



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA POR
CIANURACIÓN EN MINERALES OXIDADOS DE
MATRIZ DE SÍLICE, BREAPAMPA –
AYACUCHO”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Bckstem Sleter Chávez Medina

Bach. Sergio Ramírez Valverde

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Dedico a mis estimados padres Manuel y Gremilda por el apoyo incondicional que me han brindado día a día, por sus buenos valores y consejos, por ayudarme a cumplir mis metas. A mis amigos y familiares por brindarme su compañía y apoyo en momentos buenos y malos que me han motivado constantemente para alcanzar un peldaño más en mi vida.

Bckstem Chávez

A mis padres Rafael y Rosa quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Sergio Ramírez

AGRADECIMIENTO

En estas líneas quiero agradecer a Dios por guiarme en este camino y por permitirme concluir con uno de mis objetivos, a nuestro asesor Ing. Víctor Álvarez por brindarme sus conocimientos y pautas para concluir con esta tesis. A la Universidad Privada del Norte, a la carrera de Ing. de minas y a mis docentes por las enseñanzas brindadas durante todo este tiempo y permitirme concluir con esta etapa de mi vida. Gracias por la paciencia, orientación y guiarme en el desarrollo de esta investigación.

Bckstem Chávez

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi profundo agradecimiento Universidad Privada del Norte, a toda la Facultad de Ingeniería, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Víctor Álvarez, principal mentor durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de esta tesis.

Sergio Ramírez

Tabla de contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2. Formulación del problema	15
1.3. Objetivos	15
1.3.1. Objetivo general.....	15
1.3.2. Objetivos específicos	15
1.4. Hipótesis.....	16
1.4.1. Hipótesis general.....	16
1.4.2. Hipótesis específicas	16
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	17
2.1. Tipo de investigación	17
2.2. Población y muestra	18
2.3.1. Observación directa.....	18
2.3.2. Análisis documental.....	19
2.3.3. Experimentación	19
2.4.1. Gabinete	20
2.4.2. Trabajo de laboratorio	22
2.4.3. Gabinete	25
CAPÍTULO III. RESULTADOS	26
3.1. Descripción geológica y mineralógica del proyecto Breapampa – Ayacucho.....	26

3.1.1.	Alteraciones hidrotermales	28
3.2.	Recuperación de oro y plata en diferentes concentraciones de cianuro	30
3.3.	Recuperación de oro y plata en diferentes concentraciones de cianuro combinando el factor de granulometría	34
3.3.1.	Extracción de Oro y Plata Muestra N° 01	36
3.3.2.	Extracción de Oro y Plata Muestra N° 02	37
3.3.3.	Extracción de Oro y Plata Muestra N° 03	38
3.3.4.	Extracción de Oro y Plata Muestra N° 04	39
3.3.5.	Extracción de Oro y Plata Muestra N° 05	40
3.3.6.	Extracción de Oro y Plata Muestra N° 06	41
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		44
REFERENCIAS		48
ANEXOS		50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen del ensayo de las leyes de cabeza de Au y Ag	24
Tabla 2: Muestras, taladros de perforación y descripción geológica.	27
Tabla 3: Resultados de las pruebas de lixiviación a fracción de Au y Ag a menos 1 pulgada	30
Tabla 4: Resultados de los ensayos de extracción de Oro y Plata.....	35
Tabla 5: Resultados de la extracción de Oro y Plata en M-01	36
Tabla 6: Resultados de la extracción de Oro y Plata en M-02	37
Tabla 7: Resultados de la extracción de Oro y Plata en M-03	38
Tabla 8: Resultados de la extracción de Oro y Plata en M-04	39
Tabla 9: Resultados de la extracción de Oro y Plata en M-05	40
Tabla 10: Resultados de la extracción de Oro y Plata en M-06	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Formato de resultados del ratio de consumo de Cianuro para la recuperación de Au y Ag	20
Figura 2: Formato de datos según las condiciones de las pruebas en laboratorio	21
Figura 3: Formato de datos de recuperación de Au y Ag por granulometría	21
Figura 4: Formato de datos de recuperación de Au y Ag por granulometría y concentración de CN.....	21
Figura 5: Mineral Pulverizado M-1 ½” para pruebas en botella	22
Figura 6: Preparación de muestras en botellas	22
Figura 7: Agitador de rodillos con botellas	23
Figura 8: Procedimiento detallado del procesamiento de resultados	25
Figura 9: Alteración sílice Vuggy	28
Figura 10: Alteración sílice masiva	29
Figura 11: Gráfico comparativo de recuperación de Au en las muestras a diferentes concentraciones de cianuro.....	30
Figura 12: Gráfico comparativo de recuperación de Ag en las muestras a diferentes concentraciones de cianuro.....	31
Figura 13: Gráfico comparativo de Extracción de Au en función del tiempo de lixiviación	31
Figura 14: Gráfico comparativo de Extracción de Ag en función del tiempo de lixiviación	32
Figura 15: Gráfico promedio del porcentaje de Extracción de Au y Ag.....	36
Figura 16: Gráfico comparativo del Porcentaje de Extracción de Au y Ag / M-01	37
Figura 17: Gráfico comparativo del Porcentaje de Extracción de Au y Ag / M-02	38
Figura 18: Gráfico comparativo del Porcentaje de Extracción de Au y Ag / M-03	39
Figura 19: Gráfico comparativo del Porcentaje de Extracción de Au y Ag / M-04.....	40
Figura 20: Gráfico comparativo del Porcentaje de Extracción de Au y Ag / M-05	41
Figura 21: Gráfico comparativo del Porcentaje de Extracción de Au y Ag / M-06.....	42

RESUMEN

El trabajo de investigación que se presenta a continuación tuvo como objetivo determinar la recuperación de oro y plata por cianuración en minerales oxidados de matriz de sílice ubicado en Breapampa, mediante la prueba metalúrgica de lixiviación en botellas realizada en laboratorio. Se analizaron seis muestras de cinco perforaciones que representan diferentes tipos de litología y alteraciones. Una de las muestras contenía pirita masiva y se clasificó como refractario. Todas las muestras fueron triturados a menos 1 pulgada.

Los resultados de la muestra M-04 indicaron una extracción muy baja de oro y plata (menos del 4 %). La extracción de oro y plata a una concentración de CN de 500 mg /l fue de 6.8 y 12.4 %, respectivamente. La prueba de rodillo con botella, a una granulometría gruesa (menos 1 pulgada) indicó extracción de oro en el rango de 67.2 y 82.8 % con un promedio ponderado de 77.4 % (excluyendo la muestra refractaria M-04), estos resultados indican que es un candidato potencial para una operación de lixiviación en pilas. Sin embargo, la extracción total de plata fue de solo 20.4 % en ese tamaño de partícula.

La extracción de oro y plata a un P80 de malla 200 y una concentración de cianuro de 500 mg/l aumentó a 86.5 y 78.5 %, respectivamente. Con el mismo tamaño de partícula y aumentando la concentración de cianuro a 1,000 mg /l, la extracción de oro aumentó solo marginalmente y la extracción de plata aumentó a 88.1 %.

