



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“Influencia del pH y tiempo en la extracción de oro utilizando tiourea con oxidante inorgánico y orgánico, mediante lixiviación por agitación - Cajamarca, 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Oscar Alcántara Sánchez

Roberto Ronald Yopla Castrejón

Asesor:

Ing. Mg. Oscar Vásquez Mendoza

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

A nuestros padres que nos dieron la vida; en ella brindarnos la capacidad de superación y desear lo mejor para nuestro futuro. Gracias por ser perseverantes y siempre estar en los momentos más complicados, ayudarnos a paso a paso a construir un mejor estilo de vida y forjar las personas que ahora somos.

Los autores

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecemos a la Universidad Privada del Norte, por habernos aceptado ser parte de ella, y abrirnos sus puertas para poder estudiar nuestras carreras profesionales.

Agradecemos, a los ingenieros Oscar Vásquez Mendoza y Juan Vega González, por su asesoramiento para la elaboración de este trabajo de investigación.

También a diferentes docentes e ingenieros, que nos dedicaron su tiempo para enseñarnos y apoyarnos día a día en nuestras vidas universitarias, para que finalmente podamos lograr nuestros objetivos y metas trazadas.

Finalmente, agradecemos a nuestros compañeros de clase. Por su apoyo constante y brindarnos su confianza, para desarrollar diferentes tareas encomendadas por nuestros docentes. También por su apoyo moral y amistad para seguir adelante con nuestras carreras profesionales.

Los autores

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Realidad problemática	10
1.2. Formulación del problema.....	20
1.3. Objetivos.....	20
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	20
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	20
1.4. Hipótesis.....	21
1.4.1. <i>Hipótesis general</i>	21
1.4.2. <i>Hipótesis específicas</i>	21
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	23
2.1. Tipo de investigación.....	23
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	23
2.2.1. <i>Población</i>	23
2.2.2. <i>Muestra</i>	24
2.2.3. <i>Materiales</i>	25
2.2.4. <i>Instrumentos</i>	28
2.2.5. <i>Métodos</i>	29
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	32
2.4. Procedimiento.....	32
2.4.1. <i>Análisis químico del mineral</i>	32
2.4.2. <i>Preparación de la muestra</i>	32
2.4.3. <i>Preparación del pH con ácido sulfúrico</i>	34
2.4.4. <i>Preparación del pH con ácido cítrico</i>	34
2.4.5. <i>Preparación de la solución, para lixiviación por agitación en botellas con ácido sulfúrico</i>	35
2.4.6. <i>Preparación de la solución, para lixiviación por agitación en botellas con ácido cítrico</i>	35
2.4.7. <i>Lixiviación por agitación en botellas</i>	36
2.4.8. <i>Filtrado de las muestras</i>	36
2.4.9. <i>Análisis por el ICP-OES</i>	37
2.4.10. <i>Análisis de oro por Fire Assay</i>	37
2.4.11. <i>Balance metalúrgico</i>	38
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	41

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	47
4.1. Discusión.....	47
4.2. Conclusiones	50
REFERENCIAS	52
ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características físico-químico de la calaverita	24
Tabla 2. Composición química del mineral calaverita.....	24
Tabla 3. Reporte multielemental de la muestra.....	25
Tabla 4. Propiedades físico-químicas de la tiourea.....	26
Tabla 5. Propiedades físico-químicas del ácido sulfúrico	27
Tabla 6. Propiedades físico-químicas del ácido cítrico	27
Tabla 7. Factores y niveles para el diseño experimental	29
Tabla 8. Diseño factorial de múltiples niveles.....	30
Tabla 9. Diseño experimental del porcentaje de extracción del Au.....	30
Tabla 10. Desglose de Diseño experimental para el porcentaje de extracción del Au	31
Tabla 11. Resultado de porcentaje de Au según análisis de ICP-OES, análisis Fire Assay y balance metalúrgico	41
Tabla 12. Consumo de Ácido Sulfúrico a pH 1.5, 2, 2.5, 3.....	44
Tabla 13. Consumo de Ácido Cítrico a pH 1.5, 2, 2.5, 3.....	44
Tabla 14. Resultados del análisis de varianza para el % de extracción de Au a diferente pH, tiempo y oxidante.....	46
Tabla 15. Agregado de Ácido Sulfúrico para bajar el pH.	57
Tabla 16. Agregado de Ácido Cítrico para bajar en pH.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura química del ácido cítrico.....	18
Figura 2. Diagrama de bloques del proceso general que sigue el mineral sulfurado de Au, la extracción del porcentaje del Au.	40
Figura 3. Gráfica de la curva de variación del porcentaje de la extracción del Oro en función del tiempo y oxidantes.	42
Figura 4. Gráfica de la curva de variación del porcentaje de la extracción del Oro en función del tiempo y pH.	42
Figura 5. Gráfica de la curva de variación del porcentaje de la extracción del Oro en función de pH y oxidante.	43
Figura 6. Gráfica de la curva de variación del porcentaje de la extracción del Oro en función de los oxidantes y tiempo.	43
Figura 7. Gasto de ácido sulfúrico	44
Figura 8. Gasto de ácido cítrico.....	45
Figura 9. Gráfica de la curva de variación del porcentaje de extracción de Oro en función de los diferentes pH, 2 tiempos y 2 oxidantes.....	45
Figura 10. Agregado de Ácido Sulfúrico para bajar el pH.	57
Figura 11. Agregado de Ácido Cítrico para bajar el pH.....	58
Figura 12. Mineral sulfurado de Au.....	72
Figura 13. Conminución del Mineral a Malla #-10.	72
Figura 14. Secado del Mineral.	73
Figura 15. Homogenización de la muestra por coneo, 3 Veces.	73
Figura 16. Muestreo por método Damero.	74
Figura 17. Conminución de la muestra al 80% a Malla #-200.....	74
Figura 18. Medición pH de cada vaso de precipitados con oxidantes.....	75
Figura 19. Pesado de muestras.....	75
Figura 20. Preparación de solución con 1.5 g/L de tiourea, 500 ml de agua, 250 g de muestra y ácido sulfúrico a diferentes pH.....	76
Figura 21. Lixiviación por agitación en botellas en la máquina roladora.....	76
Figura 22. Retiro de solución a 24 h, (filtrado) para análisis ICP - OES.	77
Figura 23. Corroboración del pH después del filtrado.....	77
Figura 24. Filtrado de solución rica a 48h (filtro prensa).....	78
Figura 25. Puesta de fracción sólida (relave) en la bandeja de acero.	78

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Numero de pruebas.....	30
Ecuación 2. Cálculo del porcentaje de humedad.....	33
Ecuación 3. Extracción de Au (%).....	39
Ecuación 4. Contenido metálico de Au (mg) en la solución.	39
Ecuación 5. Contenido metálico de Au (mg) en la cabeza.	39

RESUMEN

La presente investigación, tuvo como objetivo determinar la eficiencia del pH y tiempo en la extracción de oro utilizando tiourea con oxidante inorgánico y orgánico mediante la lixiviación por agitación. De un mineral sulfurado, con ley 9.12 Au. (g/Tm). Se realizó en el laboratorio de procesamiento de minerales de la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Trujillo.

El método fue la lixiviación por agitación mediante botellas, con mineral de 250g, de granulometría malla #-200, tiourea de 1.5 g que se mantiene constante en todas las soluciones, pH 1.5, 2, 2.5, 3 y tiempo de 24 y 48 horas. En el primer caso se agregó ácido sulfúrico y el segundo ácido cítrico. Finalmente, las soluciones líquidas fueron filtradas para ser analizadas en el ICP-OES y los relaves por análisis Fire Assay.

Se alcanzó a extraer 45.35 % de Au con ácido sulfúrico a pH 2.5 y con ácido cítrico se extrajo 44.94 % de Au con pH 1.5, en 48 horas y con 3g/L de tiourea en ambos casos. En consecuencia, se puede sustituir el ácido sulfúrico con ácido cítrico, a menor pH; porque los resultados no muestran una diferencia significativa.

Palabras clave: lixiviación por agitación, tiourea, ácido sulfúrico, ácido cítrico.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

“Uno de los métodos de disolución de oro más utilizados en el mundo, es la cianuración por agitación, debido a la elevada velocidad de reacción, las altas recuperaciones de oro y por qué funciona para una amplia variedad de minerales. En contra posición tiene costos más altos de instalación y operación respecto de los métodos en pilas, por lo que se aplica solo a menas que poseen leyes económicas”. (Alfonso, Silvana, 2010, pag. 134)

Tradicionalmente en el Perú, en el proceso de lixiviación por agitación, las empresas mineras utilizan agentes lixiviantes y oxidantes inorgánicos para obtener una mayor recuperación de metales preciosos. El departamento de Cajamarca no es ajeno a este proceso, ya que cuenta con grandes yacimientos mineros en producción y proyección de oro, plata, cobre, zinc, etc.

Los agentes lixiviantes y oxidantes inorgánicos; como el cianuro y ácido sulfúrico, son dañinos para la salud y medio ambiente, por el cual la minería últimamente posee muchos conflictos ambientales con la población del área de influencia directa e indirecta y esto causa paralizaciones de grandes proyectos mineros. Por lo tanto, el sector minero se ha visto obligado a investigar nuevas alternativas de extracción, las cuales reduzcan los impactos al medio ambiente. La presente investigación está centrada a cambiar el agente lixivivante cianuro a tiourea. También cambiar el oxidante ácido sulfúrico a ácido cítrico, los cuales nos genera menos riesgos para el medio ambiente. Así mismo compararemos dichos oxidantes a varios niveles de pH y tiempo.

Según Irwin y Eudiño (2016) denominada en su tesis “Influencia de la concentración de tiourea sobre la extracción de oro por lixiviación de un mineral oxidado a pH ácido controlado con ácido cítrico”, presentado a la Universidad Nacional de Trujillo, tiene como objetivos: Determinar la influencia de la concentración de tiourea sobre la extracción de oro de un mineral oxidado a pH ácido controlado, con ácido cítrico, Calcular la máxima extracción de oro del mineral oxidado usando tiourea, Evaluar el consumo tiourea durante la lixiviación, Evaluar el consumo de ácido cítrico, a pH ácido. El autor llegó a la conclusión que las condiciones operacionales adecuadas para obtener la mayor disolución de oro de un mineral oxidado se dan con 2g/L de Tiourea y 4.04 g/L de ácido cítrico, llegándose a un porcentaje de extracción de 62% con tendencia creciente. Además, el ácido cítrico influye positivamente sobre el consumo, lográndose tener una mayor fuerza de disolución. Se concluye que el consumo de tiourea y ácido cítrico es directamente proporcional, debido a la necesidad de estabilizar en medio ácido la formadidina, el cual es el principal responsable de la disolución de los metales preciosos. Finalmente se concluye que el proceso de lixiviación con tiourea de un mineral oxidado para extraer oro, proveniente de Huamachuco, resulta factible comparada con el cianuro, pero su costo elevado de operación debido a los altos consumos de tiourea limita la aplicación la aplicación a nivel industrial.

Según Roy y Yoni (2016) en su tesis denominada “Influencia del pH y la concentración del ácido cítrico en la recuperación de cobre mediante lixiviación por agitación de minerales oxidados de tipo cuprita”, presentado a la Universidad Nacional del Centro del Perú, tiene como objetivos: Estudiar la influencia del pH y la concentración del

ácido cítrico en la lixiviación por agitación de minerales oxidados de cobre tipo cuprita, Caracterizar el mineral oxidado tipo cuprita, Estudiar la influencia del pH en la lixiviación por agitación de minerales oxidados de cobre tipo cuprita, Estudiar la influencia de la concentración del ácido cítrico en la lixiviación por agitación de minerales oxidados de cobre tipo cuprita, Determinar el porcentaje de cobre recuperado en la lixiviación agitada utilizando ácido cítrico como agente lixivante. El autor llegó a la conclusión que el pH y la concentración del ácido cítrico influyen positivamente en la recuperación de cobre; a concentración de ácido cítrico de 0.4M y aun pH de 2 se alcanza una mayor recuperación de cobre en lixiviación por agitación, se caracterizó el mineral oxidado de Cu, donde el Cu se encuentra presente con una ley de 9.05%, y en la composición química de la cuprita el cobre se encuentra en un 77.08%, El pH tiene un efecto positivo en la recuperación de cobre, a pH=3 la recuperación de cobre crece relativamente a concentraciones de 0.2 M y 0.6 M; pero a pH=3 y a concentración de 0.4 M el pH tiene un efecto negativo en la recuperación de cobre, lo cual el pH es dependiente de la concentración de ácido cítrico, Para valores de pH = 4, la recuperación de cobre disminuye con el aumento de la concentración del ácido cítrico, A una granulometría de 149 μm (malla -100), agitación mecánica de 4 horas con pH de 2 y concentración de 0.4 M de ácido cítrico se obtiene una recuperación de cobre en un 80.78%.

