oxidado fácilmente soluble con ácido sulfúrico, que es la técnica más empleada para esta operación y también puede ser empleado para esto una solución amoniacal.

Según definiciones citadas, se define la lixiviación como un proceso de la hidrometalurgia mediante el cual se extraen los metales de los minerales, a partir de una solución.

2.5.1. Agentes lixiviantes

Existen una serie de variables que influyen decisivamente en la elección del agente lixivante ideal para cada operación, como la naturaleza del mineral

o concentrado a lixiviar y deben tener algunas de las siguientes características (Haung, 1986).

- a) Que sea selectivo, es decir, que disuelva en forma efectiva el metal que se pretende recuperar y que sea prácticamente inerte con los demás componentes del mineral o concentrado.
- b) Que la concentración del agente lixiviante no sea muy alta y que reaccione disolviendo los valores metálicos a la temperatura ambiente.
- c) Los valores metálicos disueltos que se encuentran en fase acuosa pueda recuperarse fácilmente precipitándoles, con un reactivo químico o por precipitación electrolítica.
- d) Que sea barato, que no sea toxico y que sea regenerable.

Los agentes lixiviantes más utilizados:

- ❖ Agua, Aire, peróxido de hidrógeno.
- ❖ Disoluciones de sales en agua (Sulfato férrico, cloruro férrico, cloruro de sodio, cianuro sódico, tío sulfato).

Ácidos:

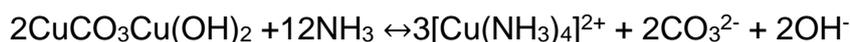
- ❖ Ácido sulfúrico
- ❖ Ácido clorhídrico
- ❖ Ácido nítrico

Bases:

- ❖ Hidróxido de sodio
- ❖ Hidróxido de amonio

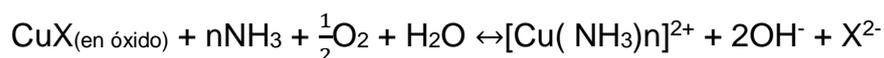
2.5.2. Lixiviación de mineral oxidado de cobre en medio amoniacal

En presencia de una ganga calcárea incrementa el consumo de ácido, haciéndolo antieconómico, por lo tanto, se emplean otros reactivos como el amoníaco, en la forma de carbonato e hidróxido de amonio. Por ejemplo, si el mineral tiene una ganga calcárea y mineralización de azurita, se tiene:

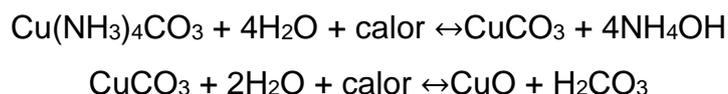


En presencia de amoníaco en la práctica se entiende que se proporcionara en la forma de hidróxido de amonio, NH_4OH . Posteriormente con la adición de NH_3 se forma aminas de cobre, complejos de fórmula $(\text{Cu}(\text{NH}_3)_n)^{2+}$.

La ecuación general:



X^{2-} corresponde al anión que acompaña al cobre en la especie oxidada del mineral, en condiciones carbonáceas será el anión CO_3^{2-} . El carbonato resultante resulta muy inestable frente al calor y se descompone de acuerdo a las reacciones siguientes:



Del mismo modo ocurre con los demás reactantes y los productos intermedios de hidróxido de amonio ácido carbónico, los que así se recuperan, permitiendo que recircule el amoníaco al inicio del proceso:

Posteriormente de filtrar y desechar la ganga, la solución es hervida de forma que las reacciones de la lixiviación son revertidas. El proceso amoníaco y dióxido de carbono son absorbidos desde la fase gaseosa, para iniciar una nuevo ciclo, y el carbonato básico de cobre se recupera por filtración, para ser seguidamente calcinado a CuO . Un esquema del diagrama de flujos de este proceso se muestra en la figura 4. Este proceso estuvo en operación en la mina Kennecott, en Alaska, entre 1916 y 1931, hasta que cerró por agotamiento de las reservas.

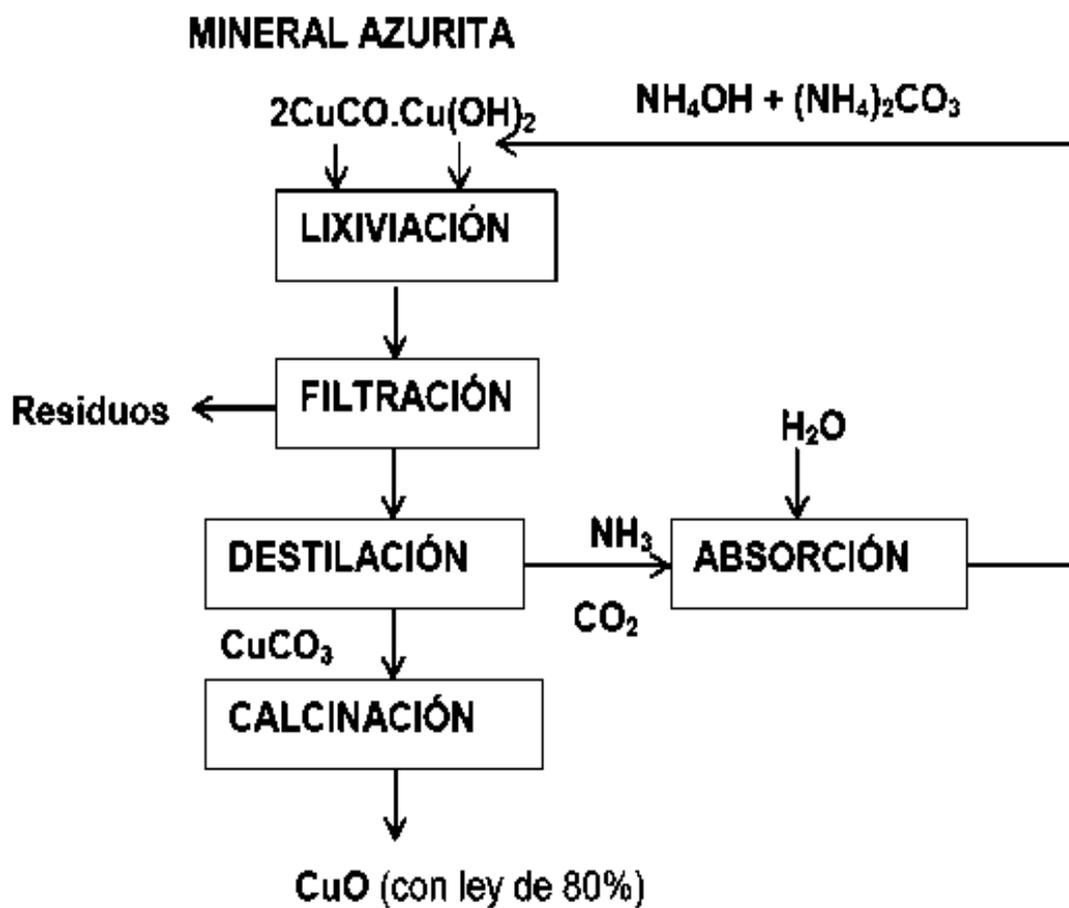


Figura 4: Tratamiento de azurita con NH_3 ,
Fuente: Mineral Azurita. Domic Mihovilovic (2004).

Tabla 1: Clasificación de reactivos de lixiviación.

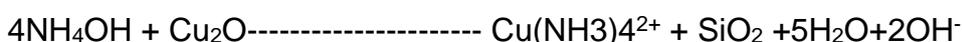
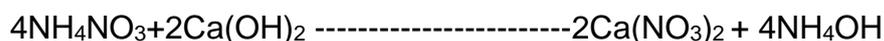
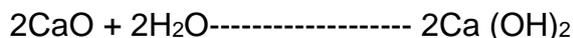
Clasificación de reactivos de lixiviación		
Categoría	Reactivos	Ejemplos
Ácidos	H ₂ SO ₄ Diluido	Oxido de cobre, óxido de zinc.
	H ₂ SO ₄ Diluido más oxidante	Sulfuros de Cu, Ni, Zn; mineral oxidado de uranio
	H ₂ SO ₄ Concentrado	Sulfuros concentrados de cobre lateritas.
	Ácido nítrico	Sulfuros de Cu, Ni y Mo, concentrados de uranio oxido de zirconio.
	Ácido fluorhídrico	Mineral de columbita-tantalita
	Ácido fluorhídrico	Limenita, níquel mate, casiterita reducida.
	Hidróxido de sodio	Bauxita
	Carbonato de sodio	Óxido de uranio, schellita.
sales	Hidróxido de amonio más aire	Sulfuro de níquel, sulfuro de cobre, laterita.
	Cloruro de fierro/sulfato	Concentrados base sulfuros metálicos.
	Cloruro cúprico	Concentrados base sulfuros metálicos.
	Cianuro de sodio o potasio más aire	Minerales de oro y plata.
Cloro acuoso	Cloruro férrico más aire	Sulfuro de níquel.
	Cloro acuoso, ácido hipocloroso, hipoclorito	Concentrados de sulfuros de Cu, Ni, Zn, Pb, Hg y Mo así como laterita reducida.
agua	agua	Sulfatos y cloruros, vanadato de sodio, molibdato, tungstato estannato.

Fuente: Reactivos de lixiviación. Gupta y Mukherjee (1990).

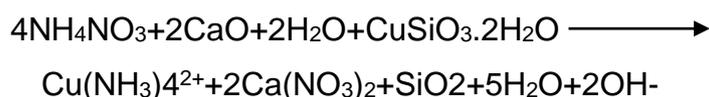
2.5.3. Mecanismos de reacción

El mecanismo de reacción que se formula en el presente estudio plantea

para la producción de amoniaco, el nitrato de amonio (NO_3NH_4); a partir del cual se genera el amoniaco en el mismo proceso de lixiviación. Esto se logra al regular el pH por medio de adición de cal Roldan, et al. (2015):



Reacción principal



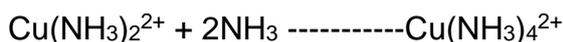
Mecanismo de reacción



H^+ y OH^- se neutralizan con amoniaco y con iones de amonio. El pH de la solución se mantiene en la región estable $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ como resultado de la acción tampón para amortiguar las acciones del amoniaco y los iones de amonio.

La generación del $\text{NH}_3(\text{ac})$ a partir de los iones de amonio, en cantidades necesarias, forma el complejo $\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^{2+}$, y con un exceso de amoniaco se transforma en el complejo principal del sistema: $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$; esto debido a la acción del pH y la $([\text{NH}_3] + [\text{NH}_4^+])$. Las reacciones se dan como se muestra a continuación (Roldan, et al., 2015):





De modo que, la finalidad del estudio realizado es analizar la concentración del nitrato de amonio, el pH y en tiempo óptimo en la lixiviación amoniacal a nivel laboratorio, utilizando nitrato de amonio para lixiviar un mineral de cobre tipo cuprita, azurita, malaquita así determinar el porcentaje de extracción óptima.

2.6. Diagrama de estabilidad Eh-pH

Un diagrama de Pourbaix es una representación gráfica del potencial (ordenada) en función del pH (abscisa) para un metal dado bajo condiciones termodinámicas standard (usualmente agua a 25°C).

El diagrama tiene en cuenta los equilibrios químicos y electroquímicos y define el dominio de estabilidad para el electrólito (normalmente agua), el metal y los compuestos relacionados, por ejemplo, óxidos, hidróxidos e hidruros (Muñoz, 2015).

Los diagramas de Pourbaix también son conocidos como los diagramas de Eh-pH, debido a la rotulación de los dos ejes. El eje vertical se denomina Eh para el potencial de voltaje con respecto al electrodo estándar de hidrógeno.

Hay tres tipos generales de líneas en los diagramas de Pourbaix, cada una representa un equilibrio entre dos especies según (Muñoz, 2015):

- ❖ Líneas horizontales. Indican reacciones con dependencia solamente del potencial.
- ❖ Líneas verticales. Indican reacciones con dependencia solamente del pH.
- ❖ Líneas oblicuas. Indican reacciones con dependencia tanto del potencial como del pH.

2.6.1. Diagrama de estabilidad sistema Cu₂O-NH₃-H₂O

Pérez (2016), sostiene con respecto al diagrama de estabilidad, utilizar el siguiente grupo de reacciones para construir el diagrama de estabilidad o Pourbaix y los valores de ΔG de las reacciones que se encuentran en la tabla 2: reacciones presentes en el diagrama de estabilidad del sistema Cu-NH₃-H₂O con los valores de delta G de reacción a las temperaturas de 10, 25 y 45 °C.

Tabla 2: Tabla de reacciones para el diagrama de estabilidad

Reacción	ΔG _{10°C} kcal/mol	ΔG _{25°C} kcal/mol	ΔG _{45°C} kcal/mol
$Cu^{+2} + H_2O \rightarrow CuO + 2H^+$	10.9	10.52	10.03
$CuO + 4NH_4^+ \rightarrow Cu(NH_3)_4^{+2} + H_2O + 2H^+$	22.62	23.28	24.39
$Cu_2O + 8NH_4OH + 2H^+ \rightarrow 2Cu(NH_3)_4^{+2} + 9H_2O$	26.01	26.56	27.02
$CuO + 4NH_4OH + 2H^+ \rightarrow Cu(NH_3)_4^{+2} + 5H_2O$	-36.91	-36.51	-35.9
$2CuO + 2H^+ + 2e^- \rightarrow Cu_2O + H_2O$	-31.07	-30.79	-30.6
$2Cu(NH_3)_4^{+2} + H_2O + 6H^+ + 2e^- \rightarrow Cu_2O + 8NH_4^+$	-76.4	-77.33	-79.23
$Cu_2O + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2Cu^0 + H_2O$	-21.76	-21.34	-20.6
$2Cu^{+2} + H_2O + 2e^- \rightarrow Cu_2O + 2H^+$	-9.33	-9.75	-10.36
$Cu^{+2} + 2e^- \rightarrow Cu^0$	-15.54	-15.54	-15.55

Fuente: Reacciones para el diagrama de estabilidad (Pérez, 2016).