Palabras clave: Cianuración, lixiviación, prueba de rodillo, granulometría, concentración de cianuro, matriz de sílice.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de determinar el comportamiento de minerales oxidados de matriz de sílice mediante la prueba metalúrgica de lixiviación en botellas realizada en laboratorio, el proyecto minero ubicado en Breapampa, en el departamento de Ayacucho, en el sur del Perú a una altitud que oscila entre 3.490 y 3.750 m sobre el nivel del mar y aproximadamente a 13 horas de la capital de Lima. El área se encuentra dentro del Corredor Metalogénico de los Andes Centro-Sur del Perú (Este a Oeste) y está controlado por la deflexión de Abancay con colores blanco y marrón. La perspectiva fue identificada a unos 4 km al este del sistema de alteración Sensata con una mineralización de oro esperada de 1.15 a 9.5 g / t.

La tecnología de cianuración de minerales auríferos es muy conocida y tiene la ventaja que en muchos casos permite evitar el uso del mercurio, además esta técnica deja aprovechar mejor los recursos ya que permite recuperar oro de minerales marginales. Se analizaron seis compuestos principales de cinco perforaciones que representan diferentes tipos de litología y alteraciones, utilizando la prueba de lixiviación en botella. Uno de los compuestos contenía pirita masiva y se clasificó como refractario. Todos los compuestos fueron triturados a menos 1 pulgada. Se realizó una carga de 5 kg de cada compuesto para una prueba de rodillo de botella y el resto se trituró hasta una malla menos 10 para probar en diferentes tamaños de molienda. La cianuración del oro es una técnica metalúrgica para la extracción de oro de mineral baja calidad, que busca convertir el oro en aniones metálicos complejos de oro solubles en agua,

mediante un proceso denominado lixiviación. Es el proceso más comúnmente utilizado para la extracción de oro.

Rojas (2003), en su trabajo de investigación “Recuperación de oro y plata desde residuos ferríticos mediante cianuración”, estudió la cianuración de un residuo proveniente de la lixiviación de una calcina oxidada de metal blanco de cobre con alto contenido de cobre (10.6 %) en la forma de ferrita cúprica y además con valores importantes de oro y plata de 38.5 g/Ton y 1085 g/Ton, respectivamente. El oro presente en el residuo se encontraba en forma de electrum, liberado en granos de ferrita cúprica, mientras que la plata siempre se encontró disuelta en una matriz de Cu – S en cantidades entre 1 y 50 %. El oro presente en el residuo se recuperó en forma completa con una concentración de KCN de 0.06 gpL, pH 10.5, temperatura ambiente (25 °C) y en un tiempo de 96 horas de lixiviación. Es posible obtener igual recuperación con iguales condiciones en un tiempo de 24 horas y a temperatura de 75 °C. La plata contenida en el residuo se recuperó en forma parcial (< 60 %), con una concentración de KCN de 1.2 gpL, pH entre 10.5 y 11, temperatura de 25 °C y un tiempo superior a 72 horas de lixiviación. Es posible alcanzar igual extracción con una concentración de reactivo de 2.4 gpL de KCN, a igual temperatura de trabajo y un tiempo menor a 72 horas de lixiviación.

En Chile, Andrews (2012), en su tesis denominada “Diseño de procesos para recuperación de oro y plata desde el depósito de relaves de minera Meridian”, cuyo objetivo fue determinar la relación existente entre algunos procesos aplicados al mineral de relaves y las recuperaciones de mineral valioso. De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio realizadas, se determinó que el procedimiento

con mayor potencial para un estudio más acabado es el que consiste en lavar el mineral de relave, reducir su granulometría 100% bajo 75 μm y lixiviarlo durante 24 horas. Los resultados obtenidos al utilizar este procedimiento indicaron que es posible recuperar como promedio 0,15 gramos de oro por tonelada de mineral lavado procesado, lo que sumado a lo recuperado en la etapa de lavado del mineral permite llegar a recuperaciones sobre los 0,38 gramos de oro por tonelada de mineral procesado, equivalente a casi el 70% del oro existente en el mineral de relaves.

En el caso de la plata se logra una recuperación promedio de 8 gramos de plata por tonelada de mineral procesado, que sumado a lo recuperado en la etapa de lavado alcanza el 38% de recuperación de plata contenida en el mineral del depósito de relaves.

Tribiños (2018), en su trabajo de investigación “evaluación preliminar de la extracción de Au a partir de pruebas metalúrgicas de un mineral con alteración sílice granular en UEA Valeria – Anabi SAC - Grupo Aruntani”, en metodología se realizaron 3 pruebas metalúrgica: Lixiviación Flash, Botella y Columna. Llegando a la conclusión de que la más alta extracción (96,53%) de oro se obtiene en la lixiviación flash, esto se debe a dos factores principales, la elevada concentración de cianuro (10000 ppm) y al tamaño reducido de las partículas (60% a – 74 μm). La extracción más baja se obtiene con la cianuración en columna grande (88.86%), a pesar del tiempo de lixiviación de 75 días, la que está determinada por el tamaño grueso de las partículas, R.O.M. de +/- 6 pulg. La prueba de lixiviación en botella, realizada durante 72 h, da una extracción que se halla entre las obtenidas en las dos pruebas anteriores (94,17%). En lo que respecta a la ley de cabeza, las cabezas calculadas (obtenidas por los análisis de ripios y de solución pregnant) en la prueba de lixiviación en botella presenta un valor más

alto (0,389 g/TM) y en la columna grande presenta un valor próximo a la ley de cabeza analizada (0,361 g/TM).

Según Isidro (2018), en su tesis denominada “Pruebas de cianuración en botellas y columnas para minerales mixtos auríferos en la empresa minera J.J Inversiones Minera SAC en Abancay”. El objetivo era estudiar la cinética de disolución de oro a diferentes granulometrías y determinar el porcentaje de recuperación de oro. Concluyendo que el mineral aurífero en óxidos presenta alto porcentaje de recuperación de oro (90,9 %), a una granulometría 80% -malla 0,0625 m (1/4"), en un tiempo de lixiviación de 15 días. Por lo tanto, es un mineral que se puede procesar por cianuración para recuperar oro en la zona. La recuperación de plata es del 60,7 %, y es probable que requiera mayor tiempo de lixiviación para aumentar la recuperación de plata en ambas pruebas de diferente tamaño granulométría.

La solución de cianuro siempre tiene preferencia por los metales preciosos presentes en el mineral procesado y que la rapidez de la disolución de oro depende de la concentración de cianuro, la alcalinidad del medio lixivante, tiempo de lixiviación y el pH, el cual suele considerar entre 10.5 y 11, Así mismo, para poder efectuarse una eficiente cianuración de un mineral aurífero, el oro debe estar en forma libre y en tamaño fino. La presencia de acompañantes como minerales oxidado de cobre y sulfuros es negativo para el proceso, porque tienden a disolver en primera instancia, quedando muy poco cianuro libre para lixiviar al oro o también puede causar que el complejo aurocianuro sea absorbido por algún constituyente orgánicos (Michaud, 2015).