Según Norma (2018) en su estudio denominado “Lixiviación de minerales de oro con reactivo Sandioss en La Empresa Minera Colibrí S.A.C”, presentado a la Universidad del Altiplano, tiene como objetivos: Recuperar de oro utilizando reactivo sandioss por el método de lixiviación por agitación a partir de minerales provenientes de la zona

oxidada de la Empresa Minera Colibrí S.A.C, Definir la tecnología propuesta, dando a conocer los parámetros óptimos de concentración de sandioss, pH y tiempo de lixiviación para la recuperación de oro, Determinar el modelo matemático para el proceso de recuperación de oro por el método de lixiviación por agitación, Evaluar el rendimiento y capacidad de recuperación de oro por el método de lixiviación por agitación, a partir de minerales provenientes de la zona oxidada de la Empresa Minera Colibrí S.A.C. En esta investigación se concluyó que el reactivo Sandioss disuelve el oro contenido en minerales oxidados de la Mina Colibrí Arequipa. Donde, la recuperación del oro mediante la lixiviación por agitación con reactivo Sandioss fue de 94%. Por otro lado, las variables óptimas de lixiviación de oro con reactivo Sandioss fueron: concentración de reactivo Sandioss al 0.8 %, pH igual a 11 y tiempo de lixiviación de 72 horas. También que el porcentaje de extracción de oro con reactivo Sandioss es tan igual que la extracción de oro con cianuro de sodio para el mineral oxidado de la Mina. Colibrí Arequipa.

Por Ricardo (2015) realizó una investigación sobre el “Estudio físico - químico comparativo de lixiviación con cianuro y tiourea en concentrados de oro, procedente de la planta de beneficio Franromec del Cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay”, presentado a la Universidad Técnica de Machala, tiene como objetivos: Desarrollar un estudio físico – químico comparativo de lixiviación con cianuro y tiourea en concentrados de oro, procedente de la planta de beneficio “FRANROMEC” del cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay, Realizar los análisis mineralógicos y granulométricos, Determinar los parámetros operativos de lixiviación con cianuro y con tiourea, Determinar la cinética de disolución de (Au y Ag) y su etapa

controlante en el proceso de lixiviación con cianuro y tiourea, Comparar el rendimiento de oro durante el proceso de lixiviación con cianuro y tiourea. El autor concluye que el mineral concentrado por flotación tiene un tamaño de partículas inferiores a 150 micrones, empleados en el proceso de lixiviación con una ley de cabeza de oro y plata de 106,48 gr/Ton y 58,84 gr/Ton respectivamente. Además, La disolución de oro con tiourea se logra cuando se obtiene un potencial mayor a 300 mV vs SHE empleando peróxido de hidrogeno como agente oxidante a diferencia del cianuro que emplea el oxígeno presente en la atmosfera como agente oxidante. Por otro lado, las mejores recuperaciones se obtuvieron empleando altas concentraciones de cianuro y tiourea obteniendo una recuperación de oro con cianuro de 34,13 % y con tiourea de 32,39 % dando un bajo rendimiento de recuperación con tiourea. Por lo tanto, la tiourea como agente lixivante alternativo tiene una mayor aceptabilidad debido a que es menos contaminante a diferencia del cianuro que es más tóxico para el ser humano y el medio ambiente.

Según Carlos (2016) en su tesis denominada “Evaluación de una metodología alternativa a cianuración para la disolución de oro utilizando solventes orgánicos”, presentada a la Universidad Nacional de Colombia, el autor dice que, según Eksteen y Oraby el tiempo para evaluar la disolución de oro con estos aminoácidos está alrededor de las 150 o 200 horas. Por lo tanto, estos reactivos poseen una cinética muy lenta en comparación con el cianuro y hace que por el momento no sea posible aplicarlos en la industria extractiva del oro. Por otro lado, utilizando el software Hydra-Medusa se demostró que se forma complejos con oro en bajas fracciones de concentración en el rango de pH determinado por éste y la gran afinidad de los reactivos por el cobre.

Además, se mostró que el tipo de agente oxidante y su concentración afectan la cinética de lixiviación de oro, logrando obtener el mayor porcentaje de extracción con glutamato y permanganato de potasio al 0.03 M como agente oxidante en pH 9.4 y la adición de Cu^{2+} a los sistemas glicina-permanganato y glutamato-permanganato mejora el porcentaje de extracción de oro. También se indicó, que el sistema oro-glicina-permanganato, la cinética de lixiviación es afectada por la temperatura y que el mecanismo de reacción está químicamente controlado.

Según Jorge y Mikimar (2012) denominada en su tesis “Evaluación del proceso de lixiviación por agitación de minerales de Au –Ag en La Compañía Minera Ares Castilla – Arequipa”, presentado a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, tiene como objetivos: Evaluar las variables operativas y determinar los parámetros que nos permita lograr una óptima extracción de oro y plata en el proceso de lixiviación por agitación en la Compañía Minera Ares, Realizar análisis químicos para caracterizar los metales presentes en el mineral, Realizar pruebas experimentales en la lixiviación por agitación para determinar las variables más adecuadas, Determinar la cinética de la lixiviación por agitación, Utilizar el diseño experimental para evaluar las variables obtenidas, Encontrar los parámetros que permitan optimizar el proceso de lixiviación. Los autores concluyeron que, los minerales ganga ocupan un 98.77% del total del mineral, de acuerdo con el análisis realizado en laboratorio la composición química de este mineral es: Au 6.00 (g/TM), Ag 156.00 (g/TM), Zn (0.0092%), Cu (0.0028%), Fe (1.55%) y Pb (0.0053%). Además, los parámetros operativos en la investigación fueron: tiempo de molienda 27'51" minutos, tamaño de partícula de 74% -270 mallas y las pruebas de cinética establecieron un tiempo de lixiviación de 72 horas. Por otro lado, Las variables identificadas para lograr la

optimización del proceso fueron la concentración de NaCN (0.2% - 0.3%), Nitrato de Plomo (170gffM - 190g/TM) y el pH de la solución (10 ~ 11), la variación de cada una de estas permitió un mayor porcentaje de extracción de valores de oro y plata en el proceso. Por lo tanto, se determinó que las variables más influyentes en el proceso de lixiviación para este mineral son: la concentración de NaCN y de Nitrato de Plomo; puesto que la variación en estas presenta una seria influencia sobre el porcentaje de extracción.

Según Gerges y Lynn (2017) denominada en su tesis “Influencia del tiempo y la granulometría de la recuperación de plomo mediante lixiviación por agitación usando ácido cítrico, en copelas usadas”, presentado a la Universidad Nacional de Trujillo, tiene como objetivos: Determinar la influencia del tiempo y la granulometría en la recuperación de plomo en copelas usadas mediante lixiviación por agitación con ácido cítrico, Optimizar el tiempo de lixiviación con ácido cítrico en las copelas usadas para conseguir la mayor recuperación de plomo, Optimizar el tamaño de partícula de las copelas usadas para conseguir la mayor recuperación de plomo. Los autores llegaron a la conclusión de que la granulometría y el tiempo trabajan independientemente uno del otro para la recuperación de plomo, el tiempo y la granulometría influye en la recuperación de plomo, el tiempo y la granulometría óptima para la recuperación de plomo usando ácido cítrico como agente lixivante es de 90 minutos y la granulometría -#100 +200. Por lo tanto, es factible la recuperación de plomo en copelas usadas por ensayo al fuego usando como agente lixivante el ácido cítrico.

Según Kathia y Alejandro (2019) en su tesis “Influencia del pH, granulometría y la concentración del ácido cítrico en la lixiviación por agitación de minerales sulfatos de

cobre”, presentado a la Universidad Privada del Norte, tiene como objetivo:

Determinar el porcentaje de extracción de cobre mediante lixiviación por agitación variando la concentración del ácido cítrico, en diferentes pH y granulometría del mineral calcantita. Los autores concluyen que se obtiene un 99 % de extracción de cobre mediante la lixiviación por agitación a un tamaño de partícula pasante malla #100 (150 μm), concentración de 0,4 molar de ácido cítrico y $\text{pH} = 3$. Además, la concentración molar de ácido cítrico influye en la extracción de cobre usando una concentración de 0,4 molar, donde se obtiene el mayor porcentaje de extracción de cobre a partir de la calcantita. Por otro lado, la granulometría influye en la extracción de cobre usando un menor tamaño de partícula pasante la malla #100 es la más óptima, en donde se obtiene el mayor porcentaje de extracción de cobre a partir de la calcantita. Finalmente, el pH influye en la extracción de cobre usando ácido cítrico siendo el más óptimo $\text{pH} = 3$ donde se obtiene el mayor porcentaje de extracción de cobre a partir de la calcantita.

Marta (2010) afirma lo siguiente: “El pH es uno de los factores con mayor influencia sobre la bioadsorción de metales pesados. El valor de pH de la disolución determina no solo la especiación de la superficie del material, en particular el grado de protonación de los grupos funcionales, sino también la química en disolución de los metales (hidrólisis, complejación por ligandos orgánicos e inorgánicos, reacciones redox, precipitación), que afectará a la disponibilidad del metal para la bioadsorción.

Es importante destacar que el pH óptimo es diferente para cada sistema de

bioadsorción estudiada, en función, tanto del metal como del bioadsorbente y de la composición de la disolución que contiene el metal a eliminar”. (pag.68)

El ácido cítrico (ácido 2-hidroxi-1,2,3- propano tricarbóxico), es uno ácido orgánico que puede ser considerado natural. sin embargo, también puede ser sintetizado en laboratorio, es un ácido orgánico que se encuentra en casi todos los tejidos animales y vegetales, se presenta en forma de ácido de frutas en el limón, mandarina, lima, toronja, naranja, piña, ciruela, guisantes, melocotón, así como en los huesos, músculos y sangre de animales. Es considerado un ácido carboxílico versátil y ampliamente utilizado en el campo de la alimentación, de los productos farmacéuticos y cosméticos, entre otros. (Thangavelu y col. 2011).

Es un buen conservador y antioxidante natural que se añade industrialmente como aditivo. Además de reducir el pH. (Badui, 2013).

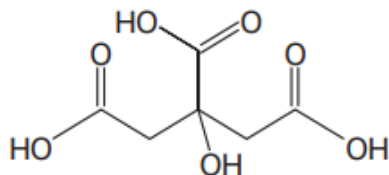


Figura 1 Estructura química del ácido cítrico

Fuente: La química en los alimentos, 2009.

En su forma pura, el Ácido Sulfúrico es un líquido aceitoso, sin color y sin olor. Es muy corrosivo. En su forma comercial está usualmente impuro y su coloración es pardusca. El Ácido Sulfúrico puede formar soluciones con el agua en cualquier proporción. Las soluciones acuosas de Ácido Sulfúrico se nombran de acuerdo con el porcentaje en peso de Acido en la solución; el Ácido Sulfúrico concentrado es entonces H₂SO₄ 100%, que se conoce como anhidro o como monohidrato de trióxido de

Azufre. El Ácido Sulfúrico puede disolver cualquier cantidad de trióxido de Azufre (SO₃). Al introducir trióxido de Azufre sobre Ácido Sulfúrico concentrado se genera

óleum, que por lo general se comercializa en soluciones de 10 a 70% de contenido de trióxido de Azufre y que se conocen también como Ácido Sulfúrico fumante. («Guia4.pdf», s. f.)

La tiourea, sulfourea o tiocarbamida es una diamida de ácido tiocarboxílico con una estructura similar a la de la urea, sólo que en el radical ácido tiene azufre en lugar de oxígeno –de allí la inclusión del prefijo *-sulfo* o *-tio-*. La característica eléctrica que brinda esta sustitución (valencia -2) y su relativamente pequeño tamaño iónico la hacen muy eficiente en la formación de complejos con iones de plata en condiciones ácidas (Landi 1998:97), pudiendo tener acciones similares con oro y platino (CAMEO 2008). Por ello, las soluciones para limpieza de plata incluyen algún ácido, que suele ser clorhídrico (Stambolov 1966:37-44), sulfúrico, fosfórico o fórmico (Sramek, Jakobsen y Pelikan 1978:114-117). (Jannen, 2010)

Juan y Yuri (2016) afirman que: “La lixiviación por agitación se utiliza en los minerales de leyes más altas, cuando los minerales generan un alto contenido de finos en la etapa de chancado, o cuando el mineral deseado está también diseminado que es necesario molerlo para liberar sus 13 valores y exponerlos a la solución lixivante. Es también el tipo de técnica que se emplea para lixiviar calcinas de tostación y concentrados. Se recurre a la agitación mediante burbujeo o bien a la agitación mecánica para mantener la pulpa en suspensión hasta que se logra la disolución

completa, siendo el tiempo de contacto de los sólidos con la solución del orden de horas comparado con el proceso de lixiviación en pilas que requiere meses”. (pág. 12)

Lixiviación con tiourea: Para las tioureaciones se utilizaron tres dosificaciones distintas de agente lixivante. Las lixivaciones con tiourea ofrecen gran reactividad en tiempos comprendidos de 8 a 16 horas, razón por la cual las curvas de la gráfica de este proceso ofrecen información detallada del aumento de extracción de oro con respecto al tiempo y control de pH; a medida que transcurre el tiempo, la reactividad de la tiourea es mayor, y manteniendo el pH entre 1.8 y 2.5, rango de mayor activación y, por consiguiente, mejor recuperación de metales de interés. Cuando se trabajó concentración de 1.5 g de agente lixivante se logró mayor rendimiento con respecto a las demás concentraciones. (José, Robinson, Mario, Cesar. 2013)

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye el pH y tiempo en la extracción de oro utilizando tiourea con oxidante inorgánico y orgánico mediante la lixiviación por agitación – Cajamarca 2019?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la eficiencia del pH y tiempo en la extracción de oro utilizando tiourea con oxidante inorgánico y orgánico mediante la lixiviación por agitación.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el porcentaje extracción de oro utilizando tiourea con oxidantes inorgánicos y orgánicos.