Dentro del grupo de reacciones anterior se encuentran reacciones químicas que dependen del pH, del potencial y que dependen de ambas (líneas oblicuas), con esto es posible construir el diagrama que se presenta a continuación.

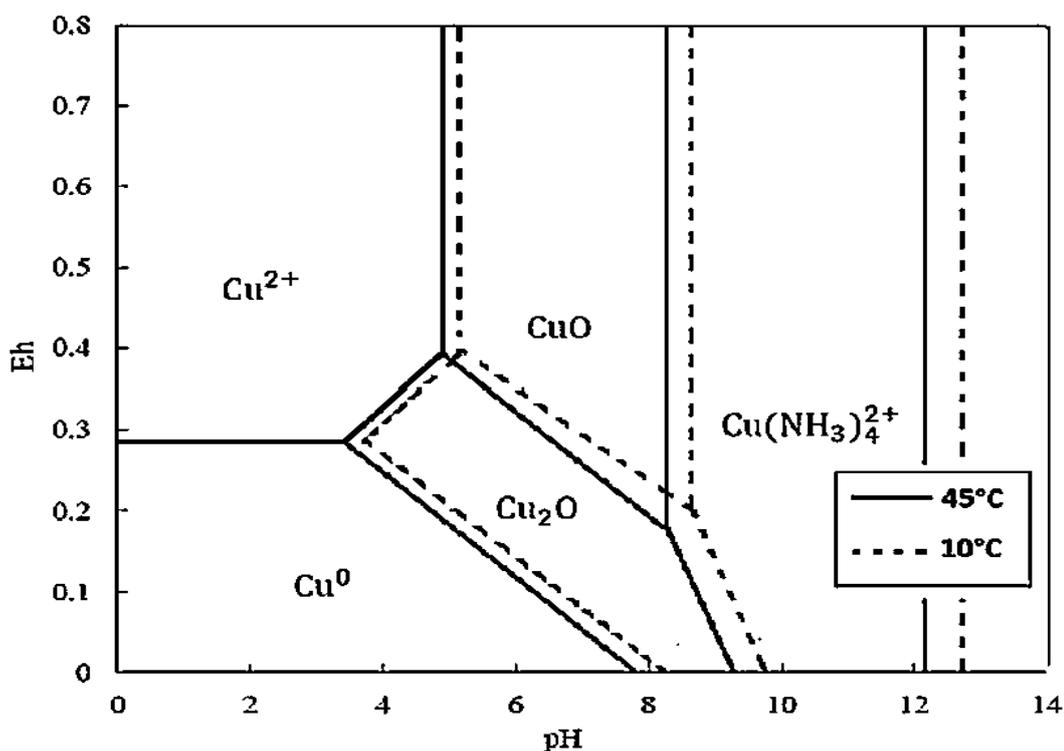


Figura 5: Diagrama de estabilidad $\text{Cu}_2\text{O-NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ a 25 y 45°C.

Fuente: Diagrama de estabilidad de Cobre, (Pérez, 2016).

Como se observa en la Figura 5, para asegurar obtener en solución la tetra-amina de cobre $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}]$ es necesario mantener el pH en un valor no menor a 8 ya que a valores menores de pH tiene predominancia la tenorita, vemos además que un valor de potencial superior a 0,2 Voltios, es necesario para obtener la tetra-amina de cobre.

El diagrama permite conocer las condiciones de trabajo para las pruebas de lixiviación. Como la zona de predominancia que se busca es la de pH básicos se busca trabajar a pH controlado de 10,5 y así obtener una correcta disolución de cuprita con hidróxido de amonio. La temperatura tiene un efecto importante en las zonas de preponderancia de todas las especies. Se aprecia que existe un área importante del complejo de tetraamina de cobre $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}]$ en un rango de pH de 8,4 a 12,2 y potencial sobre 0,2 volt a temperatura de 45°C, sin embargo, a pH inferiores a 8.4 se forma la tenorita (CuO). Pero si el pH es aún menor de 4,9 se forma el Cu^{2+} , pero a condiciones extremas de reducción y pH ácidos se origina el CuO y se pierde cobre de la solución (Pérez, 2016).

A los 10°C la zona del complejo $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{+2}]$ presenta una área de estabilidad mucho mayor, en comparación a temperaturas más altas (45°C), ya que a medida que la temperatura aumenta, esta zona se va reduciendo. Debido principalmente a que las curvas dependientes del pH, presentan cambios determinantes, los cuales se observan por su movimiento hacia pH más ácidos. A medida que la temperatura se incrementa. Por ejemplo la línea de equilibrio (CuO - Cu $(\text{NH}_3)_4^{+2}$) ubicada cerca del pH 8 aproximadamente, se desplaza de un pH 8,9; 8,2 a las temperaturas de 5 y 45°C respectivamente. En el caso de querer obtener el complejo estable de tetra-amina de cobre independiente de la temperatura de trabajo, producto de la reacción de cuprita con el reactivo amoniacal, sería la zona de estabilidad ubicada en un rango de pH 10,5 a 11 y a potenciales sobre los 0,2 voltios (Pérez, 2016).

2.7. Factores que intervienen en una lixiviación

En la lixiviación de minerales los factores que intervienen según (Gacés, 2015):

- ❖ Características del mineral (naturaleza, ley, tipo de ganga, etc.
- ❖ Tamaño de partícula. Un menor tamaño aumenta la extracción y disminuye el tiempo de contacto entre el mineral y el lixivante.
- ❖ Concentración del disolvente o lixivante. El aumento de concentración del lixivante incide en la extracción, pero disuelve elementos no favorables a la oxidación del cobre.
- ❖ Tiempo de contacto y temperatura. El tiempo de contacto depende de los factores anteriores, un aumento de la temperatura provoca un aumento en la velocidad de extracción. En hidrometalurgia se lixivia a temperatura ambiente.

2.7.1. Efectos de variable

2.7.1.1. pH

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH

indica la concentración de iones hidronio $[H_3O]^+$ presentes en determinadas disoluciones.

La sigla significa 'potencial hidrógeno', 'potencial de hidrógeno' o 'potencial de hidrogeniones' (pondus hydrogeni o potentia hydrogeni; del latín pondus, n. = peso; potencia, f. = potencia; hydrogenium, n. = hidrógeno). Este término fue acuñado por el químico danés S. P. L. Sorensen (1868-1939), quien lo definió en 1909 como el opuesto del logaritmo en base 10 (o el logaritmo del inverso) de la actividad de los iones hidrógeno. Esto es:

$$PH = -\log_{10} [aH^+]$$

Desde entonces, el término "pH" se ha utilizado universalmente por lo práctico que resulta para evitar el manejo de cifras largas y complejas. En disoluciones diluidas, en lugar de utilizar la actividad del ion hidrógeno, se le puede aproximar empleando la concentración molar del ion hidrógeno.

Por ejemplo, una concentración de $[H_3O^+] = 1 \times 10^{-7} \text{ M}$ (0,0000001) es simplemente un pH de 7, ya que $pH = -\log [10^{-7}] = 7$

En disolución acuosa, la escala de pH varía, típicamente, de 0 a 14. Son ácidas las disoluciones con pH menores que 7 (el valor del exponente de la concentración es mayor, porque hay más iones en la disolución) y alcalinas las de pH superiores a 7. Si el disolvente es agua, el $pH = 7$ indica neutralidad de la disolución (Bustamante, 2016).

2.7.1.2. Tiempo de reacción

La economía del proceso de lixiviación del porcentaje de extracción de cobre. Esto es tan importante como el tiempo necesario para la extracción aceptable, es decir la velocidad de dilución. Por lo cual, la cinética de lixiviación del mineral va a determinar el tiempo de residencia óptimo en la pila con el objetivo de hacer la operación económicamente rentable. Por otro lado lo son una recuperación elevada y un bajo consumo de base.

2.7.1.3. Velocidad de agitación

La velocidad de agitación debe ser lo suficiente alta para mantener los sólidos en suspensión para que no decanten. Una velocidad de agitación alta tiende a favorecer la cinética de la reacción pero tiene un costo energético apreciable.

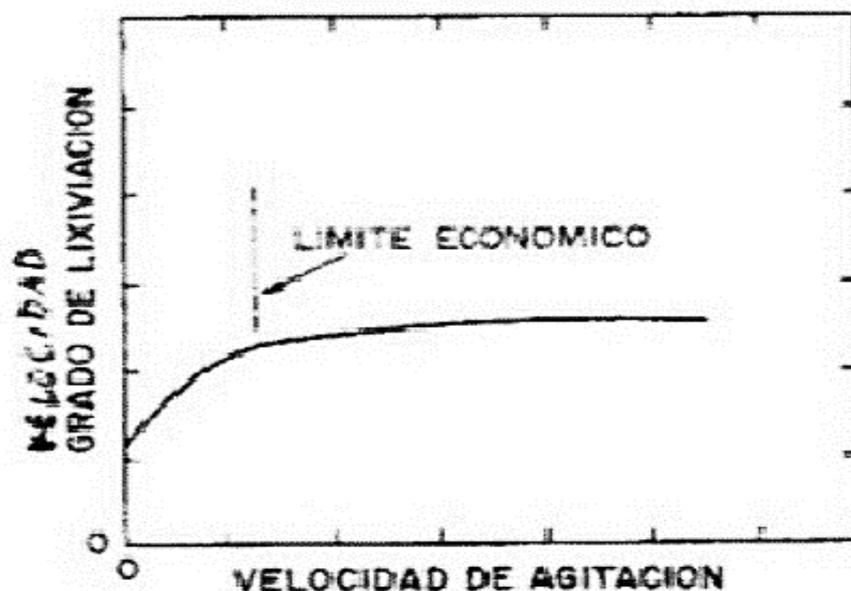


Figura 6: Efecto de la agitación en la velocidad de lixiviación.

Fuente: Velocidad de agitación, (Becerra et al., 2015).

2.8. Cinética de lixiviación

La cinética de las reacciones de lixiviación se describen a menudo por el modelo del núcleo recesivo o núcleo sin reaccionar. En forma global considera que la reacción tiene lugar primero en la superficie exterior de la partícula sólida, después esta zona de reacción se desplaza hacia el interior del sólido dejando atrás el material completamente convertido y sólido inerte, de esta manera el núcleo sin reaccionar se contrae hacia el centro del sólido.

Se supone que el radio exterior inicial del sólido no cambia, mientras que la reacción de disolución continúa. Además, en la mayoría de los casos, este modelo se ajusta mejor al comportamiento real de las partículas (Levenspiel, 2004).

2.8.1. Modelos cinéticos de lixiviación

Los modelos cinéticos que existen para partículas sólidas que reaccionan en un fluido son el modelo del núcleo sin reaccionar y el modelo de conversión progresiva. Estos modelos buscan representar el comportamiento del proceso real mediante una expresión matemática simple y fácil de manejar. En la mayoría de los casos, cuando se aplican estos modelos en la lixiviación de minerales, el modelo del núcleo sin reaccionar representa mejor al comportamiento de las partículas en el medio de lixiviación, que el modelo de conversión progresiva (Levenspiel, 2004).

2.8.1.1. Modelo de conversión progresiva

El modelo de conversión progresiva considera que el reactivo penetra y reacciona a través de toda la partícula sólida de forma continua y progresiva en todo momento. En la Figura 8 se muestra el esquema del comportamiento de las partículas que actúan bajo este modelo (Levenspiel, 2004).

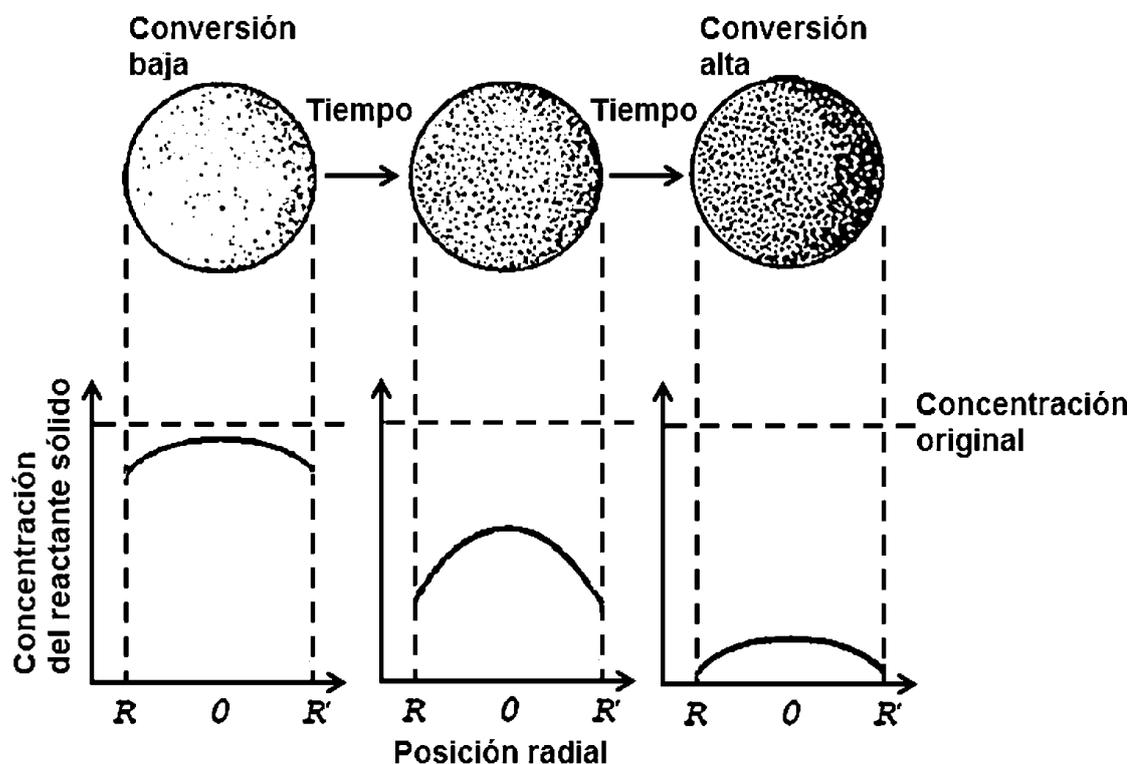


Figura 7: Esquema del modelo de conversión progresiva.