Pérez (2016), en su trabajo de investigación “Instalación de una planta de cianuración para el tratamiento de minerales auríferos” Se realizaron con muestra preparada, corridos en botella sobre rodillos con la finalidad de determinar la docilidad del mineral a la lixiviación. Inicialmente este tipo de pruebas se realiza sobre una carga de 200 gramos de mineral aurífero que es convertido en pulpa con 600 ml. de agua, el mineral aurífero es reducido a una malla fina 100% malla -100, luego se agrega cal para ajustar el pH a 10.5 aproximadamente la cantidad agregada a la pulpa generalmente está en 1.5 a 2 Kg. /tonelada de mineral. A la botella que contiene el mineral se añade cianuro de sodio al 0.2%, se agitan continuamente durante 72 horas, luego se ensaya la solución para determinar la cantidad de oro y plata. Las pruebas de cianuración realizadas demuestran que es factible llegar a recuperaciones del 90% de Au y un consumo de cianuro de 3.30 Kg/TM, haciendo que sea factible la instalación de la planta para el tratamiento de estos minerales auríferos.

INACAP (2006), indica que las menas molidas a tamaños menores a las 150 mallas (aproximadamente tamaños menores a los 105 micrones), es agitada con solución cianurada por tiempos que van desde las 6 hasta las 72 horas, también que el pH debe ser alto, entre 10 y 11, para evitar la pérdida de cianuro por hidrólisis (generación de gas cianhídrico, CNH, altamente venenoso) y para neutralizar los componentes ácidos de la mena.

La cianuración es el método más importante que se ha desarrollado para la extracción del oro de sus minerales y se usa a escala comercial en todo el mundo. La química del

proceso de cianuración se basa en el hecho, de que, bajo condiciones oxidantes, el oro y la plata pueden disolverse y acomplejarse en soluciones de cianuros alcalinos. La base del proceso de cianuración, es que soluciones débiles o diluidas de cianuro de sodio o potasio, tienen una acción disolvente preferencial sobre partículas de oro metálico (igualmente sobre la plata), con respecto a otros metales que se encuentran habitualmente en los minerales de oro. El cianuro es el término descriptivo general aplicado usualmente al cianuro de sodio (NaCN). Debiendo mencionarse que el ion cianuro (CN⁻) es en realidad el que tiene la acción o fuerza disolvente y la base alcalina del sodio, potasio o calcio, simplemente da la estabilidad química al compuesto. (TECSUP, 2020, p. 01 – p. 02)

Cuando en los minerales se encuentra oro libre grueso, la práctica usual es separarlo por medio de trampas hidráulicas gravimétricas, antes de la cianuración, de lo contrario, las partículas gruesas no podrán ser disueltas completamente en el tiempo disponible para llevar a cabo el proceso de disolución. Otra práctica para reducir el tamaño de las partículas de oro, es la molienda y clasificación de los minerales de oro en circuito cerrado, donde las partículas de oro grueso son reducidas de espesor y quebrantados, logrando rebosar del clasificador. Cuando se utilizan cribas hidráulicas en los circuitos de molienda, es posible coleccionar partículas de oro hasta de tamaños equivalentes a la malla 65. La velocidad de disolución, además, está acondicionada a otros factores como: la aireación, agitación, composición química, concentración de cianuro, grado de liberación del oro y la eficiencia de la solución de cianuro en uso, entre otras. (TECSUP, 2020, p. 03)

La velocidad de disolución del oro en solución de cianuro alcanza un máximo al pasar de soluciones concentradas a diluidas. Hay variaciones muy grandes en la fuerza de la solución que provoca la máxima velocidad de disolución del oro, probablemente debido a la variedad de las técnicas empleadas en la determinación experimental de los resultados. Las variaciones incluyen factores como, la razón del volumen de la solución a la superficie del oro y las mencionadas anteriormente. Si es empleado un gran volumen de solución de cianuro y la superficie expuesta por el oro es relativamente pequeña y la agitación es suficientemente intensa para favorecer la difusión de los productos de la reacción, entonces el factor restrictivo que gobierna la velocidad de disolución del oro sería la concentración de oxígeno en la solución en contacto con el oro. (TECSUP, 2020, p. 04)

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el porcentaje de recuperación de oro y plata por cianuración en minerales oxidados de matriz de sílice Breapampa – Ayacucho?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el porcentaje de recuperación de oro y plata por cianuración en minerales oxidados de matriz de sílice Breapampa – Ayacucho.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar la descripción geológica y mineralógica de la zona donde se ubica el proyecto Breapampa, de la cual se obtuvieron las muestras del mineral.

- Determinar la recuperación de oro y plata en diferentes concentraciones de cianuro.
- Determinar la recuperación de oro y plata en diferentes concentraciones de cianuro combinando el factor de granulometría.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La recuperación de oro alcanza una recuperación entre 80% y 90% a una granulometría menor a 1 pulgada y la plata a una recuperación entre 30 % y 40% con la misma granulometría del mineral de oro, a una concentración de 50, 500 y 1000 mg/l en pruebas de cianuración en botella.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Con los datos obtenidos de la descripción geológica y mineralógica de la zona dónde se encuentra el proyecto Breapampa, se identificará de manera detallada las características del yacimiento y propiedades del mineral que contiene.
- Se podrá determinar el porcentaje de extracción de Au y Ag utilizando diferentes concentraciones de cianuro mediante la realización de pruebas metalúrgicas preliminares en laboratorio.
- Se logrará determinar el porcentaje de recuperación de Au y Ag utilizando distintas concentraciones de cianuro sumando el factor de granulometría en las pruebas metalúrgicas de laboratorio, para mejorar la recuperación metalúrgica en las muestras analizadas.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente proyecto corresponde a una investigación Aplicada, del tipo Experimental a nivel de laboratorio, ya que los datos de las muestras tomadas en campo se manejaron en el laboratorio, se llevaron a cabo pruebas de cianuración en botella en los seis compuestos en diferentes tamaños de trituración / molienda y concentraciones de cianuro libre.

Vargas (2009), nos indica que el tipo de investigación Aplicada es una forma de conocer las realidades con una prueba científica; requiere obligatoriamente de un marco teórico, sobre el cual se basará para generar una solución al problema específico que se quiera resolver, se centra en el análisis y solución de problemas de varias índoles de la vida real, así como también se nutre de avances científicos y se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos.

Según Palella y Martins, (2012) “El diseño experimental es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. Busca predecir el futuro, elaborar pronósticos que una vez confirmados, se convierten en leyes y generalizaciones tendentes a incrementar el cúmulo de conocimientos pedagógicos y el mejoramiento de la acción educativa” (p.86). Así mismo es a nivel de laboratorio, ya que todos los datos de las muestras analizadas se obtuvieron de las pruebas de botella realizadas en laboratorio.

2.2. Población y muestra

- **Población**

Todas las muestras provenientes de los compósitos de 14 taladros de perforación que representan distintos tipos de litología y alteraciones.