- Comparar los resultados de extracción de oro utilizando tiourea con oxidantes inorgánicos y orgánicos.
- Determinar el pH adecuado para la extracción de oro utilizando tiourea con oxidantes inorgánicos y orgánicos.
- Determinar el tiempo de lixiviación en la extracción de oro utilizando tiourea con oxidantes inorgánicos y orgánicos.
- Evaluar el gasto de ácido cítrico y ácido sulfúrico.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Se recupera el mismo % de oro, mediante el proceso de lixiviación por agitación utilizando 2 niveles de oxidante: ácido sulfúrico y ácido cítrico, con agente lixivante tiourea a 4 niveles de pH (1.5, 2, 2.5, 3) y 2 niveles de tiempo (24h y 48h)

1.4.2. Hipótesis específicas

- A mayor tiempo de lixiviación por agitación, utilizando ácido sulfúrico y ácido cítrico se obtiene mayor extracción de oro.
- A menor pH se obtiene mayor extracción de oro por el método de lixiviación.
- El gasto de ácido cítrico será mayor al ácido sulfúrico para obtener los 4 niveles de pH (1.5, 2, 2.5, 3).

- El nivel de pH y tiempo de lixiviación influyen directamente en la extracción de oro, mediante la lixiviación por agitación en botellas con tiourea y oxidante de ácido sulfúrico y ácido cítrico.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Esta investigación según propósito es aplicada, porque busca generar conocimiento con una aplicación directa al problema de la sociedad. (José, 2014)

Por lo tanto, en dicha investigación buscaremos reemplazar el oxidante ácido sulfúrico a ácido cítrico. También, reemplazaremos el agente lixivante cianuro a tiourea. Los cuales reducirán la contaminación al medio ambiente en el proceso de lixiviación, para la extracción de oro.

También es de tipo experimental, donde (Tamayo, 2004) afirma que: “Se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento en particular. El experimento es una situación provocada por el investigador para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas”

Por ende, la presente investigación está formada por tres variables independientes y una variable dependiente.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población.

Estuvo constituida por 11.15 kg de mineral sulfurado con alta ley de oro extraída del Distrito San Benito, Provincia de Contumazá, Departamento de Cajamarca.

2.2.2. Muestra

La muestra estuvo constituida 4 kg se sulfuro de Au, la cual se obtuvo por método de muestreo manual cono y damero, la muestra mineral se homogeniza utilizando un embudo de plástico, donde se vacía en mineral formando un cono por 3 veces, luego se esparce en una lona hasta formar un cuadrado de altura determinada. Se divide en cuadrículas con ayuda de una espátula y finalmente se extrae una porción de muestreo de cada cuadrícula formada hasta obtener un pequeño compuesto.

Tabla 1. Características físico-químico de la calaverita

Fórmula	AuTe ₂
Dureza	2.5 - 3
Masa molecular	452.2 g/mol
Color	Amarillo-graso a blanco plateado
Raya	verdosa a gris-amarillenta
Lustre	Metálico
Transparencia	Opaco
Habito	Cristales alargados y cortos
Fracturamiento	Irregular
Sistema Cristalino	Monoclínico
Origen	Filones hidrotermales
Densidad	9.31 g/cm ³

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Composición química del mineral calaverita

Au	Te
43.56%	56.44%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Reporte multielemental de la muestra

Método	ME FA	ME ICP-OES	ME ICP-OES	ME ICP-OES	ME ICP-OES	ME ICP-OES	ME ICP-OES
Elementos	Au	As	Sb	Pb	Zn	Fe	Cu
Unidades	g/TM	%	%	%	%	%	%
165 MLT	9.09	2.82	0.08	0.58	0.26	33.9	0.26

Fuente: Laboratorio de la Universidad Nacional de Trujillo.

2.2.3. Materiales.

A. Materiales de laboratorio

- Bandejas de acero
- Vasos de precipitación de 50, 500, 100 ml.
- Pipetas de 5 ml y 10 ml.
- Embudos de vidrio
- Embudos de plástico
- Buretas de 50 ml
- Papel filtro Whatman N°42
- Luna de reloj
- Goteros
- Pissetas
- Crisoles de 20 g.
- Varilla de vidrio
- Bolsas plásticas
- Probeta Graduada 1000 ml
- Botellas de vidrio
- Tiras reactivas pH – Fix

- Papel Kraft
- Copelas

B. Equipo de protección personal (Epp)

- Mandil de laboratorio
- Guantes quirúrgicos
- Guantes de badana
- Respirador
- Lentes
- Zapatos de seguridad

C. Agente lixivante y oxidantes

- Tiourea

Tabla 4. Propiedades físico-químicas de la tiourea

Propiedades físico-químicas de la tiourea	
Fórmula molecular	CH ₄ N ₂ S
Densidad	1.4 g/cm ³
Masa molar	76, 12 g/mol
Solubilidad en agua	142 kg/ m ³

Fuente: Elaboración propia

- Ácido sulfúrico

Tabla 5. Propiedades físico-químicas del ácido sulfúrico

Propiedades físico-químicas del ácido sulfúrico	
Fórmula molecular	H ₂ SO ₄
Densidad	1.83 g/cm ³
Masa molar	98.079 g/mol
Solubilidad en agua	miscible, exotérmico

Fuente: Elaboración propia

- Ácido cítrico

Tabla 6. Propiedades físico-químicas del ácido cítrico

Propiedades físico-químicas del ácido cítrico	
Fórmula molecular	C ₆ H ₈ O ₇
Densidad	1665 kg/m ³
Masa molar	192,13 g/mol
Solubilidad en agua	133 g/100 ml

Fuente: Elaboración propia.

D. Insumos

- Agua destilada

E. Reactivos para análisis Fire Assay

- Fundente para sulfuros (bórax, carbonato de sodio, sílice, litargirio)
- Nitrato de sodio
- Salitre

2.2.4. Instrumentos.

Los equipos e instrumentos fueron utilizados del laboratorio del procesamiento de minerales de la Universidad Nacional de Trujillo.

A. Equipos

- Chancadora secundaria 2” x 3”
- Tamiz malla # -10 # -200
- Horno secador Schemin
- Pulverizador de anillos
- 1 cronometro
- Cámara fotográfica
- 1 agitador magnético Thermo Scientific
- Roladora de rodillos giratorios
- ICP-OES marca Teledyne
- Horno industrial para fundición.
- Balanza analítica A&D +-0.0001 g
- Balanza digital Valtox LP100EP-607-2
- 1 pH metro Thermo Scientific

2.2.5. Métodos.

2.2.5.1. Método experimental

Su diseño es factorial de múltiples niveles. (Jiménez, 2012).

Este diseño cuenta con tres factores; donde, se realizará con 2 niveles de oxidante: ácido sulfúrico y ácido Cítrico, 4 niveles de pH: 1.5, 2, 2.5, 3 y 2 niveles de tiempo: 24 horas y 48 horas.

A. Variables independientes:

- Oxidante
- pH
- Tiempo

B. Variable dependiente:

- Recuperación de oro (%)

C. Diseño experimental

Tabla 7. Factores y niveles para el diseño experimental

Factores	Niveles
Factor 1: Oxidante	Nivel 1: Ac. Sulfúrico Nivel 2: Ac. Cítrico
Factor 2: pH	Nivel 1: 1.5 Nivel 2: 2 Nivel 3: 2.5 Nivel 4: 3
Factor 3: Tiempo	Nivel 1: 24 h Nivel 2: 48 h

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Diseño factorial de múltiples niveles.

Diseño factorial de múltiples niveles			
Factores:	3	Réplicas:	2
Corridas base:	16	Total, de corridas:	32
Bloques base:	1	Total, de bloques:	1
Número de niveles: 2, 4, 2			

Fuente: Minitab 19.1

Ecuación 1. Numero de pruebas.

$$N^{\circ} \text{ de pruebas} = F1 * F2 * F3$$

N° de pruebas= 2x4x2 = 16 pruebas por réplica

Modelo matricial aplicado a los 3 factores, con sus respectivos niveles, se muestra a continuación:

Tabla 9. Diseño experimental del porcentaje de extracción del Au

		Ácido Sulfúrico (1)				Ácido Cítrico (2)			
Ph =		1.5(1)	2(2)	2.5(3)	3(4)	1.5(1)	2(2)	2.5(3)	3(4)
Tiempo de Lixiviación por agitación	24 h (1)	Z ₁₁₁	Z ₁₁₂	Z ₁₁₃	Z ₁₁₄	Z ₁₂₁	Z ₁₂₂	Z ₁₂₃	Z ₁₂₄
		Z _{111R}	Z _{112R}	Z _{113R}	Z _{114R}	Z _{121R}	Z _{122R}	Z _{123R}	Z _{124R}
	48 h (2)	Z ₂₁₁	Z ₂₁₂	Z ₂₁₃	Z ₂₁₄	Z ₂₂₁	Z ₂₂₂	Z ₂₂₃	Z ₂₂₄
		Z _{211R}	Z _{212R}	Z _{213R}	Z _{214R}	Z _{221R}	Z _{222R}	Z _{223R}	Z _{224R}

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Desglose de Diseño experimental para el porcentaje de extracción del Au

Número de Pruebas	Oxidante	pH	Tiempo
1	Ac. sulfúrico	1.5	24
2	Ac. sulfúrico	1.5	48
3	Ac. sulfúrico	2	24
4	Ac. sulfúrico	2	48
5	Ac. sulfúrico	2.5	24
6	Ac. sulfúrico	2.5	48
7	Ac. sulfúrico	3	24
8	Ac. sulfúrico	3	48
9	Ac. Cítrico	1.5	24
10	Ac. Cítrico	1.5	48
11	Ac. Cítrico	2	24
12	Ac. Cítrico	2	48
13	Ac. Cítrico	2.5	24
14	Ac. Cítrico	2.5	48
15	Ac. Cítrico	3	24
16	Ac. Cítrico	3	48
17	Ac. sulfúrico	1.5	24
18	Ac. sulfúrico	1.5	48
19	Ac. sulfúrico	2	24
20	Ac. sulfúrico	2	48
21	Ac. sulfúrico	2.5	24
22	Ac. sulfúrico	2.5	48
23	Ac. sulfúrico	3	24
24	Ac. sulfúrico	3	48
25	Ac. Cítrico	1.5	24
26	Ac. Cítrico	1.5	48
27	Ac. Cítrico	2	24
28	Ac. Cítrico	2	48
29	Ac. Cítrico	2.5	24
30	Ac. Cítrico	2.5	48
31	Ac. Cítrico	3	24
32	Ac. Cítrico	3	48

Fuente: Minitab 19.1

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Los métodos y técnicas para realizar esta investigación son los siguientes:

Información secundaria o información bibliográfica de antecedentes: lo más resaltante fueron tesis de diferentes universidades, artículos de experimentos, libros, investigaciones científicas, etc.

También se aplicó algunas técnicas básicas de laboratorio como: pulverización, tamizado, filtración, disolución, espectrofotometría, agitación en botellas, medición, fundición, etc.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Análisis químico del mineral

Se homogenizó el mineral mediante el coneo (3 veces), luego extraemos una muestra de 1 kg mediante el método de cuarteo; después se realizó el análisis químico de muestra en el laboratorio G&S Laboratory S.R.L. – Trujillo

2.4.2. Preparación de la muestra

Colocamos la muestra de 10.15 kg en bandejas de acero.

Se realizó la conminución del mineral en la chancadora secundaria de 2”x3”.

Luego se pasó por un tamiz malla: #10

Para reducir la humedad, se colocó en el horno secador Schemin durante 2.30 horas aproximadamente hasta eliminar la humedad.

Se peso la muestra para calcular el porcentaje de humedad.

Se obtuvo el porcentaje de humedad del mineral. (Eduardo, 2015).

Ecuación 2. Cálculo del porcentaje de humedad.

$$W = \left(\frac{W_w}{W_s} \right) \times 100$$

Donde:

W= Contenido de humedad expresado en %

W_w= Peso del agua existente en la masa del suelo

W_s= Peso de las partículas sólidas

Luego se homogenizó el mineral mediante el método de coneo 3 veces.

Se seleccionó la muestra mediante el método damero y se obtuvo 4 kg de muestra, inmediatamente se pesó 16 muestras de 250g para pulverizarlo.

Después se realizó la etapa de pulverizado (pulverizadora de anillos): inicialmente se limpia la ollas y anillos con cuarzo durante 2 minutos de pulverizado, luego se elimina el cuarzo, también se limpia las ollas y anillos con una brocha y aire a presión. Posteriormente, colocamos el mineral en las ollas una cantidad de 250 g con un tiempo de 5 minutos, este procediendo se repite hasta pulverizar las 16 muestras.

Finalmente, se pasó todas las muestras, por un tamiz malla #-200 al 80 %.

2.4.3. Preparación del pH con ácido sulfúrico

Pesamos una muestra de 250 g y mezclamos en un vaso de precipitación con 500 ml de agua, se utilizó una balanza analítica y una probeta plástica para obtener datos precisos.