Fuente: Ingeniería de las reacciones químicas, (Levenspiel, 2004).

2.8.1.2. Modelo del núcleo sin reaccionar

El modelo del núcleo sin reaccionar considera que la reacción se produce inicialmente en la superficie externa de la partícula, formándose una zona de reacción que paulatinamente se desplaza hacia el interior del sólido. A medida que la reacción avanza se tiene un material completamente convertido; es decir, un sólido inerte denominado "capa de ceniza" o "capa porosa" y una zona interna de material no reaccionado, que se reduce de tamaño a medida que avanza la reacción. El esquema del comportamiento de las partículas que actúan bajo este modelo se muestra en la Figura 8 (Levenspiel, 2004).

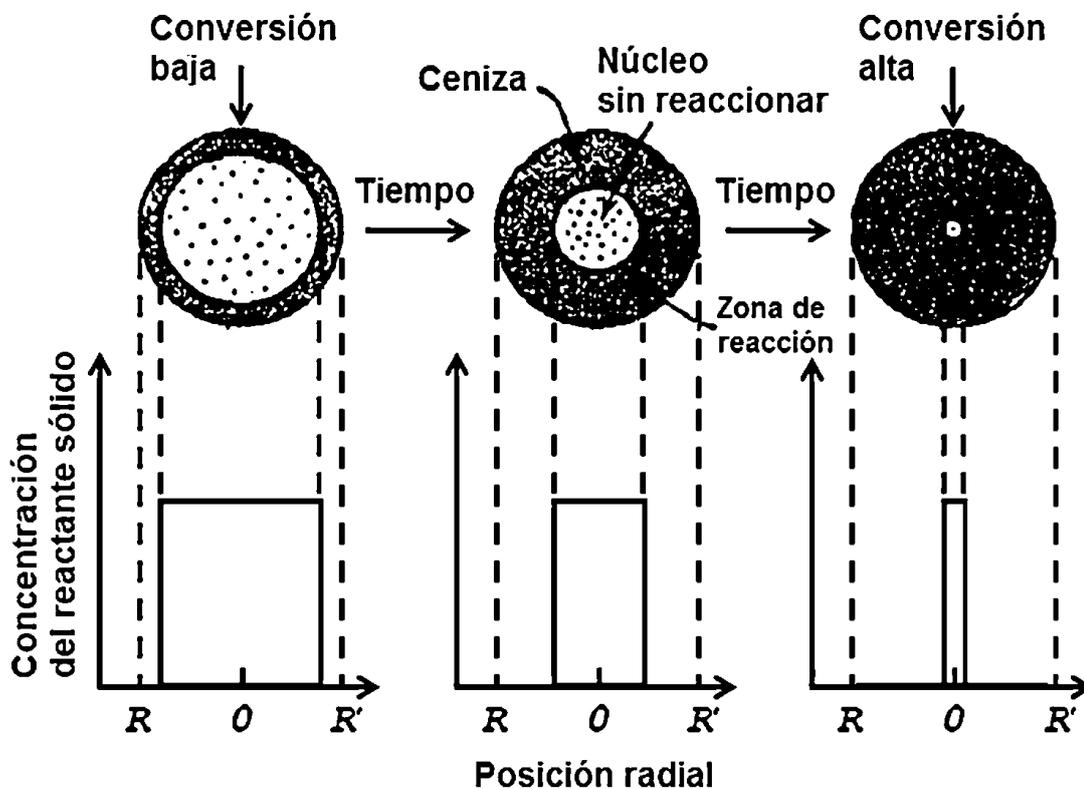
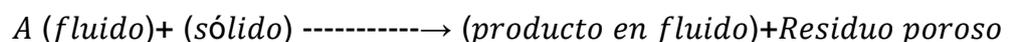


Figura 8: Esquema del modelo del núcleo sin reaccionar.

Fuente: Ingeniería de las reacciones químicas, (Levenspiel, 2004).

La reacción general para describir el comportamiento de un proceso bajo el modelo del núcleo sin reaccionar es la Reacción 7. Donde, b son el número de moles de B consumidos por mol de A reaccionado (Levenspiel, 2004).



Dentro del modelo del núcleo sin reaccionar, se ha desarrollado ecuaciones cinéticas para tres posibles regímenes de control que pueden ser aplicados en los procesos de lixiviación. El primero es el control por difusión en capa porosa, el segundo es el control por reacción química y el restante es por un control mixto que incluye los dos anteriores (Levenspiel, 2004).

A) Control por difusión en capa porosa

En la Figura 8, se muestra la configuración con la que se torna la partícula B y el perfil de concentración de reactivo A en un cierto momento de la lixiviación de una partícula de radio R. El control por difusión en la capa porosa del modelo del núcleo sin reaccionar se describe con la Ecuación (Levenspiel, 2004).

$$1-3(1-X_B)^{2/3}+2(1-X_B)=k_D t$$

Donde:

X_B : Fracción de B que reacciona

k_D : Inversa del tiempo necesario para que $X_B=1$ (1/s)

t : Tiempo de lixiviación (s).

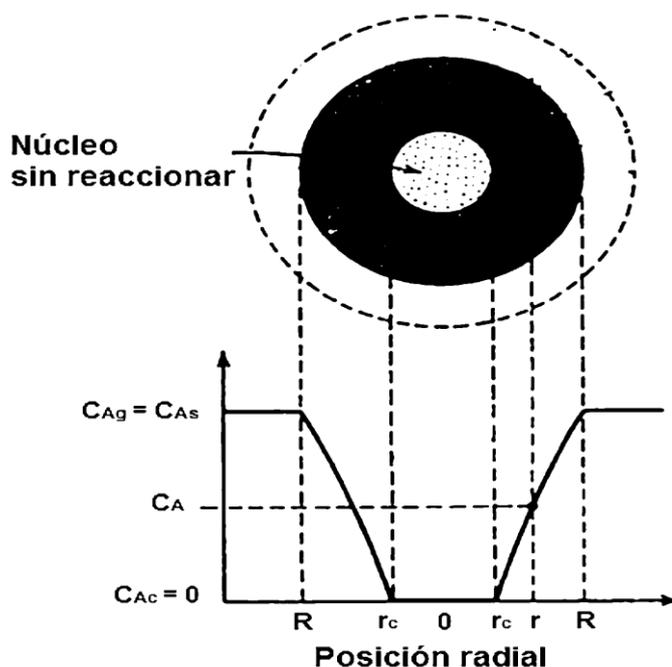


Figura 9: Esquema del modelo del núcleo sin reaccionar cuando existe control por difusión en capa porosa.

Fuente: Ingeniería de las reacciones químicas, (Levenspiel, 2004).

A su vez la inversa del tiempo necesario para lixiviar todo B presente (k_D) esta descrito por la siguiente expresión (Ecuación) (Levenspiel, 2004):

$$k_D = \frac{6bD_e C_{ab}}{\rho R^2} \quad (1)$$

Donde:

b : Moles de B consumidos por mol de A reaccionado

D_e : Coeficiente de difusión efectivo de A a través de la capa de producto (m^2/s).

C_{ab} : Concentración de A en la mayor parte del fluido (mol/m^3).

ρ : Densidad molar de B (mol/m^3) y R Radio de la partícula sólida (m).

B) Control por reacción química

El esquema del control por reacción química se muestra en la Figura 9 donde se detalla la configuración con la que se torna la partícula B y el perfil de concentración de reactivo A. En este tipo de régimen de control la velocidad de reacción es proporcional al tamaño de la superficie del núcleo sin reaccionar. El control por reacción química del modelo del núcleo sin reaccionar se describe con la Ecuación (Levenspiel, 2004).

$$1 - (1 - X_B)^{1/3} = k_R t$$

Donde:

X_B =Fracción de B que reacciona

k_R =Inversa del tiempo necesario para que $X_B=1$ (1/s)

t =Tiempo de lixiviación (s).

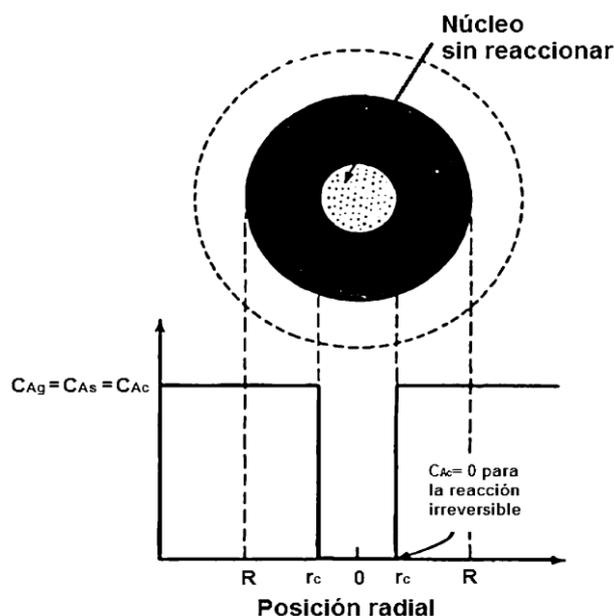


Figura 10: Esquema del modelo del núcleo sin reaccionar cuando existe control por reacción química.

Fuente: Ingeniería de las reacciones químicas, (Levenspiel, 2004).

A su vez la inversa del tiempo necesario para lixiviar todo B presente (k_R); es decir, cuando el radio de la partícula sea cero ($R = 0$), esta descrito por la siguiente expresión (Ecuación) (Levenspiel, 2004):

$$k_R = \frac{bkC_{ab}}{\rho R} \quad (2)$$

Donde:

b : Moles de B consumidos por mol de A reaccionado

k : Constante cinética de primer orden para la reacción superficial (m/s),

C_{ab} : Concentración de A en la mayor parte del fluido (mol/m³)

ρ : Densidad molar de B (mol/m³)

R : Radio de la partícula sólida (m)

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio $[H_3O]^+$ presentes en determinadas disoluciones.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1 Materiales de Vidrio

- ❖ Fiolas de 100 mL.
- ❖ Probetas de 10 y 100 mL
- ❖ Vasos de precipitación de 10, 50, 100 y 250 mL.
- ❖ Pipetas

3.2. Reactivos

- ❖ Nitrato de amonio (NH_4NO_3)
- ❖ Cal viva (CaO)
- ❖ Ácido clorhídrico concentrado (HCl)
- ❖ Agua destilada

3.3. Equipos

- ❖ Agitador magnético térmico. CAT/M6.1
- ❖ Balanza Analítica. Mettler Toledo/AB204
- ❖ Potenciómetro. WATERPROOF TRIMETER (TDS/Ph y TEMP)
- ❖ Chancadora.
- ❖ Molino de bolas.
- ❖ Cuarteador
- ❖ Tamiz
- ❖ Pulverizador

3.4. Diseño metodológico

3.4.1. Tipo y diseño de Investigación

Para el presente trabajo se aplicó el diseño experimental de box-Behnken para $K=3$ y factores 2^k . Estos diseños se forman combinados factoriales 2^k con diseño de bloques incompletos. Los diseños resultantes suelen ser más eficientes en términos del número de corridas requerido. Además, son rotables (o casi rotables) y hace la estimación de los coeficientes de primer y segundo orden más eficiente.

Tabla 3: Diseño Box-Behnken para tres variables codificado

Corridas	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

Tabla 4: Valores máximos y mínimos

Factores	Unidad	Niveles	
		Mínimo (-)	Máximo (+)
A: Concentración de nitrato de amonio	g/L	100	130
B: pH	Escala	9,6	10,5
C: Tiempo de lixiviación	Horas	4	16

El modelo de la ecuación de regresión:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_1^2 + b_5X_2^2 + b_6X_2X_3 + b_7X_1X_2X_3$$

Donde:

Y = Variable respuesta

X₁ = Concentración de nitrato de amonio

X₂ = pH

X₃ = Tiempo de lixiviación

- b₀, b₁, b₂, b₃, b₄, b₅, b₆ y b₇ coeficientes de correlación lineal de la ecuación.

La tabla 5, contiene los diseños de box-Behnken para $K= 3,4$ y 5 factores. Como ayuda para apreciar las simetrías de dicho diseño de box-Behnken a tres niveles con 13 ensayos y 2 repeticiones, para $k= 3$ factores lo cual se realizó 15 pruebas experimentales de acuerdo al programa de STATGRAPHICS.

Tabla 5: Factores y niveles de combinación para la lixiviación de minerales oxidados de Cu.

Pruebas	Concentración (g/L)	pH	Tiempo (t)
1	130	10,05	10
2	130	10,05	10
3	130	10,05	10
4	100	9,6	10
5	160	9,6	10
6	100	10,5	10
7	160	10,5	10
8	100	10,05	4
9	160	10,05	4
10	100	10,05	16
11	160	10,05	16
12	130	9,6	4
13	130	10,5	4
14	130	9,6	16
15	130	10,5	16

Los diseños de box-Behnken factoriales incompletos a tres niveles en los puntos experimentales están acogidos especialmente para permitir la estimación eficiente de los coeficientes de un modelo de segundo orden.