- **Muestra**

Seis (6) muestras de compósitos provenientes de 5 taladros de perforación que representan distintos tipos de litología y alteraciones de sílice, etiquetados desde M-01 a M-06.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Observación directa

Se observó en campo indicios de la presencia de ciertas alteraciones con matriz de sílice, lo cual fue reafirmado por los datos de campo proporcionados por el área de geología, indicando que la geología regional está compuesta por una estratigrafía volcánica terciaria con un sótano cretáceo sedimentario. La parte central del depósito contiene alteración vuggy de sílice con presencia de cuerpos de sílice masiva y granular. En los límites, la alunita de sílice, la arcilla de sílice y la arcilla están presentes. Con esta información se procedió a realizar las investigaciones correspondientes para identificar el proceso más óptimo que permita tener una recuperación metalúrgica económicamente rentable de Oro y Plata.

Se recolectaron seis compuestos principales de cinco perforaciones que representan diferentes tipos de litología y alteraciones para realizar pruebas de

lixiviación en rodillo con botella. Uno de los compuestos (M-04) contenía pirita masiva y se clasificó como refractario.

2.3.2. Análisis documental

Se recolecto información de trabajos de investigación con relación a procesos de recuperación metalúrgica de Oro y Plata por cianuración que permita obtener porcentajes altos, tomando en cuenta la naturaleza geológica del yacimiento, en este caso se utilizaron muestras procedentes de una matriz de sílice.

2.3.3. Experimentación

Se trabajó con seis compuestos principales de cinco perforaciones que representan diferentes tipos de litología y alteraciones mediante pruebas de lixiviación en rodillo con botella. Uno de los compuestos (M-04) contenía pirita masiva y se clasificó como refractario. Todos los compuestos fueron triturados a menos de 1 pulgada. Se realizó una carga de 5 kg de cada compuesto para una prueba y el resto se trituró hasta una malla menos 10 para probar en diferentes tamaños de molienda.

Se realizaron diferentes tamaños de trituración y molienda (1 pulgada, 10M, 65M y 200M) y concentraciones de cianuro (50, 500 y 1,000 mg / L como CN). En general, el consumo de cianuro de sodio fue depende del tamaño de la molienda, la concentración de cianuro y el tiempo de secado.

2.4. Procedimiento

El tipo de investigación que se utilizó en este trabajo es experimental, por lo cual se realizaron varias pruebas en laboratorio y la técnica que se utilizó fue pruebas de rodillo con botella que permitieron calcular las dosis óptimas del reactivo y granulometrías del mineral para obtener un alto porcentaje de recuperación metalúrgica de Oro y Plata provenientes de una matriz de sílice.

2.4.1. Gabinete

Se realizó una revisión de trabajos previos de los cuales se seleccionó la información con contenido destacado y relacionado a procesos de cianuración para la recuperación de Oro y Plata dependiendo de la matriz geológica del yacimiento. Se elaboraron formatos para ser utilizados como instrumentos en la toma de datos de los resultados obtenidos mediante las pruebas en laboratorio.

Figura 1

Formato de resultados del ratio de consumo de Cianuro para la recuperación de Au y Ag

ENSAYOS DE ORO (Au) Y PLATA (Ag)							
Número de muestra	Longitud del Core (m)	Ensayo de Oro (g/TM)		AuCN/AuFAA	Ensayo de Plata (g/TM)		AgCN/AgFAA
		Au FAA	Au CN	Ratio	Ag FAA	Ag CN	Ratio
M-001							
M-002							
M-003							
M-005							
M-006							
M-1,2,3,5,6							
M-004							

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2

Formato de datos según las condiciones de las pruebas en laboratorio

Condiciones de pruebas de rodillo con botella y granulometría de molienda					
Tamaño de partícula	Tamaño de muestra	Concentración de Cianuro (ppm CN)		Porcentaje de sólidos	Tiempo (días)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3

Formato de datos de recuperación de Au y Ag por granulometría

Resultados de las pruebas de lixiviación a fracción menos 1 pulgada					
Número de muestra	Profundidad de	Extracción Au (%)		Extracción Ag (%)	
		50 ppm	500 ppm	50 ppm	500 ppm
M-01					
M-02					
M-03					
M-05					
M-06					
M-1,2,3,5,6					
M-04					

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4

Formato de datos de recuperación de Au y Ag por granulometría y concentración de CN

Tamaño de partícula	CN (mg/L)	Ensayos generales de Au (g/t)		% Extracción de Au	Ensayos generales Ag (g/t)		% Extracción de Ag
		Cabeza calculada	Ley de relave		Cabeza calculada	Ley de relave	
1"	50						
1"	500						
10 M	50						
10 M	500						
65 M	500						
200 M	500						
200 M	1000						

Fuente: Elaboración propia.

2.4.2. Trabajo de laboratorio

Todos los compuestos fueron triturados a menos 1 pulgada. Se hizo una carga de 5 kg de cada compuesto para una botella a prueba de rodillo y el resto fue aplastado a una malla menos 10. El material de malla menos 10 se dividió en 500 gramos para análisis de cabezales y pruebas de botellas en diferentes tamaños de molienda (malla 10, malla 65 y malla 200).

Figura 5

Mineral Pulverizado M-1 ½” para pruebas en botella



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6

Preparación de muestras en botellas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7

Agitador de rodillos con botellas



Fuente: Elaboración propia.

Las leyes de cabeza de oro variaron entre 1.00 y 4.96 g / t, de los cuales 20 a 87 % era soluble en cianuro basado en procedimientos analíticos estándar. Las leyes de cabeza de plata estaban en el rango de 6.3 a 489 g / t de 1 a 79 el porcentaje fue soluble en cianuro. La proporción de ensayo de oro a fuego soluble en cianuro más baja y plata soluble en cianuro a la proporción de plata total correspondió al compuesto M-04. Este compuesto era de naturaleza refractaria debido a la posible asociación de los metales preciosos con pirita como lo demuestra el alto contenido de sulfuro de azufre de 4.6 %. Ver tabla 1.

Tabla 1

Resumen del ensayo de las leyes de cabeza de Au y Ag

ENSAYOS DE ORO (Au) Y PLATA (Ag)							
Número de muestra	Longitud del Core (m) muestra (m)	Ensayo de Oro (g/TM) g/t.		AuCN/ AuFAA Ratio	Ensayo de Plata (g/TM) g/t.		AgCN/ AgFAA Ratio
		Au FAA	Au CN		Ag FAA	Ag CN	
M-001	20	1.34	0.99	0.74	6.3	5	0.79
M-002	16.4	1.00	0.87	0.87	27.4	16	0.58
M-003	12	4.96	3.74	0.75	34.2	20	0.58
M-005	17.2	1.92	1.60	0.83	489	128.1	0.26
M-006	15.6	2.72	1.91	0.70	142	52	0.37
M-1,2,3,5,6	81.1	2.20	1.68	0.76	143.1	44.6	0.31
M-004	12	2.91	0.58	0.20	10.3	0.10	0.01

Fuente: Datos de laboratorio.