Luego colocamos la barra magnética dentro del vaso, después se realizó el proceso de agitación magnética por 2 min, a temperatura de 23°C y a 500 rpm.

Al terminar la agitación magnética, medimos el pH inicial de la solución obteniendo un pH=4.04

Después agregamos ácido sulfúrico a la solución con una pipeta en cantidades de 0.2 ml.

Volvemos a repetir el proceso agregando ácido sulfúrico, en cada cantidad agregada agitar y medir el pH hasta obtener los cuatro niveles de pH 3, 2.5, 2, 1.5, según nuestra variable de estudio.

2.4.4. Preparación del pH con ácido cítrico

Pesamos una muestra de 250 g y mezclamos en un vaso de precipitación con 500 ml de agua, utilizando una balanza analítica y una probeta plástica; para obtener datos precisos.

Luego colocamos la barra magnética dentro del vaso, después se realizó el proceso de agitación magnética durante 2 min, a temperatura de 23°C y a 500 rpm.

Al terminar la agitación magnética, medimos el pH inicial de la solución obteniendo un pH=4.

Después agregamos ácido cítrico a la solución con una luna de reloj en cantidades de 0.1g.

Volvemos a repetir el proceso agregando ácido cítrico, en cada cantidad agregada agitar y medir el pH hasta obtener los cuatro niveles de pH 3, 2.5, 2, 1.5, según nuestra variable de estudio.

2.4.5. Preparación de la solución, para lixiviación por agitación en botellas con ácido sulfúrico

Se preparó una dilución L/S: 2 a 1 (500 ml de agua y 250g de mineral), dicha dilución se repite en las 4 botellas y sus respectivas replicas.

Se agregó Tiourea 1.5 g y ácido sulfúrico 1.45 ml; para el primer nivel: pH= 1.5 y su réplica.

Se agregó Tiourea 1.5 g y ácido sulfúrico 0.6 ml; para el primer nivel: pH= y su réplica.

Se agregó Tiourea 1.5 g y ácido sulfúrico 0.25 ml; para el primer nivel: pH= 2.5 y su réplica.

Se agregó Tiourea 1.5 g y ácido sulfúrico 0.13 ml; para el primer nivel: pH= 3 y su réplica.

2.4.6. Preparación de la solución, para lixiviación por agitación en botellas con ácido cítrico

Se preparó una dilución L/S: 2 a 1 (500 ml de agua y 250g de mineral), dicha dilución se repite en las 4 botellas y sus respectivas replicas.

Se agregó Tiourea 1.5 g y ácido cítrico 107g; para el primer nivel: pH= 1.5 y su réplica.

Se agregó Tiourea 1.5 g y ácido cítrico 1.6g; para el primer nivel: pH= 2 y su réplica.

Se agregó Tiourea 1.5 g y ácido cítrico 1.1g; para el primer nivel: pH= 2.5 y su réplica.

Se agregó Tiourea 1.5 g y ácido cítrico 0.2g; para el primer nivel: pH= 3 y su réplica.

2.4.7. Lixiviación por agitación en botellas

La solución preparada anteriormente con mineral, agua, tiourea y ácido sulfúrico a pH 1.5, 2, 2.5, 3 con sus réplicas. Se colocarán en una botella cada solución

Luego se realizó el mismo procedimiento para el ácido cítrico.

Finalmente, se colocó las botellas con las soluciones de ambos oxidantes sobre dos niveles de rodillos giratorios de la roladora. Por un tiempo de 24 y 48 horas.

2.4.8. Filtrado de las muestras.

A. Filtrado de soluciones para 24h de lixiviación.

Se retiró con una pipeta 10 ml de cada botella a las 24 horas de lixiviación.

Luego se filtró dicha solución, utilizando embudos y papel filtro Whatman N°42, para colocar al tubo de ensayo de todas las botellas.

B. Filtrado de soluciones para 48h de lixiviación.

Se colocó, la solución de cada botella en el filtro prensa, hasta retirar toda la solución líquida.

Luego, se separó la solución líquida en una botella plástica de 500 ml y los sólidos a una bandeja de acero.

La solución líquida es filtrada nuevamente con papel filtro Whatman N°42, para colocar a cada tubo de ensayo con su respectiva codificación.

Este procedimiento se repetirá para las 16 botellas.

2.4.9. Análisis por el ICP-OES

Se analizó por el ICP-OES la solución rica lixiviada (líquida), para luego realizar el balance metalúrgico y determinar el porcentaje de extracción de oro.

2.4.10. Análisis de oro por Fire Assay

Las bandejas con relave pasan al horno de secado por un tiempo de 6 horas aproximadamente, hasta eliminar toda la humedad.

Luego cada relave pasa a la pulverizada de anillos por un tiempo de 2 min.

Se pesó la muestra para fundición con las siguientes cantidades: 10g de muestra, 120g de fundente preparado para sulfuro (bórax, carbonato de sodio, sílice, litargirio) y 5g de salitre.

Se colocó las muestras preparadas en vasos de crisol al horno, con tiempo aproximado de 1 hora y a 1000 °C de temperatura.

Se realizó el colado de metal fundido, donde se forma los régulos y se realiza el encuarte. También se agregó 0.02g de plata.

Se calentó las copelas durante 20 min aproximadamente en el horno, luego se colocó los régulos y 0.02g de plata en las copelas para pasar al horno por 1 hora aproximadamente.

Se formó el dore (oro y plata). Además, se lamino y peso.

Se refinó con ácido nítrico y agua a dilución de 1/6 (10 ml de ácido nítrico y 60 ml agua)

Se limpió con agua destilada y ácido nítrico en dilución de 1/1 (10 ml ácido nítrico y 10 ml de agua)

Después se realizó el proceso de lavado durante 3 veces, y se dejó secar el metal.

Finalmente se pesó el metal en una balanza analítica.

2.4.11. Balance metalúrgico

Se obtuvo los resultados de las pruebas líquidas a 24 y 48 horas de lixiviación por agitación y de los relaves.

Además, se realizó las operaciones de balances metalúrgicos de cada prueba o muestra con su respectiva réplica, mediante ecuaciones metalúrgicas y software Excel.

Se utilizó las siguientes ecuaciones para el balance metalúrgico:

Ecuación 3. Extracción de Au (%).

$$\text{Extracción de Au (\%)} = \frac{\text{contenido metálico de Au en la solución}}{\text{contenido metálico de Au en la cabeza}} \times 100$$

Ecuación 4. Contenido metálico de Au (mg) en la solución.

$$\text{Contenido metálico de Au (mg) en la solución} = \text{peso (Kg)} \times \text{ley de Au} \left(\frac{\text{g}}{\text{T}}\right)$$

Ecuación 5. Contenido metálico de Au (mg) en la cabeza.

$$\begin{aligned} \text{Contenido metálico de Au (mg) en la cabeza} \\ = \text{contenido metálico 48 h (mg)} + \text{sólidos de relave (mg)} \end{aligned}$$

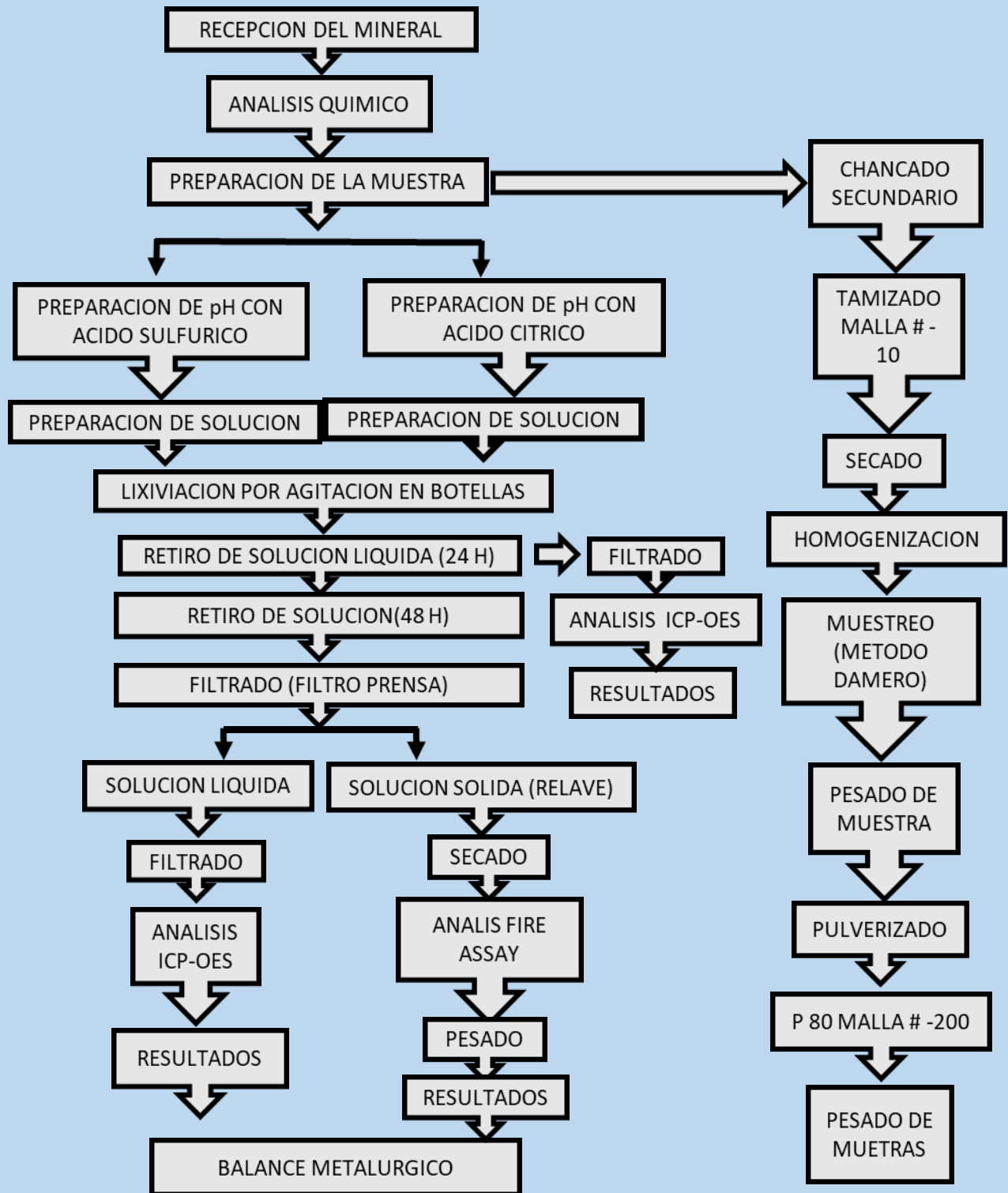


Figura 2. Diagrama de bloques del proceso general que sigue el mineral sulfurado de Au, la extracción del porcentaje del Au.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Culminado las 32 pruebas experimentales de lixiviación por agitación en botellas, para hallar el porcentaje de la recuperación de oro variando el pH, tiempo y oxidante, con agente lixivante tiourea a concentración constante en todas las pruebas; obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 11. Resultado de porcentaje de Au según análisis de ICP-OES, análisis Fire Assay y balance metalúrgico

N° de Prueba	Oxidante	pH	Tiempo	Recuperación Au (%)
1	Ac. sulfúrico	1.5	24	20.44
2	Ac. sulfúrico	1.5	48	36.76
3	Ac. sulfúrico	2	24	21.65
4	Ac. sulfúrico	2	48	35.04
5	Ac. sulfúrico	2.5	24	17.62
6	Ac. sulfúrico	2.5	48	45.35
7	Ac. sulfúrico	3	24	16.4
8	Ac. sulfúrico	3	48	42.06
9	Ac. Cítrico	1.5	24	21.22
10	Ac. Cítrico	1.5	48	44.94
11	Ac. Cítrico	2	24	17.54
12	Ac. Cítrico	2	48	41.35
13	Ac. Cítrico	2.5	24	21.12
14	Ac. Cítrico	2.5	48	44.61
15	Ac. Cítrico	3	24	16.43
16	Ac. Cítrico	3	48	37.68
17	Ac. sulfúrico	1.5	24	19.81
18	Ac. sulfúrico	1.5	48	38.1
19	Ac. sulfúrico	2	24	20.84
20	Ac. sulfúrico	2	48	34.9
21	Ac. sulfúrico	2.5	24	20.14
22	Ac. sulfúrico	2.5	48	40.22
23	Ac. sulfúrico	3	24	15.55
24	Ac. sulfúrico	3	48	41.59
25	Ac. Cítrico	1.5	24	22.18
26	Ac. Cítrico	1.5	48	43.77
27	Ac. Cítrico	2	24	17.09
28	Ac. Cítrico	2	48	37.01
29	Ac. Cítrico	2.5	24	20.16
30	Ac. Cítrico	2.5	48	43.27
31	Ac. Cítrico	3	24	17.03
32	Ac. Cítrico	3	48	40.45