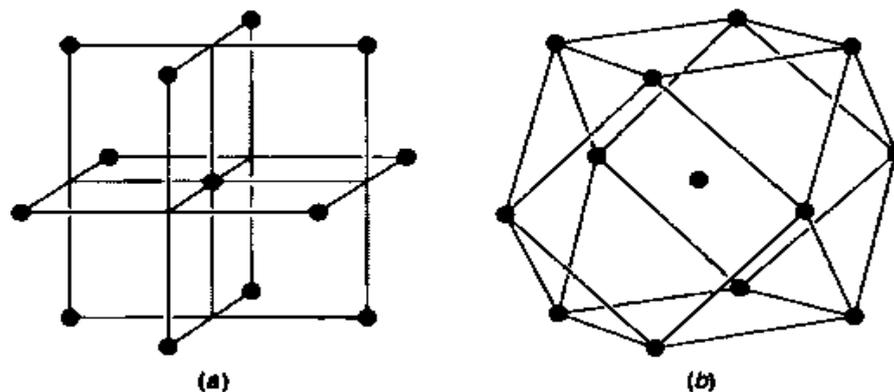


Figura 11: Dos representaciones del diseño de Box-Behnken para tres factores.

3.5. Metodología de la Investigación

3.5.1. Población y muestra

La toma de muestra del mineral oxidado, se realizó de manera manual del yacimiento minero Socsan localizada en el distrito de Pucará. Este yacimiento esta subdividido en tres zonas, zona de sulfuros primarios, zona de sulfuros secundarios y zona oxidada.

El Muestreo aleatorio simple consiste en la selección de n fragmentos o unidades del lote, de modo que todas las muestras posibles de tamaño n tengan la misma probabilidad de ser elegidas. Muestras se toman en intervalos de tiempo o espacio variables y distribuidos al azar, (Quispe, 2015).

Para el trabajo de investigación, se realizó un muestro aleatorio simple de la zona oxidada de los diferentes puntos, a intervalos de tiempo en forma sistemática, usando como herramienta pico, pala y sacos de recolección, obteniéndose una muestra de 1200 g de mineral, con un tamaño aproximado de 3" y 5" pulgadas.

La preparación del mineral oxidado es una operación importante, para obtener una muestra homogénea y representativa, ya que los resultados del proceso dependerán de los criterios de muestreo y preparación del mineral (Quille, 2009).

3.5.2 Variables

El presente estudio de trabajo consta de dos variables:

- ❖ **Variable independiente:** Concentración Nitrato de amonio, pH y tiempo.
- ❖ **Variable dependiente:** Porcentaje de extracción de Cobre.

3.6. Procedimiento del experimento

3.6.1. Preparación de muestra del mineral oxidado de cobre

El procedimiento del experimento corresponde al primer objetivo específico y se realiza siguiendo las operaciones de trabajo por Gacés et. al. (2010), considerando la muestra representativa del yacimiento minero Socsan, es heterogénea, por lo cual se realiza las operaciones necesarias del mineral y se procede de la siguiente manera:

- ❖ **Chancado:** Es la primera etapa de la operación en la cual se aplica la fuerza mecánica para romper trozos grandes de mineral hasta reducirlos a un tamaño menor (fragmentos de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{5}{8}$ " – $\frac{2}{4}$ ") utilizando fuerzas de comprensión y en menor proporción fuerza de fricción, flexión, cizallamiento u otras (Lobato, 2011).

- ❖ **Molienda:** esta operación de molienda permite la reducción del tamaño del mineral hasta, a tener una granulometría final deseada, mediante los diversos aparatos que trabajan por choques, aplastamiento o desgaste (Lobato, 2011).

- ❖ **Pulverizado:** La operación se realiza con la mitad de la muestra, realizando la limpieza respectiva de la olla y anillos, las muestras son colocadas en orden secuencial para minimizar las confusiones. Teniendo estos datos en cuenta se procede a pulverizar la muestra entre 3 a 6 min de acuerdo a lo se observa y así poder conseguir para un tipo de mineral para un pulverizado de 80% malla -200.

❖ **Tamizado:** Este proceso consiste en pasar el material sucesivamente por una serie de tamices o cedazos que posean orificios o mallas progresivamente decrecientes, teniendo en cuenta la malla deseada - 100 y -200. El material que pasó a través de un tamiz y ha sido retenido en el siguiente porque sus orificios son de tamaño menor que el anterior, suele considerarse como de tamaño igual a la media aritmética de la abertura de ambos tamices, éste valor representa el "tamaño medio" o diámetro medio" y se representa por Dm. (UNAM, 2015).

❖ **Cuarteo:** Se realiza la mezcla del mineral oxidado y luego se procede a realizar el cuarteo repetitivamente, esta consiste en formar una pequeña pila con el mineral muestreado, en forma de un cono, luego, este se aplana de una manera uniforme, formando un círculo cónico de una altura muy inferior a la del cono, a este círculo se le divide en cuatro partes simétricas, mediante una cruz concéntrica, luego se separan las 4 partes, para desechar 2 partes opuestas por el vértice y juntar las otras 2 que quedan para formar nuevamente otra pila más pequeña y realizar la misma operación anterior hasta considerar que el producto del último cuarteo contenga una cantidad pequeña requerida por el laboratorio (Chambilla, 2011).

3.6.2 Evaluación de los parámetros óptimos de lixiviación de cobre

3.6.2.1 Proceso de pruebas de lixiviación de cobre

Este proceso corresponde al segundo objetivo específico; las pruebas de remoción se realizan de acuerdo a la ecuación, tabla de combinaciones del diseño experimental:

- ❖ Se prepara distintas soluciones a una concentración de 100 g/L, 130 g/L y 160 g/L de ANFO a (nitrato de amonio 90%).
- ❖ Se toma 20 g de muestra de mineral para las 22 pruebas realizadas (15 pruebas de combinación por Software STATGRAPHICS), 7 pruebas para la cinética); seguidamente se agregó a cada vaso precipitado.

- ❖ Ya teniendo las muestras respectivas, se ajustó el pH 9,6; 10.8 y 12; con solución de CaO la cantidad necesaria para poder mantener al pH correspondiente.
- ❖ Luego se procede a agitar constantemente a 350 rpm a temperatura ambiente según los tiempos establecidos de 4,10 y 16 h.
- ❖ Posteriormente se dejó en reposo con la finalidad de precipitar la solución, se procede a filtrar toda la solución rica en cobre y se agregó cantidad de agua para no dejar restos de concentración.
- ❖ Finalmente se pone la solución rica en cobre en frascos frascos estériles y se procede a rotular para su respectivo envío, análisis en Laboratorios Analíticos del Sur.

3.6.3 Determinación del modelo cinético de lixiviación

La determinación del modelo cinético de lixiviación corresponde al tercer objetivo específico y se determina aplicando el Modelo del núcleo sin reaccionar por:

A) Control por difusión en capa porosa

El control por difusión en la capa porosa del modelo del núcleo sin reaccionar se aplica la Ecuación de Levenspiel:

$$1-3(1-X_B)^{2/3}+2(1-X_B)=k_D t \quad (3)$$

Donde:

X_B : Fracción de B que reacciona

k_D : Inversa del tiempo necesario para que $X_B=1$ (1/s)

t : Tiempo de lixiviación (s).

B) Control por reacción química

En este tipo de régimen de control la velocidad de reacción es

proporcional al tamaño de la superficie del núcleo sin reaccionar. El control por reacción química del modelo del núcleo sin reaccionar se aplica la Ecuación de Levenspiel:

$$1 - (1 - X_B)^{1/3} = k_R t \quad (4)$$

Donde:

X_B =Fracción de B que reacciona

k_R =Inversa del tiempo necesario para que $X_B=1$ (1/s)

t =Tiempo de lixiviación (s).

3.5. Ubicación del yacimiento minero Socsan

La minera Socsan está ubicado a 7 Km al sur del distrito de Pucará, de la provincia de Lampa, departamento de Puno, con las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud: 15°05'06.2" S

Longitud: 70°21'54.3" W

Coordenadas: -15.085056, -70.365094



Figura 12: Ubicación geográfica del yacimiento minero Socsan.

En el yacimiento minero Socsan, los cuerpos mineralizados de cobre del yacimiento llamado mina Gladys V y VI originalmente fueron generados por soluciones hidrotermales formándose sulfuros. Con el transcurso del tiempo estos minerales sulfurados han sufrido una serie de transformaciones mineralógicas y química formándose sulfuros secundarios de menor estabilidad.

Acercándose hacia la superficie del yacimiento están constituidas de minerales de malaquita ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$), Azurita ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$), cuprita (Cu_2O), estos minerales están cubiertos por una capa adicional denominada zona lixiviada (Quille, 2009).

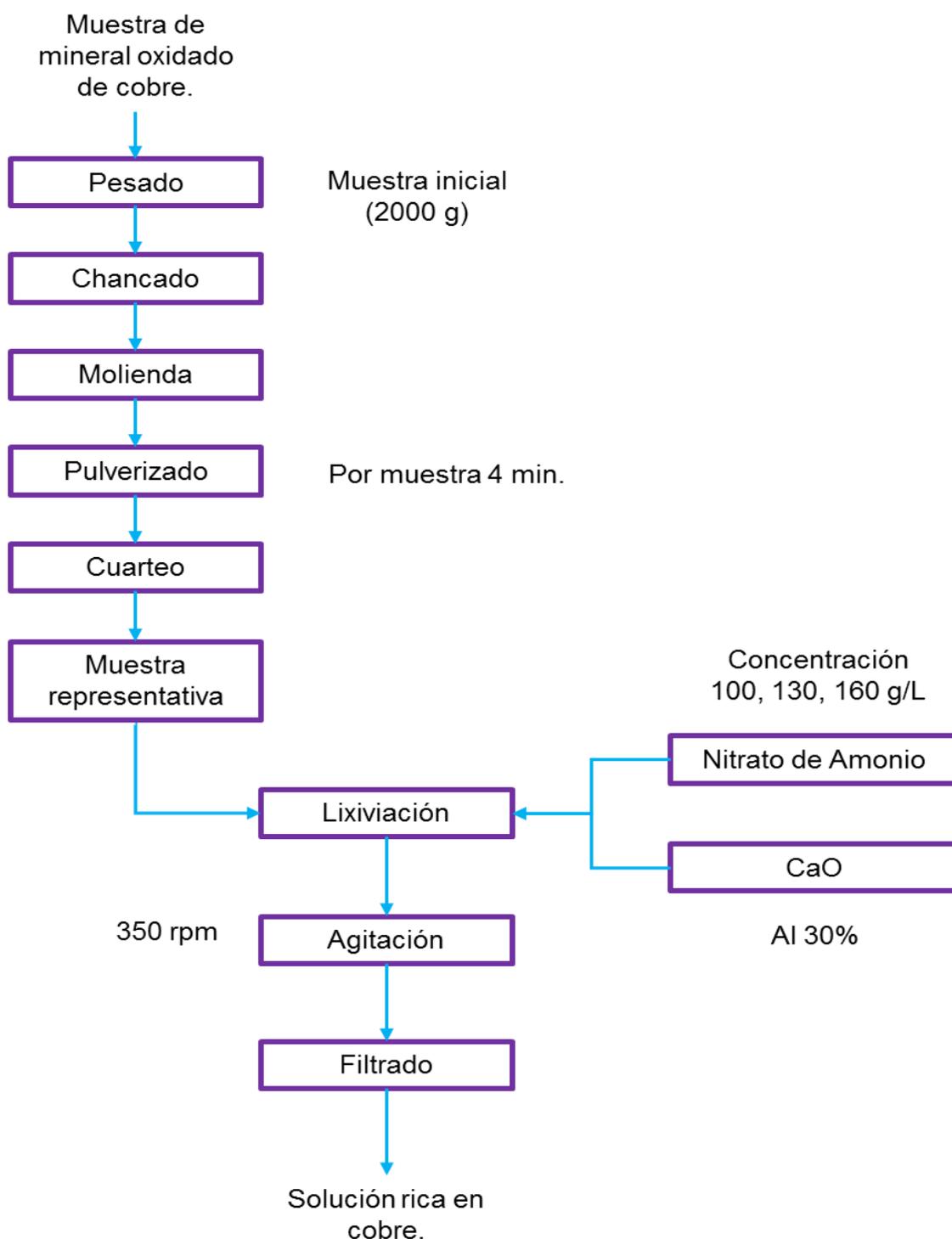


Figura 13: Diagrama del proceso de lixiviación del mineral oxidado de cobre

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Preparación de muestra del mineral oxidado de cobre

La preparación de muestra del mineral oxidado corresponde al primer objetivo específico y se observa según la tabla 4 y para su determinación de ley del mineral se realizó en Laboratorios Analíticos del Sur (LAS) aplicando por el Método de Ensayo para Cobre por Absorción atómica.

Tabla 6: Resultados de análisis de la muestra del mineral oxidado

Muestra inicial del mineral oxidado (g)	1 ^{er} cuarteo (g)	2 ^{do} cuarteo: mineral pulverizado (g)	Malla	Porcentaje de cobre (%)
2000	1000	500	-100 -200	8.6

Fuente: Laboratorio de Ensayo Acreditado por la Dirección de Acreditación del INACAL con registro N° LE-050.

Según tabla 6, se observa los resultados de análisis de la muestra del mineral oxidado pulverizado; a partir 2000 g del mineral se realizó el respectivo cuarteo, de los cuales el 2^{do} cuarteo pulverizado de muestra de estudio representativa con tamaño de mineral oxidado pulverizado pasado por malla -100 -200 para optimizar el proceso de lixiviación del mineral oxidado de Cu, con una ley de 8,6 % de Cu, esto implica, que la muestra de estudio presenta una alta ley de concentración Cu.