Equipos

En laboratorio se utilizaron los siguientes equipos e instrumentos:

- Agitador de rodillos
- Balanza electrónica
- Botellas de vidrio de 2 L de capacidad
- Espátula
- Cucharilla
- Probeta de vidrio de 1 LT
- Pizeta
- Medidor digital de pH
- Titulador
- Pipetas
- Pulverizadora

- Tamices de 1”, malla 10, malla 65 y malla 200

Reactivos

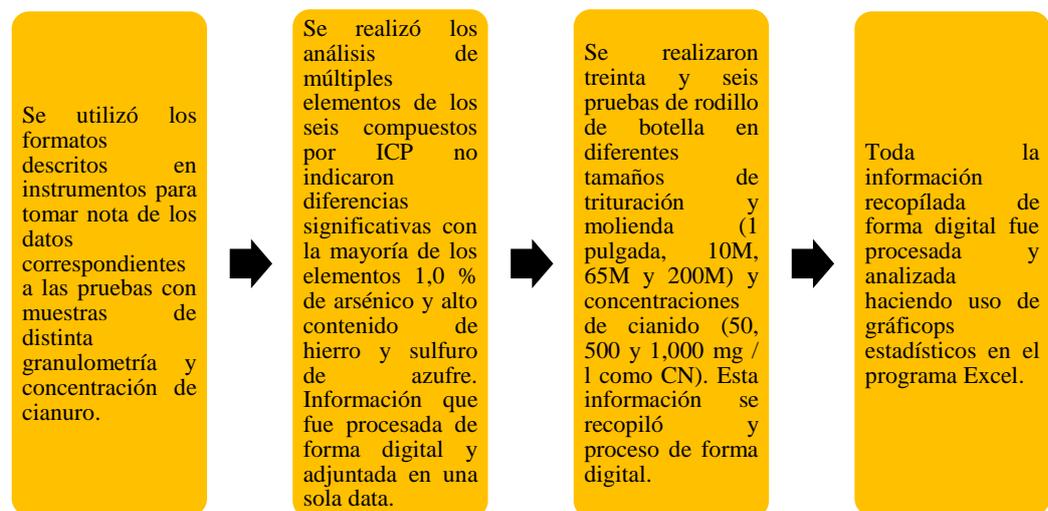
- Cianuro de sodio al 98%

2.4.3. Gabinete

Los datos tomados durante las pruebas de laboratorio mediante pruebas de rodillo con botella se pasaron al documento de base de datos digital para poder efectuar los cálculos de los porcentajes de recuperación según los parámetros de concentración de cianuro y granulometría para luego realizar la elaboración de gráficos comparativos entre cada una de las muestras analizadas.

Figura 8

Procedimiento detallado del procesamiento de resultados



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Descripción geológica y mineralógica del proyecto Breapampa – Ayacucho

La geología regional está compuesta por una estratigrafía volcánica terciaria con un sótano cretáceo sedimentario. Particularmente en la Colina Breapampa, las secuencias piroclásticas se intercalan en la parte inferior del cuerpo, con gotas lacustres de sedimentos. El sistema local presenta una alteración hidrotermal de aproximadamente 1 km², que cubre la secuencia piroclástica. El sistema tiene un pH ácido en la parte central y un pH básico cerca de los límites con las principales alteraciones de K-Alunita y Na-Alunita.

La parte central de la colina Breapampa contiene alteraciones sílice vuggy con presencia de sílice granular. En los límites, están presentes sílice alunita, sílice arcillosa y arcilla. El área contiene anómalos elementos geoquímicos como Au, Ag, Cu, As, Sb y Hg en la secuencia piroclástica asociada a la silicificación y brechas de baritina. La Tabla N° 02 presenta los grados aproximados de oro y plata y una breve descripción geológica de los seis compuestos.

De la información se indica que se realizó un examen petrográfico del taladro BE-034 de la muestra 04, reportando que el sistema de mineralización en esa porción del yacimiento es un epitermal de alta sulfuración con minerales dominantes de ganga como cuarzo, caolín y alunita. Los principales minerales sulfurados observados fueron pirita, enargita y oropimente. Con esto se pudo explicar la naturaleza refractaria de la muestra M-04 de BE-034 (100 - 112 m).

Tabla 2*Muestras, taladros de perforación y descripción geológica.*

Número de muestra	Número de taladro	Profundidad (m)		Ley de Oro g/t		Ley de Plata g/t		Tipo de alteración	Descripción geológica	
		Desde	Hasta	Ensayo	Promedio	Ensayo	Promedio		Descripción	Comentario
M-01	BE-032	0.00	12.00	2.35	2.03	5.30	5.75	SVA	TLP	Ley moderada de Au, baja Ag
	BE-033	10.00	18.00	1.54		6.20				
M-02	BE-034	30.00	46.40	1.25	1.25	40.70	40.70	SMA	TAL	Ley moderada de Au, baja Ag
M-03	BE-032	36.00	48.00	6.00	6.00	32.70	32.70	SVA	TLP	Ley alta de Au, baja Ag
M-04	BE-034	100.00	112.00	3.79	3.79	15.20	15.20	SMp	LAM	Ley moderada de Au, moderada Ag
M-05	BE-036	32.80	50.00	3.40	3.40	383.00	383.00	SV-SA	TLP-TAL	Ley alta de Au, alta Ag
M-06	BE-035	16.10	24.00	4.40	4.36	189.00	102.00	SV-SA	TLP	Ley alta de Au, alta Ag
	BE-036	25.20	32.80	4.32		14.50				

Fuente: Datos de campo y laboratorio.

3.1.1. Alteraciones hidrotermales

A. Sílice Vuggy

Está formada por cuarzo de grano fino con cavidades o espacios abiertos que varían desde menos de 1 mm. a varios centímetros de ancho; se observan desde superficie hasta los primeros 30 m. Se forma cuando los fluidos magmáticos ascendentes se condensan al entrar en contacto con rocas saturadas con agua que originan fluidos ácidos y como consecuencia lixivian la roca. Se presenta afectando a las tobas brecha principalmente y se caracterizan por presentar alunita plumosa intercrecida en las cavidades de lixiviación. Además, se observa niveles de sílice crema y venillas de sílice gris a negra el incremento de las mismas va asociada directamente al aumento de los valores de Au – Ag.

Figura 9

Alteración sílice Vuggy



Fuente: Elaboración propia.

B. Sílice Masiva – Alunita

Representa la base del sistema alterado y mineralizado. El cuerpo principal de la sílice tiende a una orientación Este - Oeste aproximadamente, con un comportamiento vertical comprobado. En profundidad tiene un fuerte fracturamiento con relleno de sílice gris – negra, predominante, dickita y alunita magmática, oropimente complementan el relleno. Se encuentra principalmente por debajo de la sílice vuggy afectan principalmente a la toba de ceniza. Se forman por la interacción de aguas meteóricas frías de baja acidez, con fluidos ascendentes ácidos a alta temperatura.