Fuente: Elaboración propia

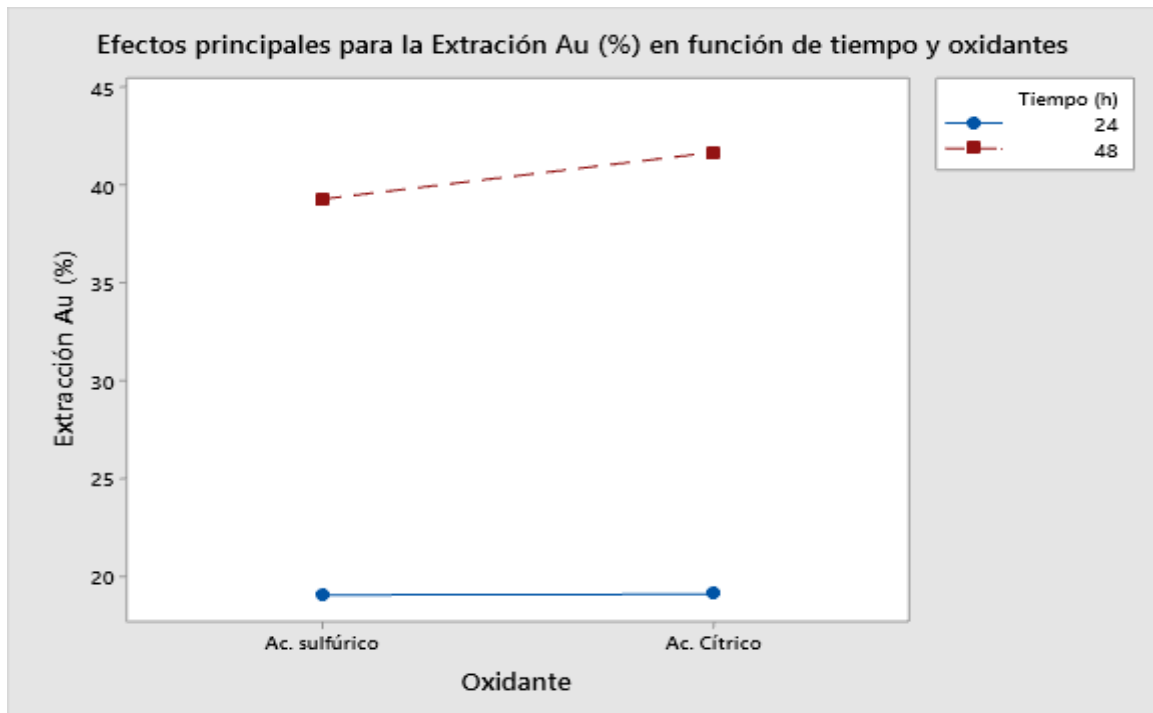


Figura 3. Gráfica de la curva de variación del porcentaje de la extracción del Oro en función del tiempo y oxidantes.

Fuente: Minitab 19.1

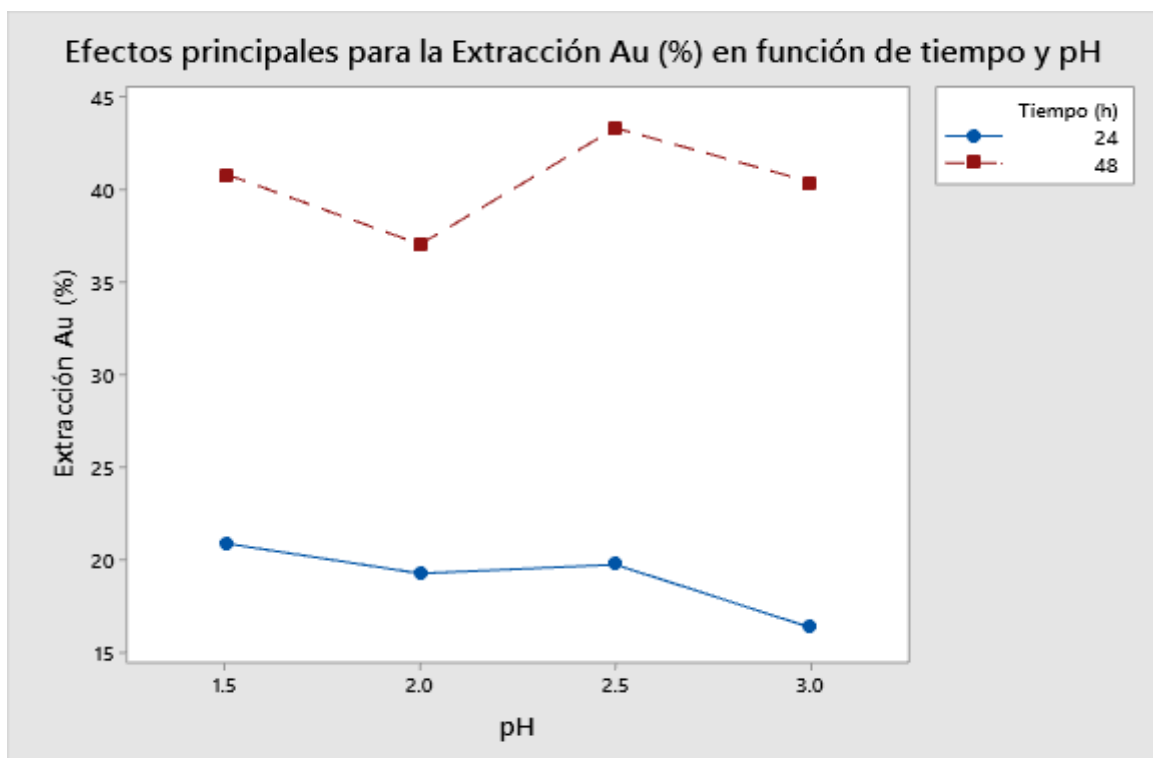


Figura 4. Gráfica de la curva de variación del porcentaje de la extracción del Oro en función del tiempo y pH.

Fuente: Minitab 19.1

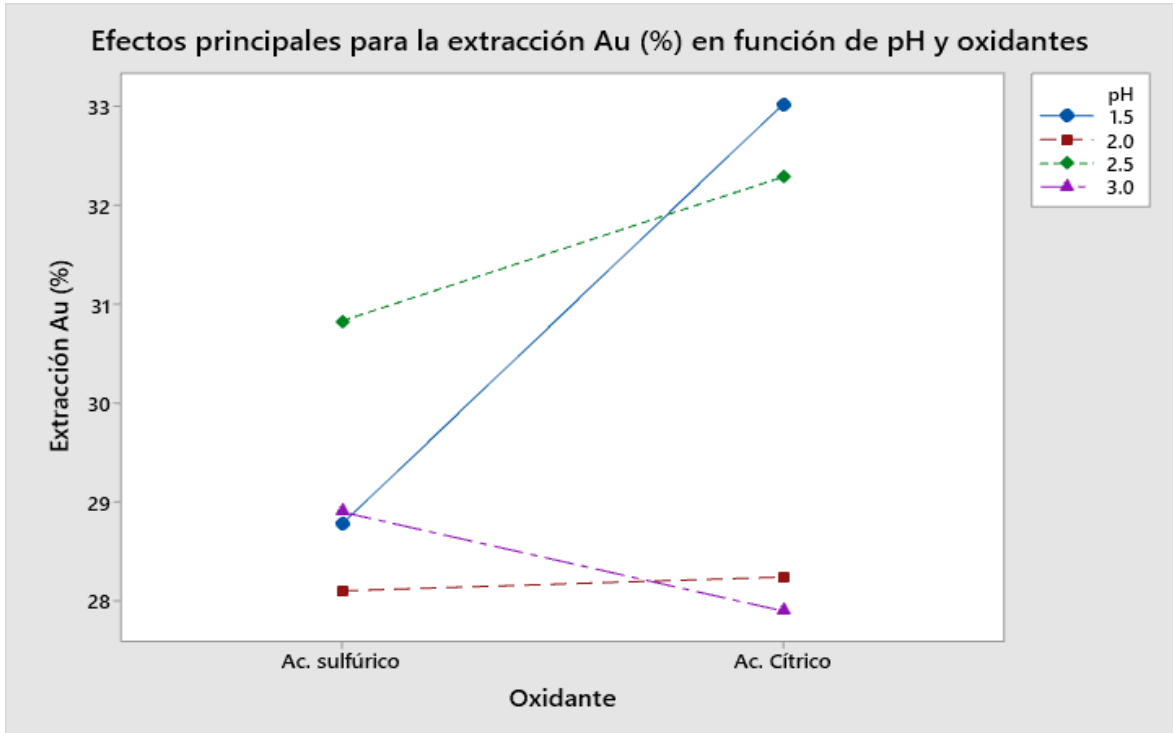


Figura 5. Gráfica de la curva de variación del porcentaje de la extracción del Oro en función de pH y oxidante.

Fuente: Minitab 19.1

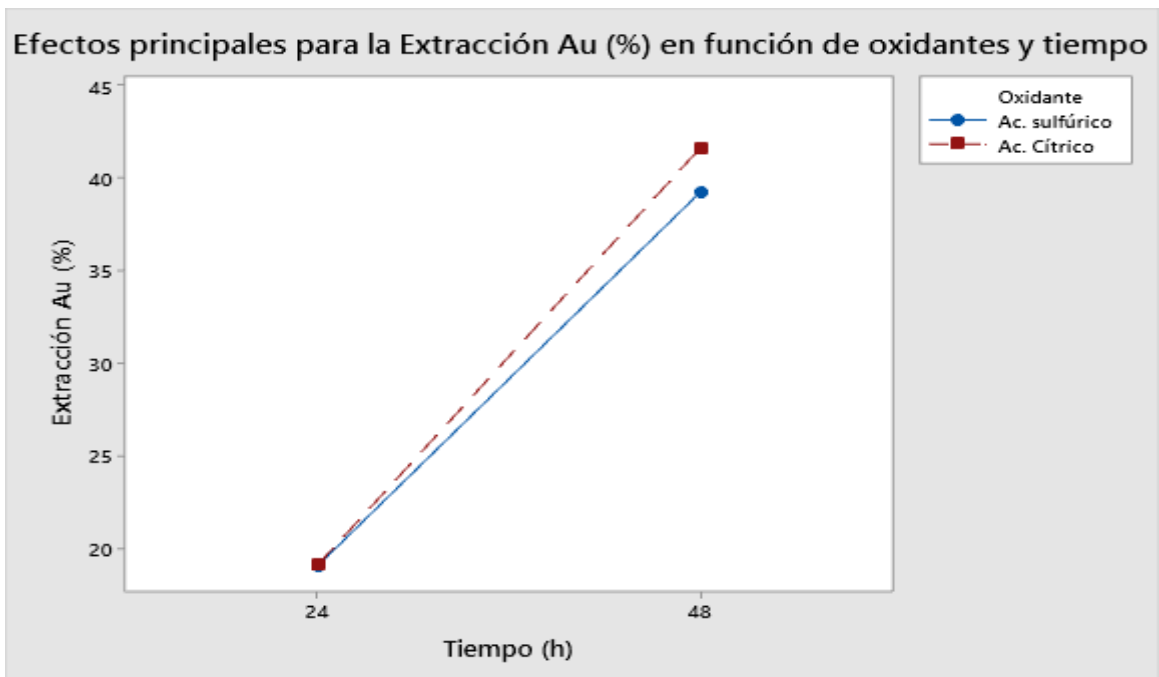


Figura 6. Gráfica de la curva de variación del porcentaje de la extracción del Oro en función de los oxidantes y tiempo.

Fuente: Minitab 19.1

Tabla 12. Consumo de Ácido Sulfúrico a pH 1.5, 2, 2.5, 3

Gasto de Oxidante	
Ácido sulfúrico (ml)	pH
1.45	1.5
0.6	2
0.25	2.5
0.15	3

Fuente: Elaboración propia.

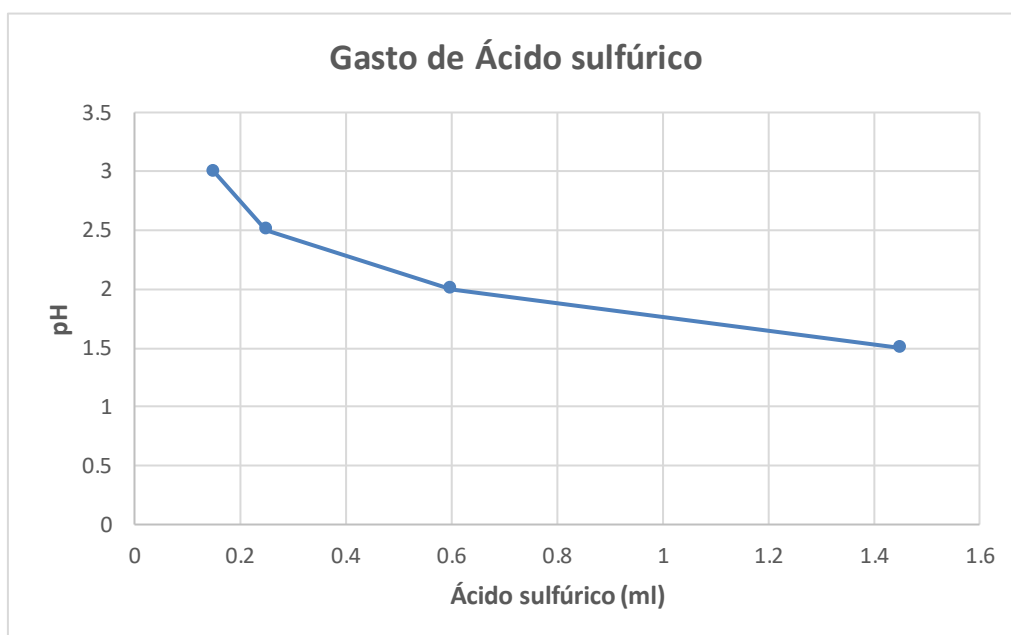


Figura 7. Gasto de ácido sulfúrico

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Consumo de Ácido Cítrico a pH 1.5, 2, 2.5, 3

Gasto de Oxidante	
Ácido cítrico (g)	pH
107	1.5
1.6	2
1.1	2.5
0.2	3

Fuente: Elaboración propia.