Discusión:

Los resultados de tabla 6, de preparación de muestra del mineral oxidado se trabajó con mineral oxidado pulverizado pasado por malla -100 -200; dicho resultado se valida con Fernandez (2007), quien preparó muestra del mineral pasado por una malla a -200; del mismo, Quille (2010) realizó su estudio con tamaño de malla a -60 según ASTM; además, estos resultados se corrobora por Roldan y Urbina (2015), con tamaño de partícula malla 100. Por lo tanto, la malla de -200 es más eficiente para optimizar el proceso de lixiviación del mineral oxidado de Cobre.

4.2. Evaluación de los parámetros óptimos de lixiviación de cobre

La evaluación de los parámetros óptimos de lixiviación de cobre, corresponde al segundo objetivo específico y se obtuvo de acuerdo a los resultados del INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIOS ANALITICOS DEL SUR (Anexo 4), de la ciudad de Arequipa; considerando como constante de operación los siguientes valores:

Agitación : 350 rpm
Temperatura : Ambiente (15-16 °C)

Tabla 7: Evaluación de parámetros óptimos de lixiviación.

Pruebas	Concentración (g/L)	pH	Tiempo (h)	% de Extracción
1	130	10,05	10	95,9
2	130	10,05	10	92,4
3	130	10,05	10	85,1
4	100	9,6	10	64,2
5	160	9,6	10	91,7
6	100	10,5	10	30,3
7	160	10,5	10	91,2
8	100	10,05	4	85,6
9	160	10,05	4	89,9
10	100	10,05	16	36,0
11	160	10,05	16	75,3
12	130	9,6	4	80,0
13	130	10,5	4	93,8
15	130	9,6	16	70,6
15	130	10,5	16	45,9

Fuente: Certificado de análisis de Laboratorios Analíticos del Sur, 2018.

Según tabla 7. Se observa los resultados de Evaluación de parámetros óptimos de lixiviación; de los cuales los parámetros óptimos de prueba 1 es eficiente con un 95,6 % de extracción de Cu (Cálculo del % de extracción de cobre, anexo 4) a una concentración 130 g/L de NH_4NO_3 , tiempo de 10 h y a un pH de 10,05; seguidamente la prueba 13 con un 93,8% de extracción de Cu, a una concentración de 130 g/L de NH_4NO_3 , tiempo de 4 h y a un pH de 10,5; siendo la extracción mínima fue en la prueba 9 a una de concentración de 100g/L de NH_4NO_3 , tiempo 16 h y a un pH de 10,05. Estos resultados se deben, a menor concentración y a mayor tiempo la extracción de Cu no es óptima, debido a que la solución rica en cobre se cristaliza.

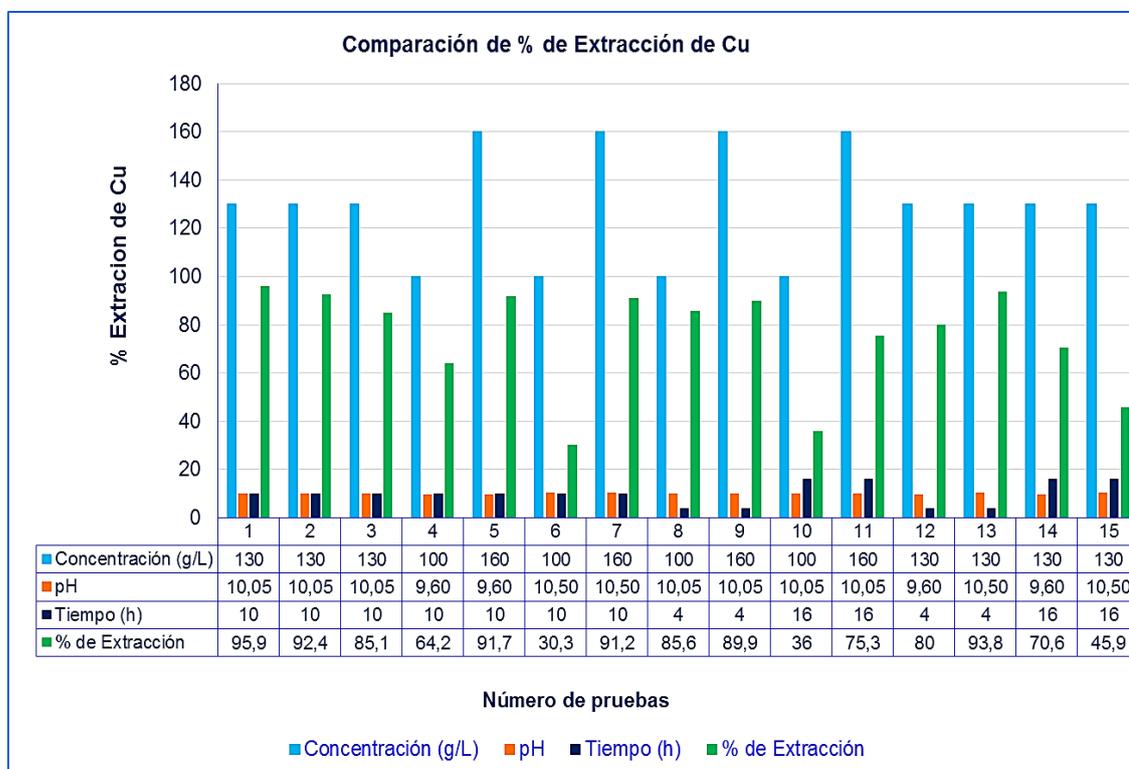


Figura 14: Porcentaje de extracción de Cu según parámetros

Según la Figura 14, se observa el histograma de los resultados del porcentaje de extracción de cobre según parámetros, de los cuales, en los diferentes procesos de pruebas de lixiviación, el porcentaje de extracción de Cu dependen directamente de los parámetros de pH, Tiempo y Concentración de NH_4NO_3 ; siendo la prueba uno el más óptimo, es decir, para la extracción Cu a partir del mineral oxidado, los parámetros optimo son NH_4NO_3 a una concentración de 130 g/L, pH de 10,05 y tiempo de 10 h.

Tabla 8: Porcentaje de extracción de Cu

Tiempo (h)	% de Extracción
0	0
0,5	35,14
1	48,86
2	62,67
3	78,64
4	91,65
5	93,24
6	94,92

Según tabla 8, se observa el porcentaje de extracción de Cu, de los cuales en 0,5 h se obtuvo un 35,14 % de extracción, lográndose extraer en un tiempo de 6 h un 94,92% de cobre.

Tabla 9: Cuadro de parámetros óptimos.

Pruebas	Concentración (g/L)	pH	Tiempo (h)	% de Extracción
1	130	10.05	10	95.9
13	130	10.5	4	93.8

Según tabla 9, se observa los parámetros óptimos para la lixiviación de minerales oxidados de cobre, para condiciones de estudio de investigación los parámetros óptimos es 130 g/L de concentración de NH_4NO_3 , tiempo de 10 h y a un pH de 10,05 y desde el punto vista para una planta industrial los parámetros óptimos de 130 g/L de concentración de NH_4NO_3 , tiempo de 4 h y a un pH de 10,5.

Discusión:

Según los resultados obtenidos se discute:

De tabla 7, los parámetros óptimos de lixiviación para el mineral oxidado de cobre de la prueba 1 es de 130 g/L de concentración de NH_4NO_3 , tiempo de 10 h y a un pH de 10,05; con un 95,6 % de extracción de Cu. Del mismo modo en la prueba 13 es de 130 g/L de NH_4NO_3 , tiempo de 4 h y a un pH de 10,5; con un 93,8% de extracción de Cu; sin embargo, Bustamante (2016), en su trabajo de "Lixiviación de cobre con EDTA en minerales oxidados de cobre de la

Compañía Minera Tintaya Antapaccay” lixivió con EDTA a concentración 0,2 M, pH 12 y tiempo de agitación de 180 min; obteniendo una extracción del 74% de Cu. Similar resultado obtuvo Cárdenas et al., (2017) con relación sólido/líquido (Rs/L) 5/1, se consideró a un nivel de pH= 9,5 y un tiempo de lixiviación de 6 días, así obteniendo un porcentaje de recuperación del 65 % de cobre y por otro lado Roldan y Urbina (2015), en su trabajo de estudio “Lixiviación Amoniacal del Mineral de Cobre Tipo Crisocola Utilizando Nitrato de Amonio”, con pH 9,5; concentración del disolvente NH₃ 3,706 g/L – 6,672 g/L y tiempo 5 h; obteniendo un de 45,36 % de extracción de Cu; estos resultados tiene concordancia citado por Gacés (2015) indica que en la lixiviación de minerales depende de los factores de pH, tiempo y la velocidad de agitación; por consiguiente, los resultados obtenidos del presente estudio son similares a los resultados obtenidos citados en los párrafos precedente y por lo tanto queda validado las hipótesis planteadas.

4.2.1. Análisis STATGRAPHICS

El análisis estadístico de los resultados se realizó con la ayuda del Software STATGRAPHICS Centurión XVI.I; tal como se observa en los siguientes:

Tabla 10: Efectos estimados para la extracción de Cu (%)

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	91,1333	2,81415	
A:Concentracion	24,4625	4,22123	1,29911
B:PH	-2,7875	4,22123	1,29911
C:Tiempo	-30,375	3,44662	1,0
AA	-14,1208	5,62831	1,16667
AB	-0,375	6,89324	1,46429
AC	17,5	4,87426	1,0
BB	-12,3708	5,62831	1,16667
BC	-19,25	4,87426	1,0
CC	-24,7458	5,62831	1,14286

En la tabla 10, muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones.

También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1,46429. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

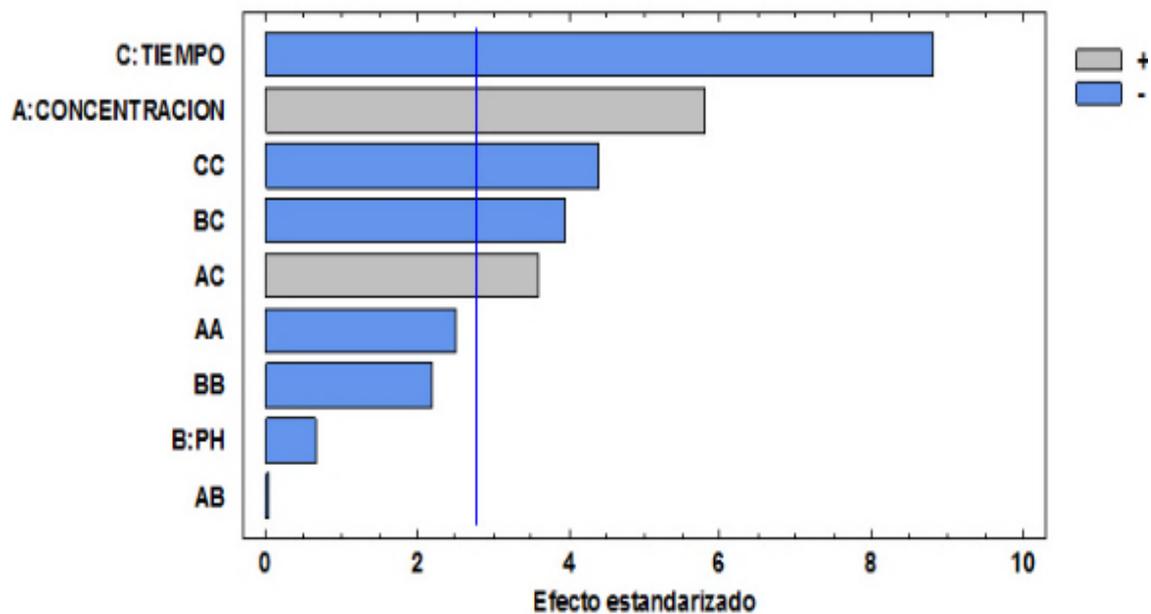


Figura 15: Diagrama de Pareto estandarizado de extracción de Cu

En la figura 15, se muestra el diagrama de pareto estandarizado, de los cuales se observa que la variable de tiempo es más significativo, seguido de la variable de concentración de nitrato de amonio, las que influyen sobre el proceso de lixiviación del mineral oxidado de cobre; teniendo entre la interacción de variables BC indica que el pH es significado; es decir, la variable depende de la concentración de nitrato de amonio. Estos resultados de diagrama de pareto son similares a los resultados de Bustamente (2012) quien obtuvo como variable más significativo la concentración de EDTA, Temperatura y tiempo de agitación; sin embargo la variable pH es poco significativo.