Figura 10

Alteración sílice masiva



Fuente: Elaboración propia.

3.2. Recuperación de oro y plata en diferentes concentraciones de cianuro

Se llevaron a cabo pruebas de rodillo de botella en los seis compuestos en diferentes concentraciones de cianuro libre de acuerdo con las condiciones mostradas en la tabla N° 03, se obtuvieron los siguientes resultados en el análisis de laboratorio.

Tabla 3

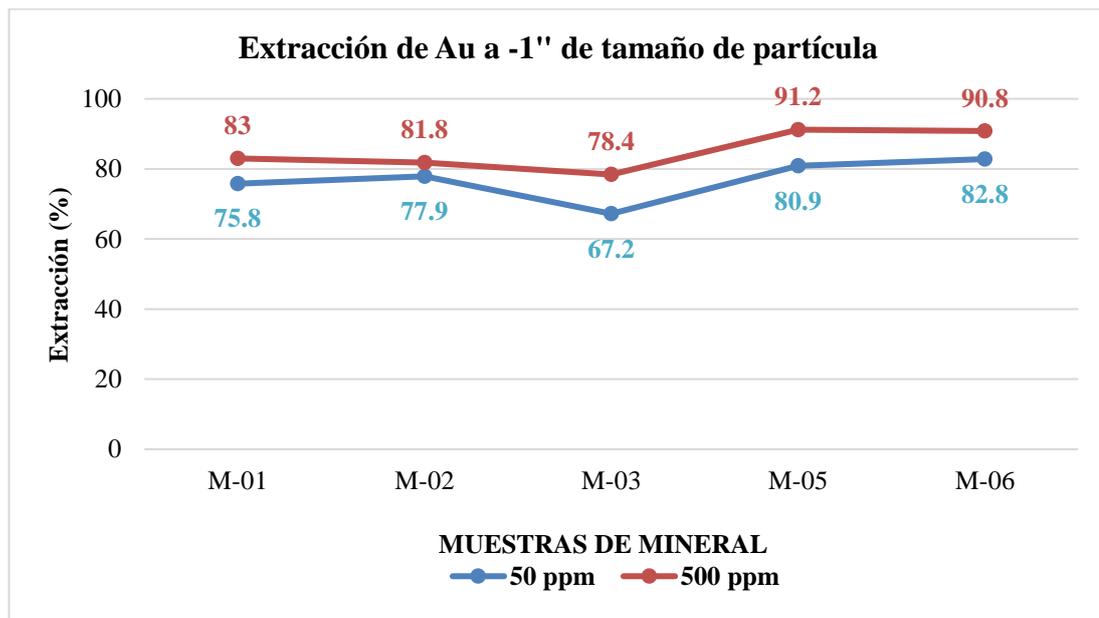
Resultados de las pruebas de lixiviación a fracción de Au y Ag a menos 1 pulgada

Número de muestra	Profundidad de muestra (m)	Extracción Au (%)		Extracción Ag (%)	
		50 ppm	500 ppm	50 ppm	500 ppm
M-01	20	75.8	83.0	32.0	48.1
M-02	16.4	77.9	81.8	18.1	27.1
M-03	12	67.2	78.4	26.6	37.7
M-05	17.2	80.9	91.2	9.6	20.1
M-06	15.6	82.8	90.8	15.0	26.4
M-1,2,3,5,6	81.1	77.4	85.3	20.4	32.2
M-04	12	3.4	6.8	0.5	12.4

Fuente: Datos de laboratorio.

Figura 11

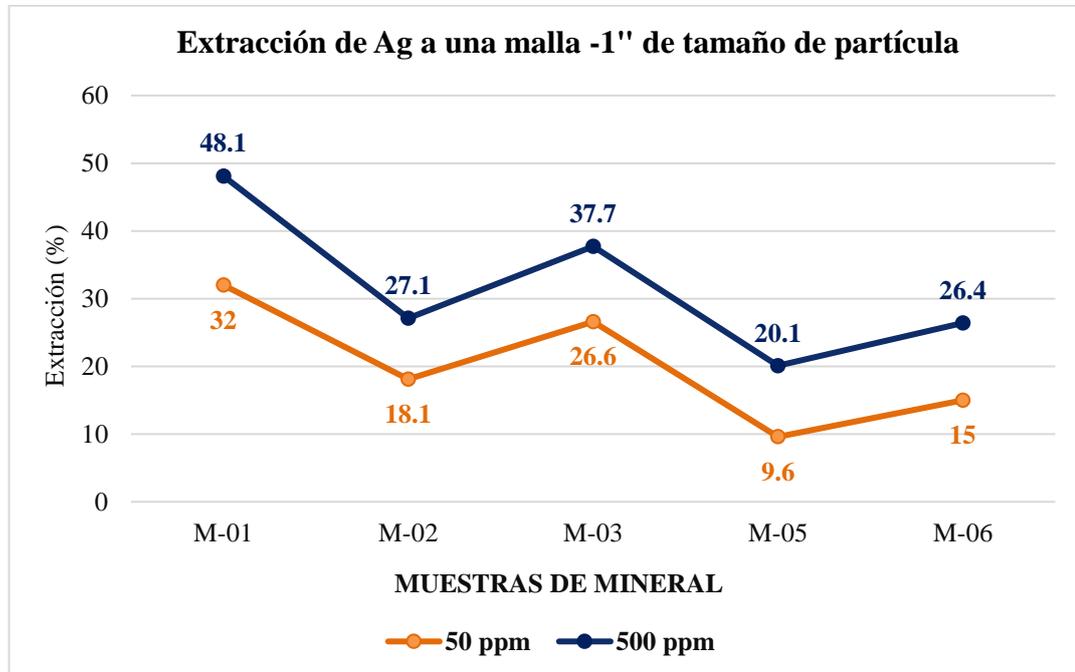
Gráfico comparativo de recuperación de Au en las muestras a diferentes concentraciones de cianuro



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12

Gráfico comparativo de recuperación de Ag en las muestras a diferentes concentraciones de cianuro



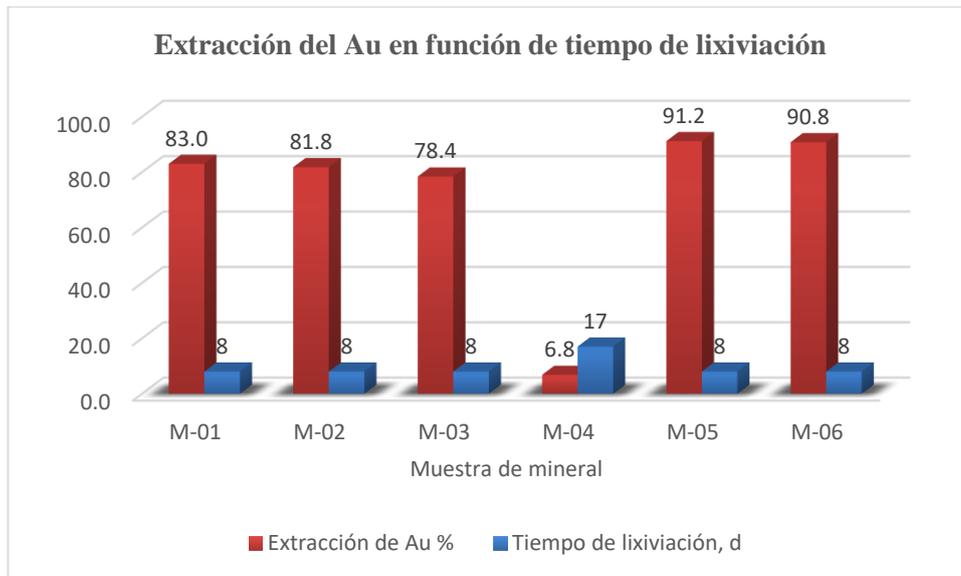
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la muestra M-04 indicaron una extracción muy baja de oro, plata y cobre (menos del 4 %). La extracción de oro y plata a una concentración de CN de 500 mg / l fue de 6.8 y 12.4 %.