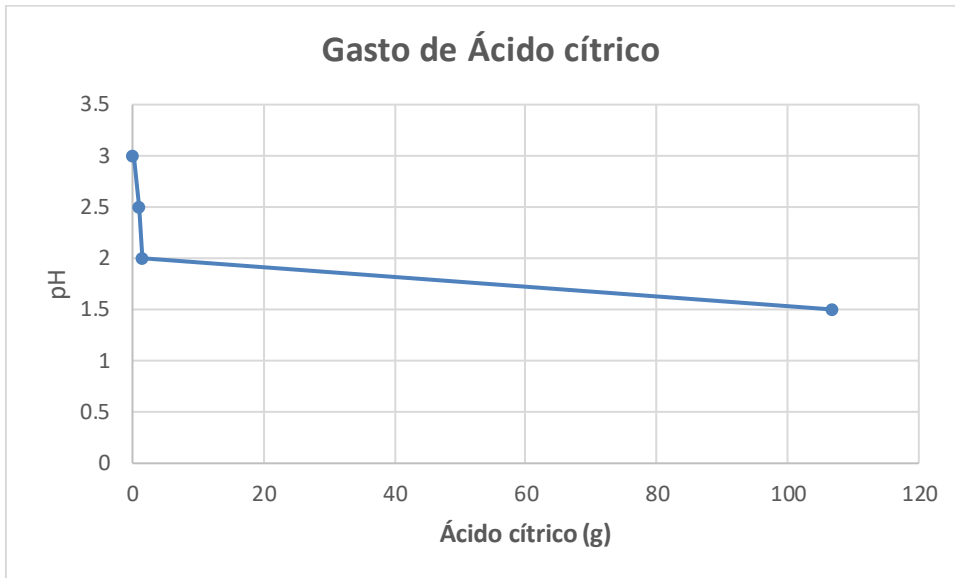


Figura 8. Gasto de ácido cítrico.

Fuente: Elaboración propia.

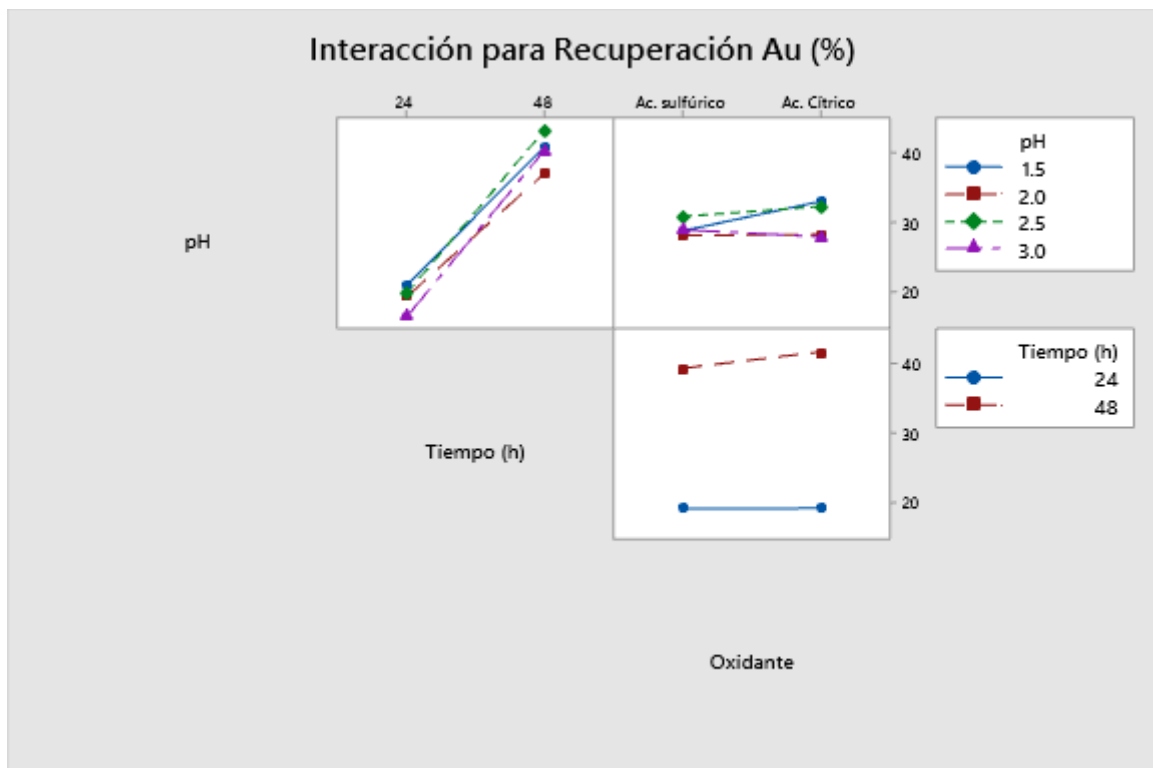


Figura 9. Gráfica de la curva de variación del porcentaje de extracción de Oro en función de los diferentes pH, 2 tiempos y 2 oxidantes.

Fuente: Minitab 19.1

Tabla 14. Resultados del análisis de varianza para el % de extracción de Au a diferente pH, tiempo y oxidante.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	3874.26	258.28	120.56	0.000
Lineal	5	3735.55	747.11	348.72	0.000
Oxidante	1	11.74	11.74	5.48	0.033
pH	3	71.26	23.75	11.09	0.000
Tiempo	1	3652.56	3652.56	1704.87	0.000
Interacciones de 2 términos	7	95.88	13.70	6.39	0.001
Oxidante*pH	3	30.69	10.23	4.77	0.015
Oxidante*Tiempo	1	10.97	10.97	5.12	0.038
pH*Tiempo	3	54.22	18.07	8.44	0.001
Interacciones de 3 términos	3	42.83	14.28	6.66	0.004
Oxidante*pH*Tiempo	3	42.83	14.28	6.66	0.004
Error	16	34.28	2.14		
Total	31	3908.54			

Fuente: Minitab 19.1

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

En la figura 3 podemos observar que: la recuperación de oro a las 24 horas de lixiviación con oxidante de ácido sulfúrico y ácido cítrico, no muestra una influencia significativa. Por lo tanto, se puede sustituir el ácido sulfúrico con ácido cítrico. También podemos divisar que, a las 48 horas de lixiviación se recuperó mayor porcentaje de Au (%), con ácido cítrico.

Con respecto a la influencia de pH para los dos tiempos de lixiviación, en la figura 4 notamos la variación de pH 1.5, 2, 2.5 y 3 a 24 horas de lixiviación, siendo el pH óptimo de 1.5 y para las 48 horas de lixiviación el pH más óptimo es de 2.5 para ambos oxidantes.

En la figura 5 podemos ver que: a pH 1.5 se obtiene mayor recuperación con ácido cítrico, a pH 2 se obtiene una similar recuperación con ambos oxidantes, ya que se presenta poca diferencia significativa, a pH 2.5 se obtiene mayor recuperación con ácido cítrico y a pH 3 hay mayor recuperación con ácido sulfúrico.

De la figura 6, apreciamos que la mayor extracción se da a las 48 horas de lixiviación por agitación con ambos oxidantes, existiendo poca diferencia entre los oxidantes. Por otro lado, existe una diferencia significativa de extracción de Au (%) con respecto al

primer tiempo de 24 horas. Esto quiere decir que, el tiempo tiene gran influencia en la extracción de Au, utilizando tiourea con agente oxidante inorgánico y orgánico.

De la figura 7 observamos el gasto de ácido sulfúrico, para los niveles de pH: 1.5, 2, 2.5 y 3. Donde el pH baja de manera inversamente proporcional al gasto del oxidante, por lo cual no se requiere mucha concentración de dicho ácido para llegar al pH del nivel más bajo.

De la figura 8 observamos el gasto de ácido cítrico, para los niveles de pH: 1.5, 2, 2.5 y 3. Donde el pH baja de manera inversamente proporcional al gasto del oxidante, por lo cual se requiere mayor concentración de ácido cítrico para llegar al pH del nivel más bajo, en comparación con ácido sulfúrico.

De la figura 9 la variación del porcentaje de extracción de Au (%) a partir de pH de 1.5, 2, 2.5, 3 y tiempo de 24 y 48 horas. Además, con oxidante ácido sulfúrico y ácido cítrico. De dicha gráfica podemos entender que a mayor tiempo de lixiviación se obtendrá mayor extracción de oro, así mismo ambos oxidantes no tienen mucha influencia con respecto a la extracción. Sin embargo, el pH influye en ambos oxidantes, como se muestra en la figura, se obtuvo mayor porcentaje de Au a pH 1.5 y 2.5.

Según Irwin y Eudiño (2016), llegó a la conclusión que: “las condiciones operacionales adecuadas para obtener la mayor disolución de oro de un mineral oxidado se dan con 2g/L de Tiourea y 4.04 g/L de ácido cítrico, llegándose a un

porcentaje de extracción de 62% con tendencia creciente. Además, el ácido cítrico influye positivamente sobre el consumo, lográndose tener una mayor fuerza de disolución”. En la figura 5 podemos verificar que a $\text{pH} = 1.5$, concentración de tiourea de 3g/L y según la tabla 12 se utilizó 214 g/L ácido cítrico, obteniendo un porcentaje de extracción de 33.02 % en promedio de los tiempos de lixiviación. Debido a que el mineral de estudio en nuestra investigación es sulfuro, por lo tanto, se necesita más concentración de ácido cítrico para obtener una mayor recuperación en comparación al mineral oxidado según los autores anteriormente mencionados.

Por Ricardo (2015), obtuvo: “las mejores recuperaciones empleando altas concentraciones de cianuro y tiourea obteniendo una recuperación de oro con cianuro de 34,13 % y con tiourea de 32,39 % dando un bajo rendimiento de recuperación con tiourea. Por lo tanto, la tiourea como agente lixivante alternativo tiene una mayor aceptabilidad debido a que es menos contaminante a diferencia del cianuro que es más tóxico para el ser humano y el medio ambiente”. De la figura 3 podemos observar que la extracción máxima de Au es de 41.63 % en promedio a todos los niveles de pH a 48 horas de lixiviación, utilizando como oxidante al ácido cítrico. Por lo tanto, la tiourea se puede utilizar como agente lixivante y ácido cítrico como oxidante, en consecuencia, los dos son alternativas para la lixiviación, debido a que son orgánicos y amigables con el medio ambiente.

4.2. Conclusiones

Se alcanzó a extraer 45.35 % de Au con ácido sulfúrico a pH 2.5. Por otro lado, con ácido cítrico se extrajo 44.94 % de Au con pH 1.5, a un tiempo de 48 horas y con 3g/L de concentración de tiourea en ambos casos. Por lo tanto, el tipo oxidante no influye significativamente en la extracción de Au, entonces deducimos que; se puede sustituir el oxidante de ácido sulfúrico a ácido cítrico, pero a menor pH.

El pH influye de manera directa en la recuperación de Au, ya que se obtuvo dos niveles óptimos de pH 1.5 y 2.5 para ácido sulfúrico y cítrico respectivamente, donde se obtuvo el mayor porcentaje de extracción de oro.

El tiempo tiene una influencia muy significativa en la extracción de Au, debido a que en el primer nivel de tiempo a 24 horas obtenemos una recuperación promedio de 19.15 % y a las 48 horas 40.44 %. Entonces podemos concluir que, a mayor tiempo mayor extracción.

Puesto a que los valores P son menores a 0.05, para las variables oxidante, pH, tiempo, interacción: oxidante - pH, oxidante-tiempo, pH-tiempo y las interacciones de las 3 variables. Como los valores F0 exceden sus valores tabulares (crítico) a sus respectivos grados de libertad, así como P valúe es menor a 0.05 existe evidencia empírica para rechazar la hipótesis nula (H_0), lo que nos lleva a concluir que dichas variables e interacciones estadísticamente tienen una influencia significativa con un nivel del 95 % de confianza en la extracción de Au por lixiviación mediante agitación en botellas.

El porcentaje de extracción de oro es media, debido a la presencia de sulfuros de hierro como: pirita (FeS_2) y arsenopirita (FeAsS), estos minerales mantuvieron encapsulado al oro. Por tanto, no permitieron extraer un mayor porcentaje, en este tipo de mineral sulfurado se recomienda mayor conminución de muestra a granulometría de 90 a 95 % pasante por tamiz malla #-400.

REFERENCIAS

Perea Solano, C. G. *Evaluación de una metodología alternativa a la cianuración para la disolución de oro utilizando solventes orgánicos* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín).