Tabla 11: Análisis de Varianza aplicando el programa STATGRAPHICS

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:CONCENTRACION	797,885	1	797,885	33,58	0,0044
B:PH	10,3602	1	10,3602	0,44	0,5451
C:TIEMPO	1845,28	1	1845,28	77,67	0,0009
AA	149,548	1	149,548	6,29	0,0661
AB	0,0703125	1	0,0703125	0,00	0,9592
AC	306,25	1	306,25	12,89	0,0230
BB	114,778	1	114,778	4,83	0,0929
BC	370,563	1	370,563	15,60	0,0168
CC	459,267	1	459,267	19,33	0,0117
Error total	95,0335	4	23,7584		
Total (corr.)	4437,78	3			

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 11, se observa los siguientes datos: R-cuadrada = 97,8585 por ciento, R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 93,0402 por ciento, Error estándar del est. = 4,87426, Error absoluto medio = 2,00298, Estadístico Durbin-Watson = 1,54549 ($P=0,1537$) y Auto correlación residual de Lag 1 = 0,106555

Según tabla 11, se observa el análisis de varianza, el valor de probabilidad para concentraciones de nitrato de amonio es 0,0044 que es menor a 0,05; por lo tanto es significativo, así mismo el valor de probabilidad de variable tiempo es 0,0009 también es menor a 0,05 se concluye que es altamente significativo, es decir, se prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 5 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%. Por lo tanto, estos resultados son similares a los resultados que obtuvo Álvarez (2012) con un R^2 de 95,4356 por ciento y un R^2 ajustado de 93,9141 por ciento.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 97,8585% de la variabilidad en % EXTRACCIÓN. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 93,0402%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 4,87426. El error medio absoluto (MAE) de 2,00298 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%; no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

Gráfica de Efectos Principales para % EXTRACION

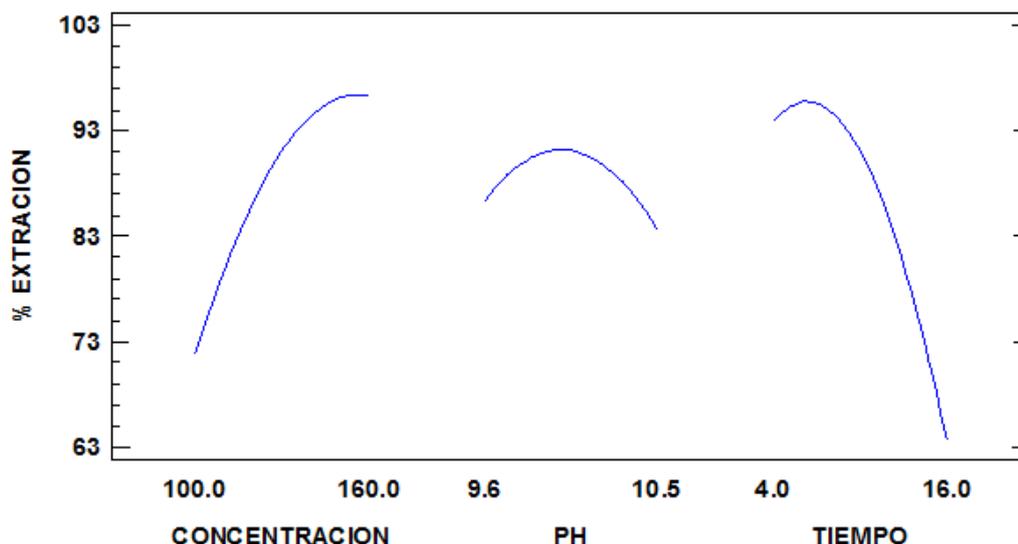


Figura 16: Efectos principales para la extracción de Cu

La figura 16, nos muestra los efectos principales para la extracción de Cu, de los cuales a mayor concentración de Nitrato de Amonio aumenta el % de extracción y lo mismo ocurre con la variable de tiempo, y el pH no tiene mayor efecto.

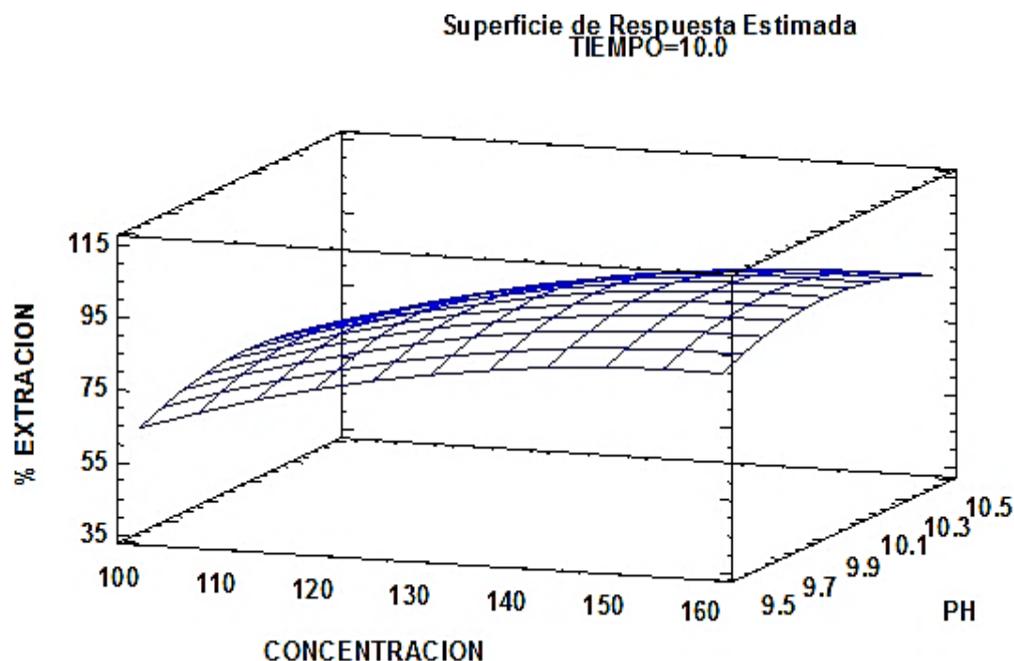


Figura 17: Superficie de respuesta estimada

La figura 17, nos muestra la superficie de respuesta estimada para la concentración aproximado de 150 y pH 10, el porcentaje de extracción de Cu es de 94% aproximadamente a tiempo constante.

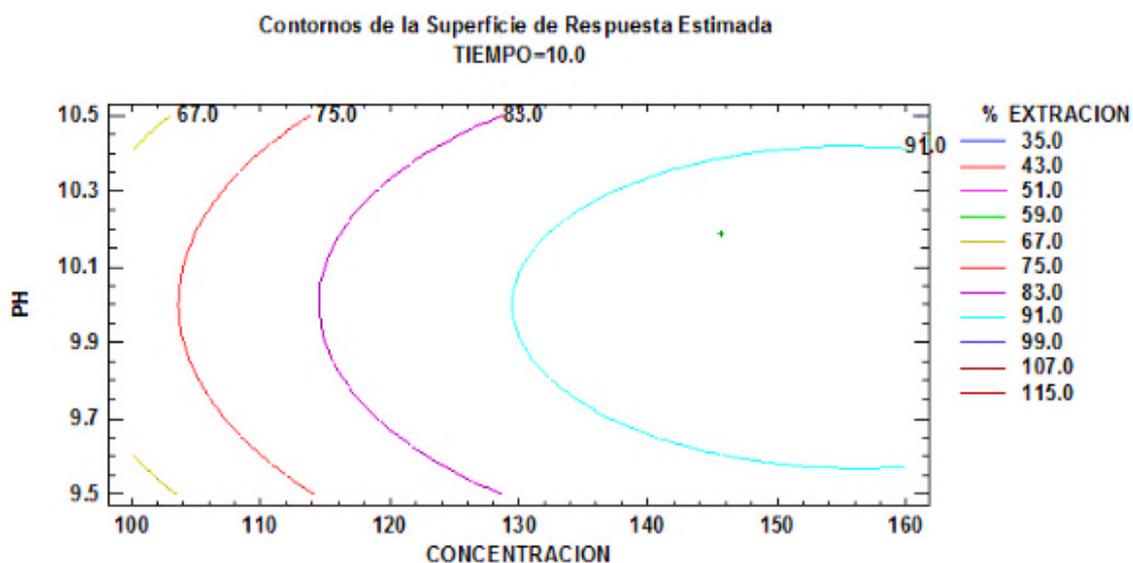


Figura 18: Contornos de la Superficie de la Respuesta estimada

En la figura 18, se observa el contorno de la Superficie de la Respuesta Estimada, en el cual, el porcentaje de extracción óptima es 94% de Cu.

Tabla 12: Optimización de la respuesta STATGRAPHICS

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Concentración	100,0	160,0	145,681
pH	9,6	10,5	10,1877
Tiempo	4,0	16,0	6,7126

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla 12, muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza % EXTRACCIÓN sobre la región indicada; siendo el valor óptimo 98,2015. Por lo tanto las variables óptimas del proceso de lixiviación de Cu siendo la concentración de nitrato de amonio 149 g/L, pH 10,2 y tiempo de lixiviación de 6,8 h.

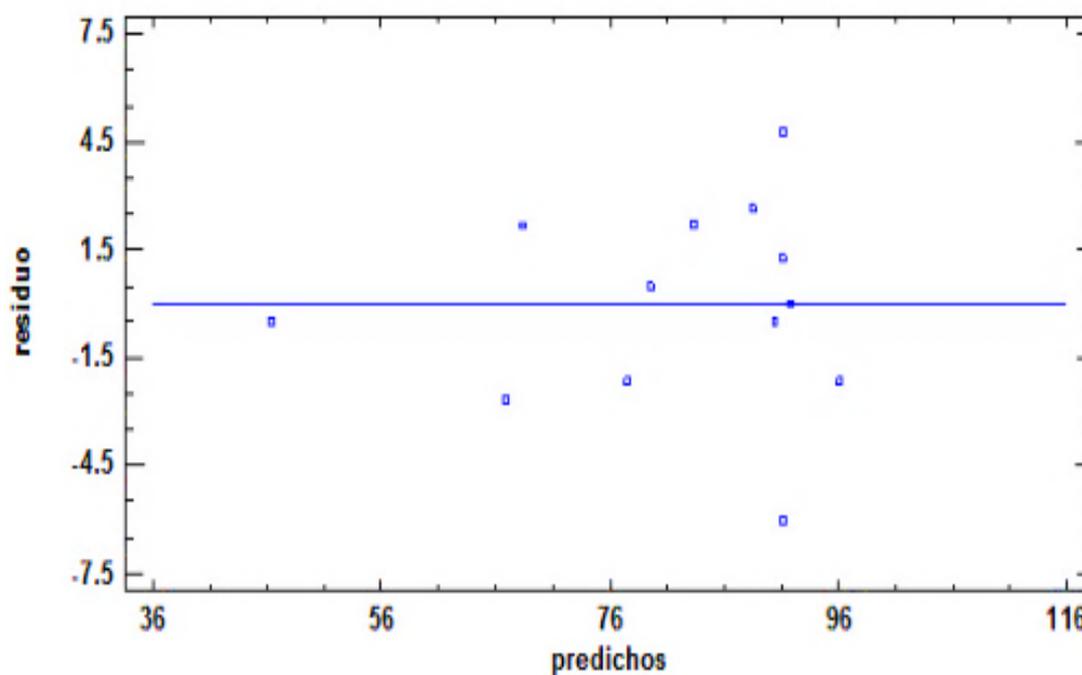


Figura 19: Grafica de Residuos para la extracción

La figura 19 nos muestra gráfica de residuos para porcentaje de extracción de Cu, solo 2 puntos son dispersos, el resto de los puntos se encuentra dentro de los límites aceptables.

4.3 Determinación del modelo cinético de lixiviación

4.3.1. Tiempo de lixiviación del mineral oxidado

Los resultados del tiempo de lixiviación del mineral oxidado corresponden al tercer objetivo específico y se realizó pruebas de lixiviación a diferentes tiempos a una concentración de 130 g/L de nitrato de amonio a un pH de 10,5.

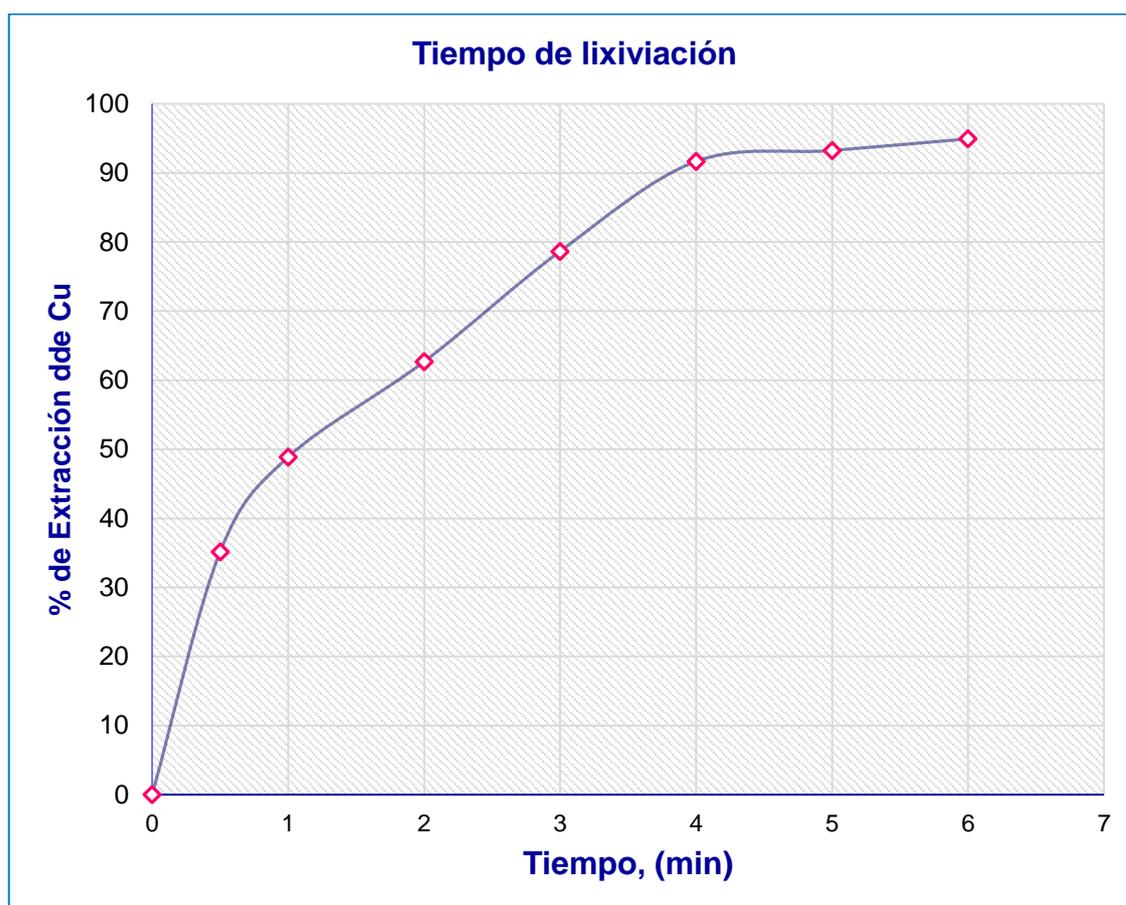


Figura 20: Tiempo de Lixiviación del mineral Oxidado de Cu.