Las figuras 11 y 12 se muestran, respectivamente, la diferencia en la extracción de oro y plata utilizando cianuro en concentración de 50 y 500 mg / l para todos los compuestos, excepto M-04. Las figuras 13 y 14 representan, respectivamente, extracción de oro y plata en función del tiempo de lixiviación.

Figura 13

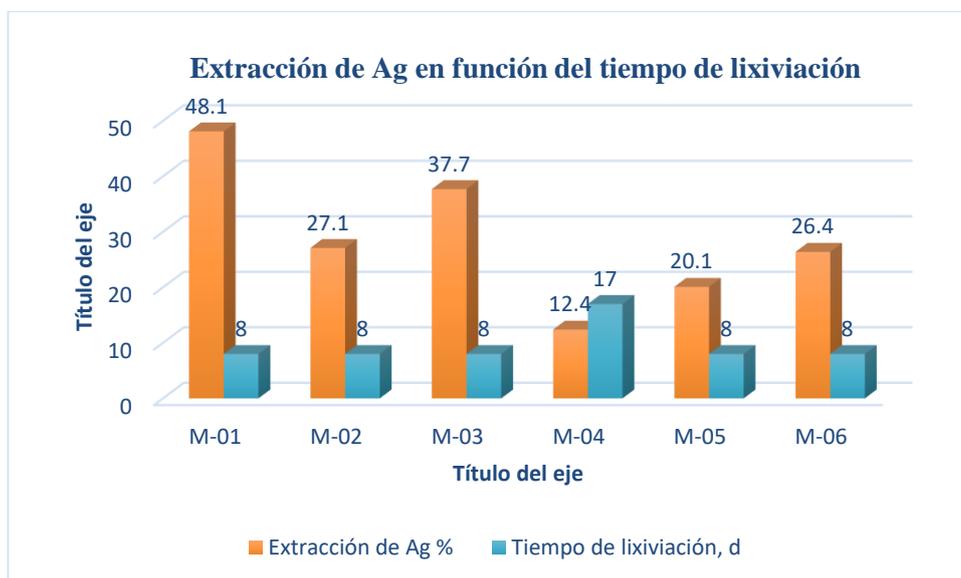
Gráfico comparativo de Extracción de Au en función del tiempo de lixiviación



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14

Gráfico comparativo de Extracción de Ag en función del tiempo de lixiviación



Fuente: Elaboración propia.

Se calculó una extracción promedio ponderada de oro y plata en función de la longitud del núcleo para cada tamaño de partícula y concentración de cianuro como se resume en la Tabla N° 04 (excluyendo la muestra M-04). Un aumento significativo en la

extracción de oro resultó en menos 1 pulgada por el aumento de la concentración de cianuro de 50 a 500 mg / l (de 75.9 a 84.9 %).

En general, el consumo de cianuro de sodio dependía del tamaño de la molienda, la concentración de cianuro y la lixiviación. Sin considerar la muestra M-04, el consumo de cianuro de sodio para las pruebas de menos 1 pulgada y una concentración de cianuro de 50 mg / l varió de 0.11 a 0.28 kg / t. El consumo de cal para las mismas pruebas varió entre 1,5 y 2,2 kg / t durante los 11 días de lixiviación. El aumento de la concentración de cianuro resultó en mayor consumo de cianuro de sodio.

El aumento de la concentración de cianuro a 500 mg / l aumentó la extracción promedio ponderada de oro a 85.3 %. Estos resultados hacen que este mineral sea un candidato potencial para la lixiviación en pilas. Bajo el mismo análisis, la extracción total de plata aumentó de 20.4 a 32.2 % al aumentar la concentración de cianuro de 50 a 500 mg / l.

3.3. Recuperación de oro y plata en diferentes concentraciones de cianuro combinando el factor granulometría

Se llevaron a cabo pruebas de rodillo con botella en los seis compuestos en diferentes tamaños de granulometría y concentraciones de cianuro.

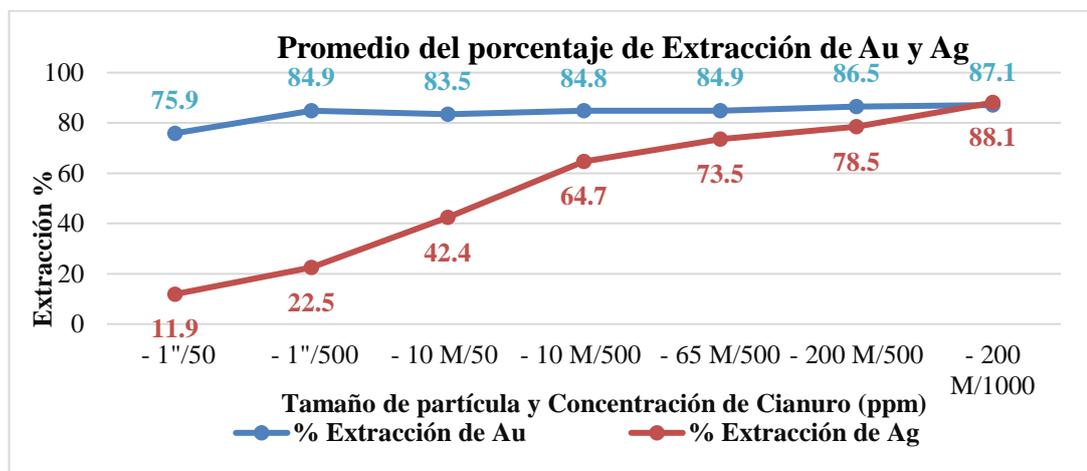
Tabla 4*Resultados de los ensayos de extracción de Oro y Plata*

Tamaño de partícula	CN (mg/L)	Ensayos generales de Au (g/t)		% Extracción de Au	Ensayos generales Ag (g/t.)		% Extracción de Ag
		Ley de cabeza calculada	Ley de relave		Cabeza calculada	Ley de relave	
< 1"	50	2.09	0.50	75.9	139.03	122.53	11.9
< 1"	500	2.09	0.31	84.9	139.03	107.74	22.5
10 M	50	2.16	0.36	83.5	133.8	77.05	42.4
10 M	500	2.14	0.33	84.8	139.43	49.25	64.7
65 M	500	2.27	0.34	84.9	132.96	35.17	73.5
200 M	500	2.26	0.30	86.5	132.56	28.53	78.5
200 M	1000	2.16	0.28	87.1	134.26	15.95	88.1

Fuente: Datos de laboratorio.