Ulloa, P., Justo, I., Villanueva, E., & Deyner, E. (2016). *Influencia de la concentración de tiourea sobre la extracción de oro por lixiviación de un mineral oxidado a pH ácido controlado con ácido cítrico.*

Chucos Quispe, R., & Espinoza Rivera, Y. (2016). *Influencia del pH y la concentración del ácido cítrico en la recuperación de cobre mediante lixiviación por agitación de minerales oxidados de tipo cuprita.*

Gómez Elorrieta, J. L., & Morales Mendoza, M. (2012). *Evaluación del proceso de lixiviación por agitación de minerales Au-Ag en la Compañía Minera Ares Castilla- Arequipa.*

Bazán, L., Dick, G., Tanta Quispe, N., & Hans, L. (2017). *Influencia del tiempo y la granulometría en la recuperación de plomo mediante lixiviación por agitación usando ácido cítrico, en copelas usadas.*

Sirena, C., & Nery, N. (2018). *Lixiviación de minerales de oro con reactivo sandioss en la Empresa Minera Colibrí SAC.*

Rodríguez, G., & Ignacio, R. (2015). *Estudio físico-químico comparativo de lixiviación con cianuro y tiourea en concentrados de oro, procedente de la planta de beneficio “Franromec” del cantón Camilo Ponce Enríquez, Provincia del Azuay* (Bachelor's thesis, Machala: Universidad Técnica de Machala).

Contreras Vargas, J. (2010). *El camino de la fórmula: el caso del uso de tiourea para limpieza de plata*. *Intervención* (México DF), 1(1), 45-51.

García-Peña, E., de los Milagros Palacios-Rodríguez, A., Rodríguez-Torres, M., & Hernández-Cordero, Y. (2013). *Lixiviación ácida de residuales sólidos de la tecnología carbonato amoniacal*. *Minería y Geología*, 29(1), 17-28.

de los Ángeles Columbié-Lamorú, L., Columbié-Navarro, Á. O., & Palacios-Rodríguez, A. (2013). *Modelación matemática del proceso de lixiviación ácida de las colas del proceso Caron*. *Minería y Geología*, 29(4), 61-78.

Roncancio, J. I. S., Gómez, R. D. J. T., Pinilla, M. P., & Otálora, C. A. O. (2013). *Comparación de cianuro y tiourea como agentes lixiviantes de un mineral aurífero colombiano*. *Revista Facultad de Ingeniería*, 22(34), 97-103.

Lozada, J. (2014). Investigación aplicada: Definición, propiedad intelectual e industria. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1), 47-50.

Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica*. Editorial Limusa.

ADICIONADA, C. Á. O. Y. (2018). *INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS* (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD VERACRUZANA).

Sánchez Cipriano, K. M., & Villanueva Sánchez, A. M. (2019). *Influencia del PH, granulometría y la concentración del ácido cítrico en la lixiviación por agitación de minerales sulfatos de cobre*.

Guia4.pdf. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2019, de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia4.pdf>

11.pdf. (s. f.). Recuperado 1 de diciembre de 2019, de http://www.ifdcvm.edu.ar/tecnicatura/Ciencias_Nat_y_las_Matematicas/11.pdf

Sironvalle, M. A. A. (2002). *Introducción al muestreo minero*. Santiago, Chile.

ANEXOS

ANEXO I

PORCENTAJE DE HUMEDAD

$$W = \left(\frac{W_w}{W_s} \right) \times 100$$

Donde:

W = Contenido de humedad expresado en %

W_w = Peso del agua existente en la masa del suelo

W_s = Peso de las partículas sólidas

$$W = \left(\frac{0.15 \text{ kg}}{11.15 \text{ kg}} \right) \times 100$$

$$W = 1.34 \%$$

ANEXO II

GASTO DE ÁCIDO SULFÚRICO

Tabla 15. Agregado de Ácido Sulfúrico para bajar el pH.

Ácido Sulfúrico (ml)	pH
0	3.87
0.2	2.72
0.3	2.37
0.4	2.16
0.5	2.05
0.6	1.95
0.8	1.82
1.2	1.61
1.6	1.45
2.2	1.35
2.8	1.28

Fuente: Elaboración propia.

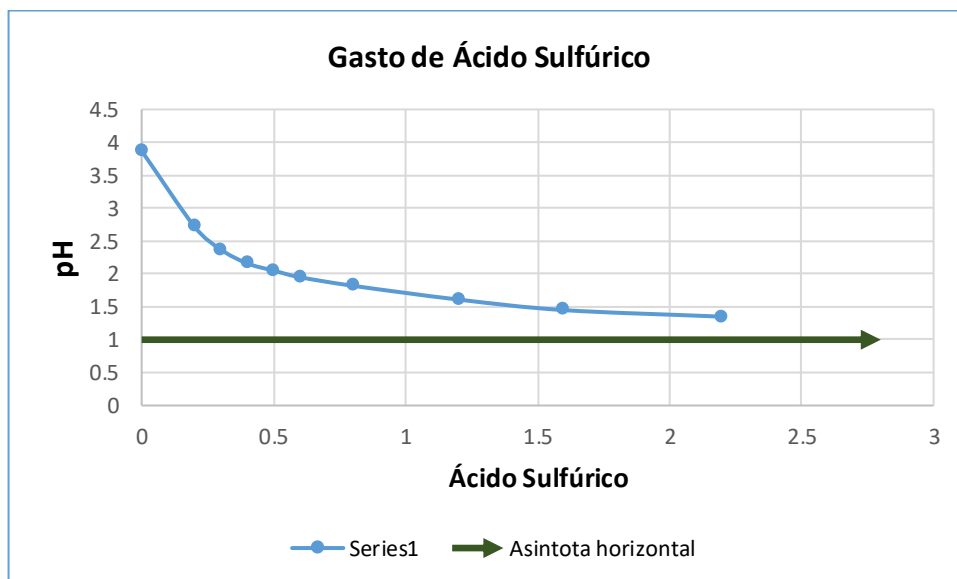


Figura 10. Agregado de Ácido Sulfúrico para bajar el pH.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO III

GASTO DE ÁCIDO CÍTRICO

Tabla 16. Agregado de Ácido Cítrico para bajar en pH.

Ácido Cítrico (g)	pH
0	4
0.1029	3.35
0.2052	3.02
0.308	2.88
0.5098	2.71
1.1133	2.52
1.7176	2.43
3.7209	2.28
7.7294	2.16
15.7311	2.03
25.7332	1.93
39.7356	1.82
57.7389	1.72
81.7413	1.63
105.747	1.52

Fuente: Elaboración propia.

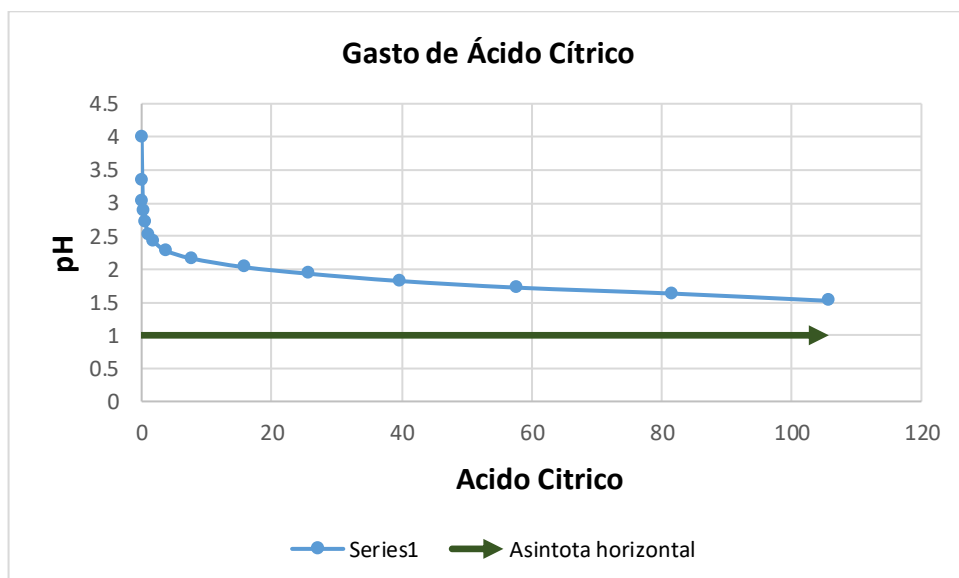


Figura 11. Agregado de Ácido Cítrico para bajar el pH.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO IV

BALANCE METALÚRGICO

Prueba N° 1: Ac. Sulfúrico pH = 1.5				
Mineral	Peso (Kg) o Volumen (L)	Ley Au (g/Tm), ppm	Contenido Metálico Au (mg)	Extracción Au (%)
Cabeza	0.25	9.12	2.28	
Solución 24h	0.5	0.934	0.47	20.44
Solución 48h	0.49	1.714	0.84	36.76
Relave	0.25	5.78	1.45	63.24
Cabeza calc.	0.25	9.13944	2.28	100.00

% Extracción calculada Au (24 h)	20.44
% Extracción calculada Au (48 h)	36.76

Prueba N° 2: Ac. Sulfúrico pH = 2				
Mineral	Peso (Kg) o Volumen (L)	Ley Au (g/Tm), ppm	Contenido Metálico Au (mg)	Extracción Au (%)
Cabeza	0.25	9.12	2.28	
Solución 24h	0.5	0.995	0.50	21.65
Solución 48h	0.49	1.643	0.81	35.04
Relave	0.25	5.97	1.49	64.96
Cabeza calc.	0.25	9.19028	2.30	100.00

% Extracción calculada Au (24 h)	21.65
% Extracción calculada Au (48 h)	35.04

Prueba N° 3: Ac. Sulfúrico pH = 2.5				
Mineral	Peso (Kg) o Volumen (L)	Ley Au (g/Tm), ppm	Contenido Metálico Au (mg)	Extracción Au (%)
Cabeza	0.25	9.12	2.28	
Solución 24h	0.5	0.822	0.41	17.65
Solución 48h	0.49	2.155	1.06	45.35
Relave	0.25	5.09	1.27	54.65
Cabeza calc.	0.25	9.3138	2.33	100.00

% Extracción calculada Au (24 h)	17.65
% Extracción calculada Au (48 h)	45.35

Prueba N° 4: Ac. Sulfúrico pH = 3				
Mineral	Peso (Kg) o Volumen (L)	Ley Au (g/Tm), ppm	Contenido Metálico Au (mg)	Extracción Au (%)
Cabeza	0.25	9.12	2.28	
Solución 24h	0.5	0.75	0.38	16.40
Solución 48h	0.49	1.963	0.96	42.06
Relave	0.25	5.3	1.33	57.94
Cabeza calc.	0.25	9.14748	2.29	100.00

% Extracción calculada Au (24 h)	16.40
% Extracción calculada Au (48 h)	42.06

Prueba N° 5: Ac. Cítrico pH = 1.5				
Mineral	Peso (Kg) o Volumen (L)	Ley Au (g/Tm), ppm	Contenido Metálico Au (mg)	Extracción Au (%)
Cabeza	0.25	9.12	2.28	
Solución 24h	0.5	0.952	0.48	21.22
Solución 48h	0.49	2.057	1.01	44.94
Relave	0.25	4.94	1.24	55.06
Cabeza calc.	0.25	8.97172	2.24	100.00

% Extracción calculada Au (24 h)	21.22
% Extracción calculada Au (48 h)	44.94

Prueba N° 6: Ac. Cítrico pH = 2				
Mineral	Peso (Kg) o Volumen (L)	Ley Au (g/Tm), ppm	Contenido Metálico Au (mg)	Extracción Au (%)
Cabeza	0.25	9.12	2.28	
Solución 24h	0.5	0.824	0.41	17.54
Solución 48h	0.49	1.982	0.97	41.35
Relave	0.25	5.51	1.38	58.65
Cabeza calc.	0.25	9.39472	2.35	100.00

% Extracción calculada Au (24 h)	17.54
% Extracción calculada Au (48 h)	41.35

Prueba N° 7: Ac. Cítrico pH = 2.5				
Mineral	Peso (Kg) o Volumen (L)	Ley Au (g/Tm), ppm	Contenido Metálico Au (mg)	Extracción Au (%)
Cabeza	0.25	9.12	2.28	
Solución 24h	0.5	0.982	0.49	21.12
Solución 48h	0.49	2.116	1.04	44.61
Relave	0.25	5.15	1.29	55.39
Cabeza calc.	0.25	9.29736	2.32	100.00

% Extracción calculada Au (24 h)	21.12
% Extracción calculada Au (48 h)	44.61

Prueba N° 8: Ac. Cítrico pH = 3				
Mineral	Peso (Kg) o Volumen (L)	Ley Au (g/Tm), ppm	Contenido Metálico Au (mg)	Extracción Au (%)
Cabeza	0.25	9.12	2.28	
Solución 24h	0.5	0.766	0.38	16.43
Solución 48h	0.49	1.792	0.88	37.68
Relave	0.25	5.81	1.45	62.32
Cabeza calc.	0.25	9.32232	2.33	100.00

% Extracción calculada Au (24 h)	16.43
% Extracción calculada Au (48 h)	37.68

Prueba N° 9: Replica - Ac. Sulfúrico pH = 1.5				
Mineral	Peso (Kg) o Volumen (L)	Ley Au (g/Tm), ppm	Contenido Metálico Au (mg)	Extracción Au (%)
Cabeza	0.25	9.12	2.28	
Solución 24h	0.5	0.954	0.48	19.81
Solución 48h	0.49	1.872	0.92	38.10
Relave	0.25	5.96	1.49	61.90
Cabeza calc.	0.25	9.62912	2.41	100.00