Según la figura 20, se realizó pruebas para determinar el tiempo de lixiviación ideal para el mineral oxidado de Cu; en tiempos 0,5 h; 1 h; 2 h, 3 h, 4 h, 5 h y 6 h. Los resultados obtenidos muestran que desde los 6 h hay una recuperación de cobre constante.

4.3.2. Modelo cinético del núcleo sin reaccionar

El modelo cinético se desarrolló para dos posibles regímenes de control que se han aplicado en el proceso de lixiviación.

4.3.2.1. Control por difusión en capa porosa

Tabla 13: Modelo de control por difusión en capa porosa

Tiempo (h)	Control por Difusión en capa porosa
0	0,00
0,5	0,05
1	0,10
2	0,19
3	0,36
4	0,59
5	0,64
6	0,70

Fuente: Elaboración propia.

Según tabla 13, se observa los resultados del modelo de control por difusión en capa porosa, aplicando la fórmula $1-3(1-X_B)^{2/3}+2(1-X_B)$, a partir de un tiempo inicial 0 h hasta 6 h con resultado de forma ascendente de 0,0 a 0,7 de difusión de capa porosa.

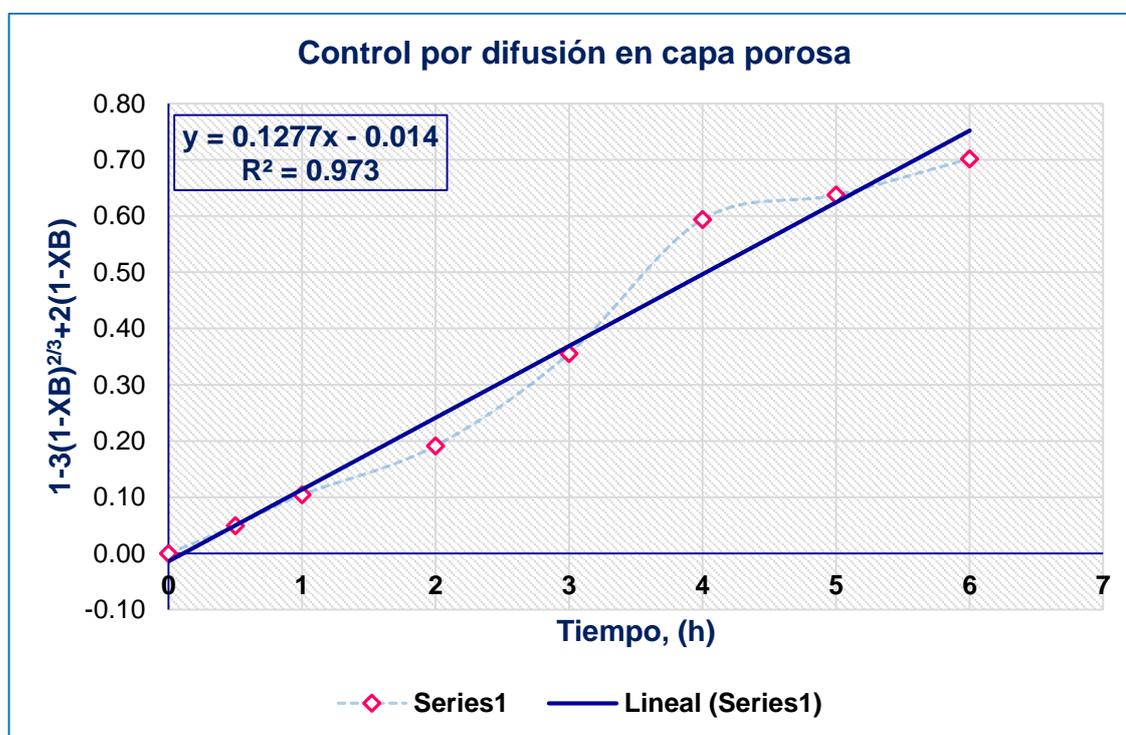


Figura 21: Modelo de control por difusión en capa porosa

Según la figura 21, se observa el proceso de cinética de lixiviación, del cual los datos ajustados al modelo de control por difusión en capa porosa, indica el 97,3% de extracción de Cu; por lo tanto, este modelo se ajusta mejor a los datos obtenidos del proceso de lixiviación del mineral oxidado con nitrato de amonio.

4.3.2.2. Modelo cinético del núcleo sin reaccionar

Tabla 14: Modelo de Control por reacción química

Tiempo (h)	Control por reacción química
0	0,00
0,5	0,13
1	0,20
2	0,28
3	0,40
4	0,56
5	0,59
6	0,64

Fuente: Elaboración propia.

Según tabla 14, se observa los resultados de Control por reacción química aplicando la fórmula $1-(1-X_B)^{1/3}$, a partir de un tiempo inicial 0 h hasta 6 h con resultado de forma ascendente de 0,0 a 0,64 de control por reacción química.

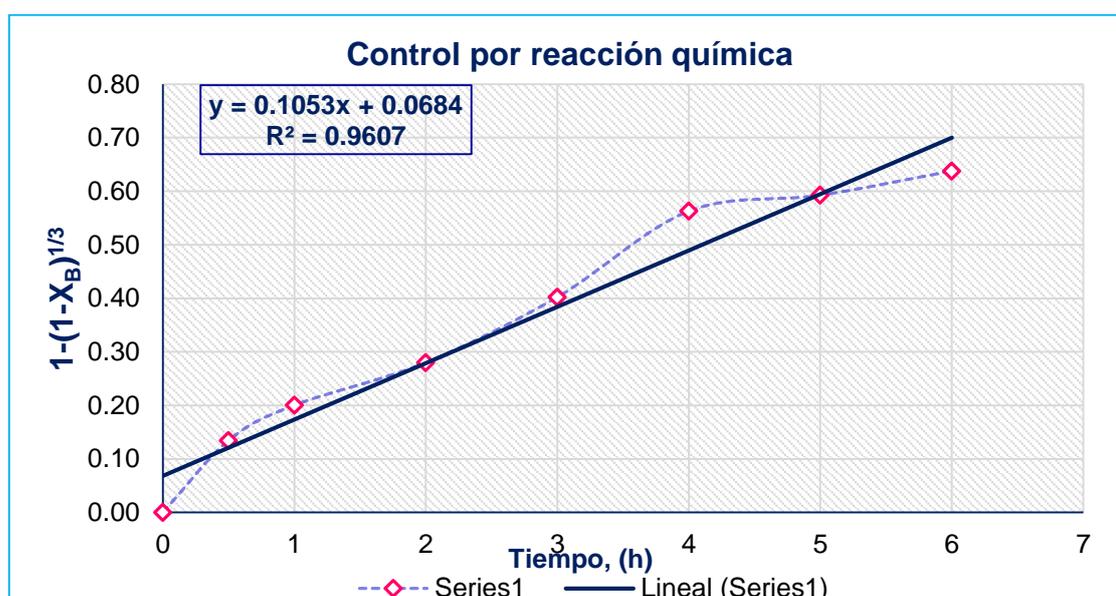


Figura 22: Modelo de Control por reacción química

Según la figura 22, se observa el proceso de cinética de lixiviación, del cuales los datos ajustados al modelo de control por reacción química, indica el 96,07% de extracción de Cu con nitrato de amonio.

Discusión:

Según los resultados obtenidos se discute:

De la figura 22, los datos ajustados al modelo de control por difusión en capa porosa, indica el 97,3% de extracción de Cu y en cambio en la figura 22 cuales los datos ajustados al modelo de control por reacción química, indica el 96,07 % de extracción de Cu con nitrato de amonio; estos resultados similares a los resultados de Alvarez (2012), quien realizó estudio de lixiviación ácida no oxidativa de calcopirita a 70°C, donde el modelo por difusión en capa porosa se ajusta mejor a los datos de conversión de calcopirita con 98,6% y para el control por reacción química obtuvo un ajuste de 95%. Y por otro lado, citado por Levenspiel (2004) considera que el esquema del comportamiento de las partículas que actúan de acuerdo al modelo del núcleo sin reaccionar con control por difusión en capa porosa y del control por reacción química. Por lo tanto, en el presente estudio, el modelo cinético que mejor describe el proceso de lixiviación es el modelo de control por difusión en capa porosa con un 97,3% de extracción de Cu a partir del mineral oxidado con nitrato de amonio; de tal manera queda validado los resultados obtenidos del presente estudio.

V. CONCLUSIONES

Se determinó la lixiviación del mineral oxidado de Cu mediante el uso de Nitrato de Amonio, del yacimiento minero de SocSan de Pucará-Puno, a partir de una muestra con una ley alta de 8,6% de Cobre; las pruebas del proceso de lixiviación se realizó en un medio básico a una agitación de 350 rpm y a temperatura ambiente, lográndose una extracción de 93,8% de cobre.

Se preparó la muestra del mineral oxidado de cobre, a partir de 2000 g de muestra seleccionada, realizando el respectivo proceso de operaciones metalúrgicas, para optimizar el proceso de lixiviación del mineral oxidado de Cu, logrando obtener un tamaño de mineral oxidado de Cu pulverizado a malla -100 -200, con una ley alta de concentración 8,6% de Cu.

Se evaluó los parámetros de lixiviación del mineral oxidado de Cu, con valores óptimos de 130 g/L de concentración de NH_4NO_3 , tiempo de 4 h y pH de 10,5; lográndose extraer el 93,8% de cobre y un 95,6% de Cu con 130 g/L de concentración de NH_4NO_3 , tiempo 10 h y pH de 10,05; por lo tanto, desde el punto de visto económico los parámetros de extracción del 93,8% de Cu es más eficiente.

Se determinó el modelo cinético de la lixiviación de Cobre, por consiguiente los datos ajustados al modelo de control por difusión en capa porosa $1-3(1-XB)^{2/3}+2(1-XB)$, indica el 97,3% de extracción de Cu, este modelo se ajusta mejor a los datos obtenidos del proceso de lixiviación del mineral oxidado de Cu con nitrato de amonio.

VI. RECOMENDACIONES

Realizar estudios de comportamiento en medio lixiviante (nitrato de amonio) con la finalidad de que sea utilizada como un lixiviante a nivel industrial, optimizando la capacidad y tiempo de extracción.

Realizar el análisis de composición mineralógica de la muestra del mineral de estudio, con la finalidad de mejorar el proceso de lixiviación.

Realizar investigación de lixiviación de cobre con oxidantes adicionales como el oxígeno e hipoclorito que permita la mayor velocidad de reacción.

Realizar estudios de electrodeposición con la solución rica en cobre obtenida en este proceso extracción.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilar, J. A. (2017). *Proceso Alternativo de Lixiviación para la Obtención de Soluciones Ricas en Cobre en la Minería Artesanal de la Región Arequipa*. Arequipa: Universidad Católica San Pablo.
- Andreottola, G., Cossu, R., & Serra, R. (1989). *Método para la evaluación del impacto ambiental de un relleno sanitario*. Institute of Sanitary Engineering Polytechnic.
- Aries, A., Coronado, R., Puente, L., & Lovera, D. (2005). *Refractariedad de concentrados auríferos*. Lima: Revista del Instituto de Investigación FIGMMG.
- Arzutug , E., & Kocakerim, M. (2004). *Leaching of malachite ore in NH₃-Saturated water*. Industrial y Engineering Chemistry Research.
- Ata, O. (2001). *Determination of the Optimum Conditions for Leaching of Malachite Ore in H₂SO₄ Solutions*. Chemical Engineering & Technology.
- Becerra Soto, C., Peralta Quiguata, J., Soria Aldave, J., & Villegas Sánchez, F. (2015). *Lixiviación agitada*. Chile: Universidad Arturo Prat del estado de Chile.
- Bingol, D., Canbazoglu, M., & Aydogan, S. (2005). *Dissolution Kinetics of Malachite in Ammonia*. Hydrometallurgy.
- Bustamante, A. C. (2016). *Lixiviación de cobre con EDTA en minerales oxidados de cobre de la Compañía Minera Tintaya Antapaccay*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Cabe, W., Smith, J., & Harriott, M. (1998). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. McGraw Hill.
- Cárdenas, R., López Díaz, A., & Cruz Medina, F. (2017). *Sistema de Gestión ISO 9001: Técnicas y herramientas de Ingeniería de Calidad para su Implementación*. Colombia : Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Chambilla, J. L. (2011). *Muestreo y cuarteo de minerales*. Tacna.

- Conesa, F., & Vitora, V. (1997). *Estructura general de un estudio de impacto ambiental*. Madrid.
- Dana and hurlbut. (1987). *Manual de Minerología*. México: Reverté S. A.
- Domíc Mihovilović, E. M. (2004). *Hidrometalurgia fundamentos, procesos y aplicaciones*. Chile: Consejo minero de Chile.
- Dud'a , R., Rejl, L., & Alcaraz, J. (2014). *Atlas Ilustrado de los Minerales y las Piedras que Curan*. Madrid: Susaeta Ediciones S. A.
- Espinosa, G. (2012). *Recuperación de Cu a partir de soluciones neutras de sulfato de amonio (NH₄)₂SO₄ por medio de procesos de cementación*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Fernández, I. (2007). *Optimización del proceso de lixiviación clorurante en medio ácido oxidante de concentrados sulfurados de cobre*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Garcés, L., Gutiérrez, A., Meyer, M., Vaca, O., Reyes, P., & Vega, H. (2010). *Laboratorio de Molienda y Tamizado Operaciones con Sólidos*. Colombia : Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería.
- Gupta, C. K., & Mukherjee, T. K. (1990). *Hidrometallurgy in Extraction Processes*.
- Habashi, F. (1983). *Trends in the Hyydrometallurgical Treatment of Copper Oxides Ores*. Arab Mining Journal.
- Haung, D. H., Twildwel, D. L., & Miller, D. J. (2014). *Hidrometalurgia*. Chile: Universidad de Santiago de Chile.
- Hèrnandez, M. E. (2013). *Estudio del equilibrio sólido-líquido de sistemas acuosos de minerales de cobre con agua de mar, aplicado a procesos de lixiviación*. Antofagasta: Universidad de Antofagasta.
- Ingrid, G. (2015). *Metalurgia del cobre*. Chile: Universidad de Antofagasta.
- Kuhn, M. (1974). *Anaconda's Arbiter Process For Copper*. CIM. Bulletin.
- Levenspiel, O. (2004). *Ingeniería de las Reacciones Químicas* . New York: John Wley and Sons.
- Lobato, A. (2011). *Introducción a la metalurgía*. Lima: Intituto de Ingenieros de Mina de Perú.