% Extracción calculada Au (24 h)	19.81
% Extracción calculada Au (48 h)	38.10

Prueba N° 10: Replica - Ac. Sulfúrico pH = 2				
Mineral	Peso (Kg) o Volumen (L)	Ley Au (g/Tm), ppm	Contenido Metálico Au (mg)	Extracción Au (%)
Cabeza	0.25	9.12	2.28	
Solución 24h	0.5	0.949	0.47	20.84
Solución 48h	0.49	1.622	0.79	34.90
Relave	0.25	5.93	1.48	65.10
Cabeza calc.	0.25	9.10912	2.28	100.00

% Extracción calculada Au (24 h)	20.84
% Extracción calculada Au (48 h)	34.90

Prueba N° 11: Replica - Ac. Sulfúrico pH = 2.5				
Mineral	Peso (Kg) o Volumen (L)	Ley Au (g/Tm), ppm	Contenido Metálico Au (mg)	Extracción Au (%)
Cabeza	0.25	9.12	2.28	
Solución 24h	0.5	0.859	0.43	20.14
Solución 48h	0.49	1.751	0.86	40.22
Relave	0.25	5.1	1.28	59.78
Cabeza calc.	0.25	8.53196	2.13	100.00

% Extracción calculada Au (24 h)	20.14
% Extracción calculada Au (48 h)	40.22

Prueba N° 12: Replica - Ac. Sulfúrico pH = 3				
Mineral	Peso (Kg) o Volumen (L)	Ley Au (g/Tm), ppm	Contenido Metálico Au (mg)	Extracción Au (%)
Cabeza	0.25	9.12	2.28	
Solución 24h	0.5	0.772	0.39	15.55
Solución 48h	0.49	2.107	1.03	41.59
Relave	0.25	5.8	1.45	58.41
Cabeza calc.	0.25	9.92972	2.48	100.00

% Extracción calculada Au (24 h)	15.55
% Extracción calculada Au (48 h)	41.59

Prueba N° 13: Replica - Ac. Cítrico pH = 1.5				
Mineral	Peso (Kg) o Volumen (L)	Ley Au (g/Tm), ppm	Contenido Metálico Au (mg)	Extracción Au (%)
Cabeza	0.25	9.12	2.28	
Solución 24h	0.5	0.988	0.49	22.18
Solución 48h	0.49	1.99	0.98	43.77
Relave	0.25	5.01	1.25	56.23
Cabeza calc.	0.25	8.9104	2.23	100.00

% Extracción calculada Au (24 h)	22.18
% Extracción calculada Au (48 h)	43.77

Prueba N° 14: Replica - Ac. Cítrico pH = 2				
Mineral	Peso (Kg) o Volumen (L)	Ley Au (g/Tm), ppm	Contenido Metálico Au (mg)	Extracción Au (%)
Cabeza	0.25	9.12	2.28	
Solución 24h	0.5	0.784	0.39	17.09
Solución 48h	0.49	1.733	0.85	37.01
Relave	0.25	5.78	1.45	62.99
Cabeza calc.	0.25	9.17668	2.29	100.00

% Extracción calculada Au (24 h)	17.09
% Extracción calculada Au (48 h)	37.01

Prueba N° 15: Replica - Ac. Cítrico pH = 2.5				
Mineral	Peso (Kg) o Volumen (L)	Ley Au (g/Tm), ppm	Contenido Metálico Au (mg)	Extracción Au (%)
Cabeza	0.25	9.12	2.28	
Solución 24h	0.5	0.945	0.47	20.16
Solución 48h	0.49	2.07	1.01	43.27
Relave	0.25	5.32	1.33	56.73
Cabeza calc.	0.25	9.3772	2.34	100.00

% Extracción calculada Au (24 h)	20.16
% Extracción calculada Au (48 h)	43.27

Prueba N° 16: Replica - Ac. Cítrico pH = 3				
Mineral	Peso (Kg) o Volumen (L)	Ley Au (g/Tm), ppm	Contenido Metálico Au (mg)	Extracción Au (%)
Cabeza	0.25	9.12	2.28	
Solución 24h	0.5	0.778	0.39	17.03
Solución 48h	0.49	1.885	0.92	40.45
Relave	0.25	5.44	1.36	59.55
Cabeza calc.	0.25	9.1346	2.28	100.00

% Extracción calculada Au (24 h)	17.03
% Extracción calculada Au (48 h)	40.45

ANEXO V

INFORME DE ANÁLISIS QUÍMICO DE LA MUESTRA



INFORME DE ANALISIS QUIMICO

CLIENTE : OSCAR ALCANTARA SANCHEZ **Nº COD. 45008**
TIPO DE MUESTRA : MINERAL
IDENTIFIC. DE LA MUESTRA : M1
MUESTRAS RECIBIDAS : 1
DETALLE DEL ENVASE : BOLSA SIN LACRAR
FECHA DE RECEPCIÓN : 19/11/2019
INSTRUCCIÓN DE ANALISIS : TIPO LOTE
METODO ANALÍTICO : VIA SECA
RESULTADOS :

Au - ORO (g/tm)	9.12
Au - ORO (oz/tc)	0.27
Ag - PLATA (g/tm)	387.98
Ag - PLATA (oz/tc)	11.31

Fecha de Emisión: 20/11/2019

*Este informe no debe reproducirse total ni parcial sin autorización escrita de G&S Laboratory SRL.
 *Los resultados de este Certificado solo corresponde a la muestra recibida en nuestra oficina.
 *Los remanentes de las muestras se guardarán por un periodo máximo de 1 mes.



Ing. Julio Ortiz Alvarado
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP. Nº 185126

ANEXO VI

ANÁLISIS QUÍMICO DE LA SOLUCIÓN LIQUIDA A 24 HORAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE MINERALES



CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

Solicitado por : Yopla Castrejon y Alcantara Sanchez
Tipo de muestra : Soluciones
Muestras recibidas : 11
Asunto : Análisis químico
Características y condiciones : Tubos de centrifuga
Fecha de recepción : 03-12-2019

RESULTADOS

Identificación de muestra	Elementos
	Au, (ppm)
T-1	0.750
T-3	0.766
T-4	0.995
T-6	0.934
T-9	0.982
T-10	0.952
T-11	0.949
T-13	0.859
T-14	0.822
T-15	0.784
T-16	0.824

Métodos de ensayo:

Au: ICP-OES

Fecha de emisión de reporte: Trujillo, 04 de diciembre de 2019

Ing. Juan Vega González
Jefe de Laboratorio
CIP 79515

Ciudad Universitaria Av. Juan Pablo II S/N Urb. San Andrés Telf. 208295

ANEXO VII

ANÁLISIS QUÍMICO DE LA SOLUCIÓN LIQUIDA A 48 HORAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE MINERALES



CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

Solicitado por : Yopla Castrejon y Alcantara Sanchez
 Tipo de muestra : Soluciones
 Muestras recibidas : 11
 Asunto : Análisis químico
 Características y condiciones : Tubos de centrifuga
 Fecha de recepción : 05-12-2019

RESULTADOS

Identificación de muestra	Elementos
	Au, (mg/L)
1-48	1.714
2-48	1.643
3-48	2.155
4-48	1.963
5-48	2.057
6-48	1.982
7-48	2.116
8-48	1.792
9-48	1.733
10-48	1.622
11-48	1.751

Métodos de ensayo:

Au: ICP-OES

Fecha de emisión de reporte: Trujillo, 06 de diciembre de 2019

Ing. Juan Vega González
Jefe de Laboratorio
CIP 79515

Ciudad Universitaria Av. Juan Pablo II S/N Urb. San Andrés Telf. 208295

ANEXO VIII

REPORTE MULTIELEMENTAL DE LA MUESTRA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE MINERALES



CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

Solicitado por	Yopla Castrejon Roberto, Alcantara Sanchez Oscar
Código de muestra	Mineral de cabeza sulfuro. Cod. 12
Muestras recibidas	1
Asunto	Análisis Químico
Características y condiciones	BOLSA
Fecha de recepción	05-12-2019

RESULTADOS

Método	ME FA	ME ICP-OES	ME ICP-OES	ME ICP-OES	ME ICP-OES	ME ICP-OES	ME ICP-OES
Elemento	Au	As	Sb	Pb	Zn	Fe	Cu
Unidades	g/TM	%	%	%	%	%	%
165 MLT	9.09	2.82	0.08	0.58	0.26	33.90	0.26

Método de ensayo

Au: Ensayo al fuego

ICP-OES: Cu,Fe,Zn,Pb,Sb,As.

Fecha de emisión de reporte: 06 de diciembre de 2019

Ing. Juan Vega González
Jefe de Laboratorio
CIP 79515

Ciudad Universitaria Av. Juan Pablo II S/N Urb. San Andrés Telf. 208295

ANEXO IX

ANÁLISIS QUÍMICO DE LA SOLUCIÓN SOLIDA (RELAVE)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE MINERALES



CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

Solicitado por : Yopla Castrejon y Alcantara Sanchez
 Tipo de muestra : Minerales
 Muestras recibidas : 06
 Asunto : Análisis químico
 Características y condiciones : Tubos de centrifuga
 Fecha de recepción : 05-12-2019

RESULTADOS

Identificación de muestra	Elementos
	Au, (g/TM)
pH=3 Ac. Sulfúrico, N° 4	5.30
pH=3 Ac. Cítrico, N° 10	5.81
pH=2 Ac. Sulfúrico, N° 2	5.97
pH=1.5 Ac. Cítrico, N° 7	4.94
pH=2 Ac. Cítrico, N° 8	5.51
pH=1.5 Ac Sulfúrico N° 1	5.78

Métodos de ensayo:

Au: Ensayo al fuego.

Fecha de emisión de reporte: Trujillo, 06 de diciembre de 2019

Ing. Juan Vega González
 Jefe de Laboratorio
 CIP 79515

Ciudad Universitaria Av. Juan Pablo II S/N Urb. San Andrés Telf. 208295

ANEXO X

PARTE EXPERIMENTAL DEL PROCESAMIENTO DEL MINERAL



Figura 12. Mineral sulfurado de Au.



Figura 13. Conminución del Mineral a Malla #-10.



Figura 14. Secado del Mineral.



Figura 15. Homogenizacion de la muestra por coneo, 3 Veces.



Figura 16. Muestreo por método Damero.



Figura 17. Conminución de la muestra al 80% a Malla #-200.



Figura 18. Medición pH de cada vaso de precipitados con oxidantes.



Figura 19. Pesado de muestras.



Figura 20. Preparación de solución con 1.5 g/L de tiourea, 500 ml de agua, 250 g de muestra y ácido sulfúrico a diferentes pH.



Figura 21. Lixiviación por agitación en botellas en la máquina roladora.



Figura 22. Retiro de solución a 24 h, (filtrado) para análisis ICP - OES.

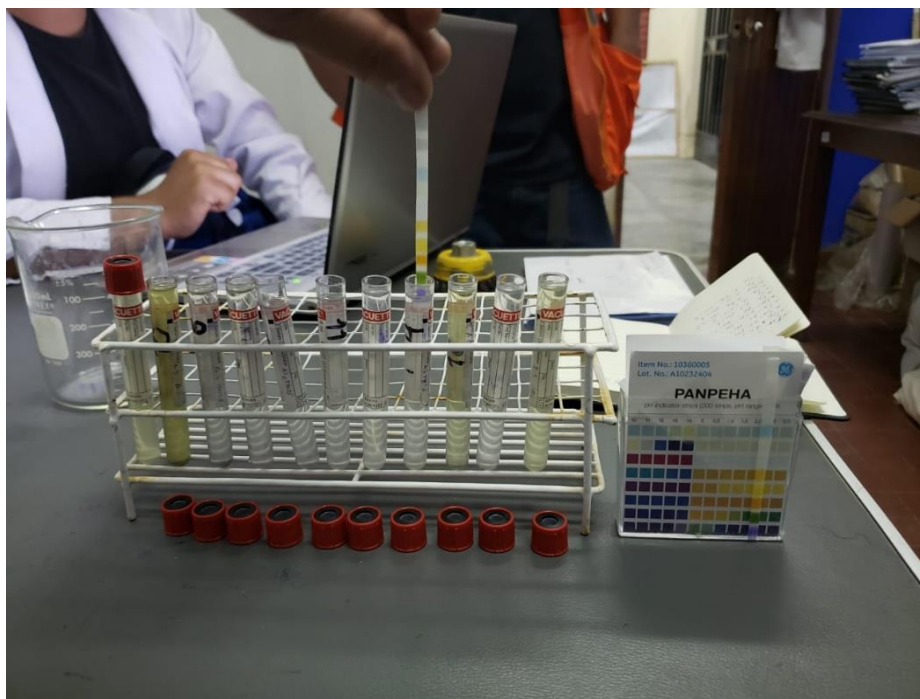


Figura 23. Corroboración del pH después del filtrado.



Figura 24. Filtrado de solución rica a 48h (filtro prensa).



Figura 25. Puesta de fracción sólida (relave) en la bandeja de acero.