- Muñoz Portero, M. J. (2011). *Características y usos de los diagramas de Pourbaix*. España.
- Pèrez, F. (2016). *Lixiviación de cuprita en ambiente básico con hidróxido de amonio*. Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Quille, G. (2009). Cinética de lixiviación de minerales de cobre malaquita y azurita con ácidos orgánicos. *Universidad Nacional del Altiplano*.
- Quispe, M. H. (2015). *Modulo Muestreo Geológico*. Geominera R y R Ingenieros S. R. L.
- Roldan , F., & Urbina, J. (2015). *Lixiviación Amoniacal del Mineral de Cobre Tipo Crisicola utilizando Nirao de Amonio*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Surco, M. (2012). *Optimización del proceso de aglomeración y lixiviación en una planta de lixiviación de cobre*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Treybal, R. (2000). *Operaciones de Transferencia de masa*. McGraw Hill.
- UNAM. (2015). *Proceso de separación de minerales*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de Mexico.
- Villanueva, M., Enamorado, Y., Hernández, L., Coto, O., & Pomares, M. (2011). *Caracterización de la biomasa inactiva de Aspergillus niger O-5 como sorbente de Pb (II)*. Quimica nova.

ANEXOS

Anexo 1: Obtención de la muestra de mineral oxidado de cobre.

Anexo 2: Pruebas de lixiviación de mineral oxidado de cobre.

Anexo 3: Envío de muestras.

Anexo 4: Cálculo del % de extracción de cobre

Anexo 5: Certificado de los resultados de análisis.

Anexo 6: Certificado de los resultados de análisis de cinética

ANEXO 1

Obtención de la muestra de mineral oxidado de cobre



1A: Pesado



1B: Chancado



1C: Molienda



1D: Muestra



1E: Cuarteo



1F: Muestra en olla.



1G: Pulverizado



1H: Tamizado



ANEXO 2

Pruebas de lixiviación de mineral oxidado de cobre



2A: Pesado de muestra y reactivo (nitrato de amonio)



2B: Lixiviación



2C: Ajuste de pH



2D: Filtrado de la solución



2E: solución concentrada en Cu.

ANEXO 3

Envío de muestras



3A: Muestra a analizar



3B: Muestras a analizar

ANEXO 4

Cálculo del % de extracción de cobre

A. Cálculo de peso (cobre) en el mineral de cabeza.

Donde:

P_{Cu} = peso de cobre

$d_{sol.}$ = densidad de solución

Datos:

Muestra en peso de mineral = 20 g

Volúmen = 160ml

$$P_{Cu} = 20 \text{ g} \times 8,6 \%$$

$$P_{Cu} = 1,72 \text{ g (cu)}$$

$$d_{sol.} = \frac{1,72 \text{ g (cu)}}{160 \text{ ml}}$$

$$d_{sol.} = 10,75 \frac{\text{g}}{\text{L}} \text{ (Cu) inicial o maximo.}$$

B. Cálculo de % cobre.

$$\text{Informe de ensayo A - 13} = 9,95 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

$$\% \text{ Cu} = \frac{9,95 \frac{\text{g}}{\text{L}}}{10,75 \frac{\text{g}}{\text{L}}} \times 100$$

$$\% \text{ Cu} = 93,8 \text{ (\% de extracción)}$$

ANEXO 5

Certificado de los resultados de análisis



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE-050

INFORME DE ENSAYO LAS-AC-18-00621

Fecha de emisión: 06/04/2018

Página: 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA
 Dirección: -
 Atención: MARLUI ELOYZA
 Recepción: 06/04/2018
 Realización: 06/04/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

502 Método de Ensayo para Cobre por Absorción Atómica - 2013 (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	502 Cu %
MN18003184	MUESTRA 1	No proporcionado por el cliente.	mineral pulverizado	8,60

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"Valor numérico" = Límite de detección del método, "Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
 Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 0580

5A: Resultados de concentración inicial (ley de cabeza).



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Tel: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-06019

Fecha de emisión: 14/09/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
 Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Recepción: 13/09/2018
 Realización: 13/09/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*909 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*909
				Cu g/L
SS18000950	1A	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-PUNO	Solución	10,85

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Srta. Vicenta Juárez Naira
 Gerente General
 Ing. Químico C.I.E. 19474

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, *<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 5113

5B: Resultados de pruebas de lixiviación de mineral oxidado de cobre.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-05830

Fecha de emisión: 07/09/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
 Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Recepción: 05/09/2018
 Realización: 05/09/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*909 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*909 Cu g/L
SS18000864	A-02	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-PUNO	Solución	9,07

[Firma]
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP. 114426

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, *<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

5C: Resultados de pruebas de lixiviación de mineral oxidado de cobre. **N-18 N° 4901**



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-05831

Fecha de emisión: 07/09/2018

Página 1 de 1

Señoras: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
 Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Recepción: 05/09/2018
 Realización: 05/09/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*909 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*909
				Cu g/L
SS18000855	A-03	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-PUNO	Solución	6,97

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 N.º. de Inscripción Químico CIP 114426

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, **<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 4905

5D: Resultados de pruebas de lixiviación de mineral oxidado de cobre.



Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-05832

Fecha de emisión: 07/09/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
 Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Recepción: 05/09/2018
 Realización: 05/09/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*909 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*909
				Cu g/L
SS18000956	A-04	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-PUNO	Solución	7,94

(Firma)
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniería Química CIP 114426

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, **<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 4898

5E: Resultados de pruebas de lixiviación de mineral oxidado de cobre.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-05833

Fecha de emisión: 07/09/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
 Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Recepción: 05/09/2018
 Realización: 05/09/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*909 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*909 Cu g/L
SS18000867	A-05	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-PUNO	Solución	7,62

Laboratorio Analítico del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico DIP 114428

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, **<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 4896

5F: Resultados de pruebas de lixiviación de mineral oxidado de cobre.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Rio Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-05834

Fecha de emisión: 07/09/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
 Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Recepción: 05/09/2018
 Realización: 05/09/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*909 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*909
				Cu g/L
SS18000868	A-05	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-PUNO	Solución	2,35

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc./Ingeniero Químico CIP 114426

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, **<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 4904

5G: Resultados de pruebas de lixiviación de mineral oxidado de cobre.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-05835

Fecha de emisión: 07/09/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
 Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Recepción: 05/09/2018
 Realización: 05/09/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*909 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*909 Cu g/L
SS1800688	A-07	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-PUNO	Solución	8,26

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniería Química CIP 114426

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, *<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de L.A.S. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 4891

5H: Resultados de pruebas de lixiviación de mineral oxidado de cobre.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-05836

Fecha de emisión: 07/09/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
 Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Recepción: 05/09/2018
 Realización: 05/09/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*909 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*909 Cu g/L
SS18000870	A-08	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-PUNO	Solución	6,34

[Firma]
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 I. Sc. Ingeniería Química QIP 114426

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, *<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de L.A.S. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 4894

5I: Resultados de pruebas de lixiviación de mineral oxidado de cobre.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-05837

Fecha de emisión: 07/09/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
Recepción: 05/09/2018
Realización: 05/09/2018
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*909 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*909
				Cu g/L
SS1800067f	A-09	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-PUNO	Solución	7,86


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M.Sc. Ingeniero Químico CP 114428

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, *<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 4892

5J: Resultados de pruebas de lixiviación de mineral oxidado de cobre.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-05838

Fecha de emisión: 07/09/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
 Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Recepción: 05/09/2018
 Realización: 05/09/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*909 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*909
				Cu g/L
SS18000572	A-10	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-PUNO	Solución	4,38

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 Ing. Químico CP. 114426

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, *<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 4899

5K: Resultados de pruebas de lixiviación de mineral oxidado de cobre.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticossur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-05839

Fecha de emisión: 07/09/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
 Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Recepción: 05/09/2018
 Realización: 05/09/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*909 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*909
				Cu g/L
SS18000873	A-11	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARA-PUNO	Solución	7,94

(Firma)
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, **<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 4900

5L: Resultados de pruebas de lixiviación de mineral oxidado de cobre.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-05840

Fecha de emisión: 07/09/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
 Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Recepción: 05/09/2018
 Realización: 05/09/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*809 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*809
				Cu g/L
SS18000674	A-12	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-PUNO	Solución	8,43

[Firma]
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CP 114426

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, **<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 Nº 4893

5M: Resultados de pruebas de lixiviación de mineral oxidado de cobre.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-05841

Fecha de emisión: 07/09/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Dirección: JRL JORGE BASADRE 626
 Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Recepción: 05/09/2018
 Realización: 05/09/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*909 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Codigo Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*909
				Cu g/L
SS18000675	A-13	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-PUNO	Solucion	9,96

[Firma]
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CP 114426

<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^{}<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 4902

5N: Resultados de pruebas de lixiviación de mineral oxidado de cobre.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-05842

Fecha de emisión: 07/09/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Dirección: JR. JORGE BASADRE 628
 Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Recepción: 05/08/2018
 Realización: 05/09/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*909 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Código interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*909 Cu g/L
SS18000876	A-14	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-PUNO	Solución	7,78

(Firma)
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, *<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 4895

5Ñ: Resultados de pruebas de lixiviación de mineral oxidado de cobre.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-05843

Fecha de emisión: 07/09/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Dirección: JRL JORGE BASADRE 626
 Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Recepción: 05/09/2018
 Realización: 05/09/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*909 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*909
				Cu g/L
SS18000877	A-15	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-PUNO	Solución	3,97

(Firma)
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 v. Sc. Ingeniero Químico CIP 114428

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, **<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 Nº 4903

50: Resultados de pruebas de lixiviación de mineral oxidado de cobre.

ANEXO 6

Certificado de los resultados de análisis de cinética

**Laboratorios Analíticos del Sur**Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-06860

Fecha de emisión: 25/10/2018

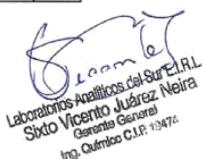
Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
 Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Recepción: 20/10/2018
 Realización: 20/10/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*903 Método de ensayo para Cobre por Absorción Atómica en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*903 Cu mg/L
SS18001178	M-1	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-PUNO	Solucion	4140



Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Srto. Vicente Juárez Neira
 Gerente General
 Ing. Químico C.I.P. 113472

*a<Valor numérico> = Límite de detección del método, *b<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 6340

6A: Resultado de pruebas de lixiviación en tiempos óptimos.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Tel: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-06861

Fecha de emisión: 25/10/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
 Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Recepción: 20/10/2018
 Realización: 20/10/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*903 Método de ensayo para Cobre por Absorción Atómica en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*903 Cu mg/L
SS18001179	M-2	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-PUNO	Solucion	4090

S. J. Neira
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Sixto Vicente Juárez Neira
 Gerente General
 Ing. Química C.I.F. 19474

^m<Valor numérico> = Límite de detección del método, ⁿ<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 6339

6B: Resultado de pruebas de lixiviación en tiempos óptimos.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-06861

Fecha de emisión: 25/10/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
 Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Recepción: 20/10/2018
 Realización: 20/10/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*903 Método de ensayo para Cobre por Absorción Atómica en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*903 Cu mg/L
SS18001179	M-2	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ-PUNO	Solucion	4090

S. J. M.
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Srto. Vicente Juárez Melira
 Gerente General
 Ing. Químico C.I.E. 19474

^a<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^b<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 * N° 6339

6C: Resultado de pruebas de lixiviación en tiempos óptimos.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-07318

Fecha de emisión: 14/11/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
 Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
 Recepción: 13/11/2018
 Realización: 13/11/2018
 Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*909 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*909
				Cu g/L
SS18001250	M-4	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARA - PUNO	Solucion	8,10

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Omar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 1. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
 Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 6882

6D: Resultado de pruebas de lixiviación en tiempos óptimos.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-07319

Fecha de emisión: 14/11/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
Recepción: 13/11/2018
Realización: 13/11/2018
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*909 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*909	
				Cu	g/L
SS18001251	M-5	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ - PUNO	Solucion	8,43	

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. So. Ingeniero Químico CIP 114426

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, *<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 6881

6E: Resultado de pruebas de lixiviación en tiempos óptimos.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticossur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-07320

Fecha de emisión: 14/11/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
Recepción: 13/11/2018
Realización: 13/11/2018
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*909 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*909
				Cu g/L
SS18001252	M-6	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ - PUNO	Solucion	12,15

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 6883

6F: Resultado de pruebas de lixiviación en tiempos óptimos.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-18-07321

Fecha de emisión: 14/11/2018

Página 1 de 1

Señores: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
Dirección: JR. JORGE BASADRE 626
Atención: MARLUI ELOYZA UCHIRI MONTESINOS
Recepción: 13/11/2018
Realización: 13/11/2018
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*909 Método de ensayo para Cobre por Volumetría en soluciones ácidas

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*909 Cu g/L
SS18001253	M-7	YACIMIENTO MINERO SOCSAN DE PUCARÁ - PUNO	Solucion	11,26

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

^a<Valor numérico> = Límite de detección del método. ^b<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N-18 N° 6884

6G: Resultado de pruebas de lixiviación en tiempos óptimos.