Figura 15

Gráfico promedio del porcentaje de Extracción de Au y Ag



Fuente: Elaboración propia.

La extracción de oro y plata para las muestras individuales en los diferentes tamaños de partículas y cianuro, las concentraciones que se probaron se presentan en los siguientes gráficos para los compuestos M-01 a M-06, respectivamente. Como se puede observar, el efecto del tamaño de partícula y la concentración de cianuro es mucho más pronunciado en la extracción de plata que en la extracción de oro.

3.3.1. Extracción de Oro y Plata Muestra N° 01

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la muestra M-01.

Tabla 5

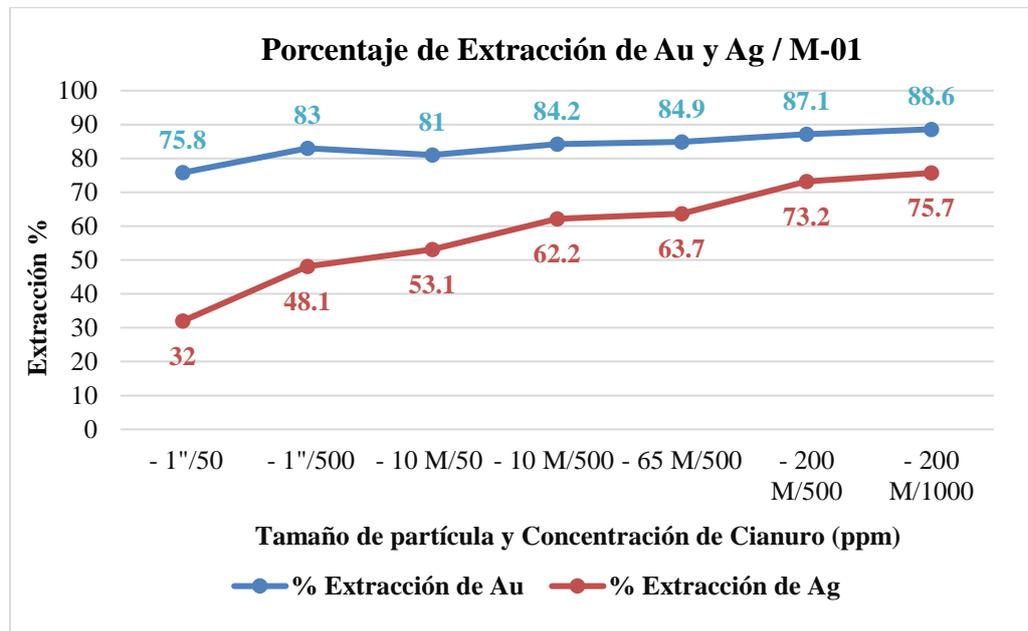
Resultados de la extracción de Oro y Plata en M-01

N° Muestra	Tamaño de Malla / CN (mg/L)	% Extracción de Au	% Extracción de Ag
M-01	- 1"/50	75.8	32
	- 1"/500	83	48.1
	- 10 M/50	81	53.1
	- 10 M/500	84.2	62.2
	- 65 M/500	84.9	63.7
	- 200 M/500	87.1	73.2
	- 200 M/1000	88.6	75.7

Fuente: Pruebas de laboratorio.

Figura 16

Gráfico comparativo del Porcentaje de Extracción de Au y Ag / M-01



Fuente: Elaboración propia.

En la muestra M-01 el porcentaje de extracción de Au y Ag es mayor, 88.6% y 75.7% respectivamente en la malla -200 con una concentración de cianuro de 1000 ppm.

3.3.2. Extracción de Oro y Plata Muestra N° 02

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la muestra M-02.

Tabla 6

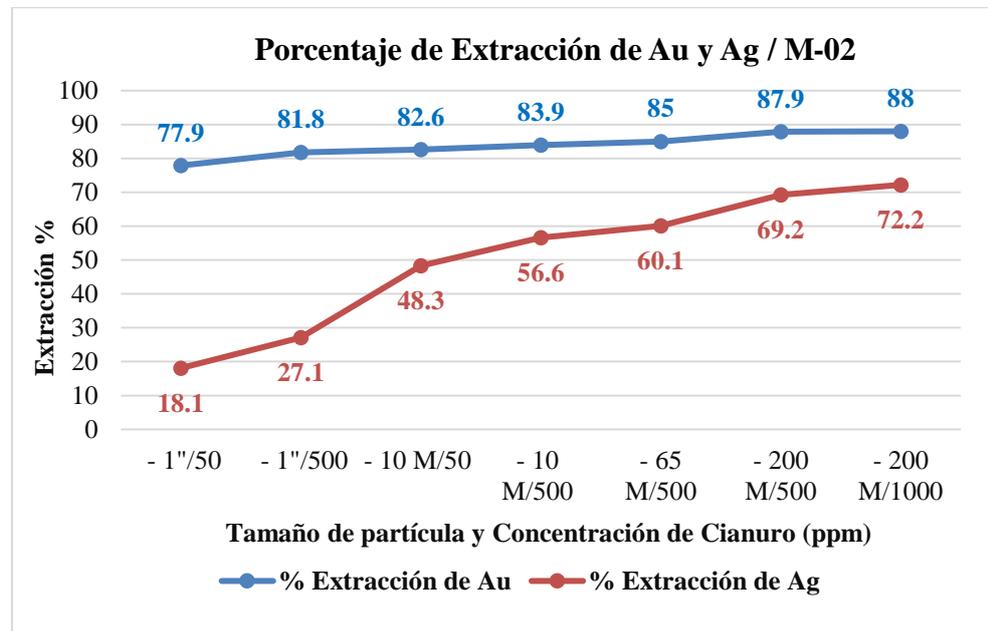
Resultados de la extracción de Oro y Plata en M-02

N° Muestra	Tamaño de Malla / CN (mg/L)	% Extracción de Au	% Extracción de Ag
M-02	- 1"/50	77.9	18.1
	- 1"/500	81.8	27.1
	- 10 M/50	82.6	48.3
	- 10 M/500	83.9	56.6
	- 65 M/500	85	60.1
	- 200 M/500	87.9	69.2
	- 200 M/1000	88	72.2

Fuente: Pruebas de laboratorio.

Figura 17

Gráfico comparativo del Porcentaje de Extracción de Au y Ag / M-02



Fuente: Elaboración propia.

En la muestra M-02 el porcentaje de extracción de Au y Ag es mayor, 88% y 72.2% respectivamente en la malla -200 con una concentración de cianuro de 1000 ppm.

3.3.3. Extracción de Oro y Plata Muestra N° 03

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la muestra M-03.

Tabla 7

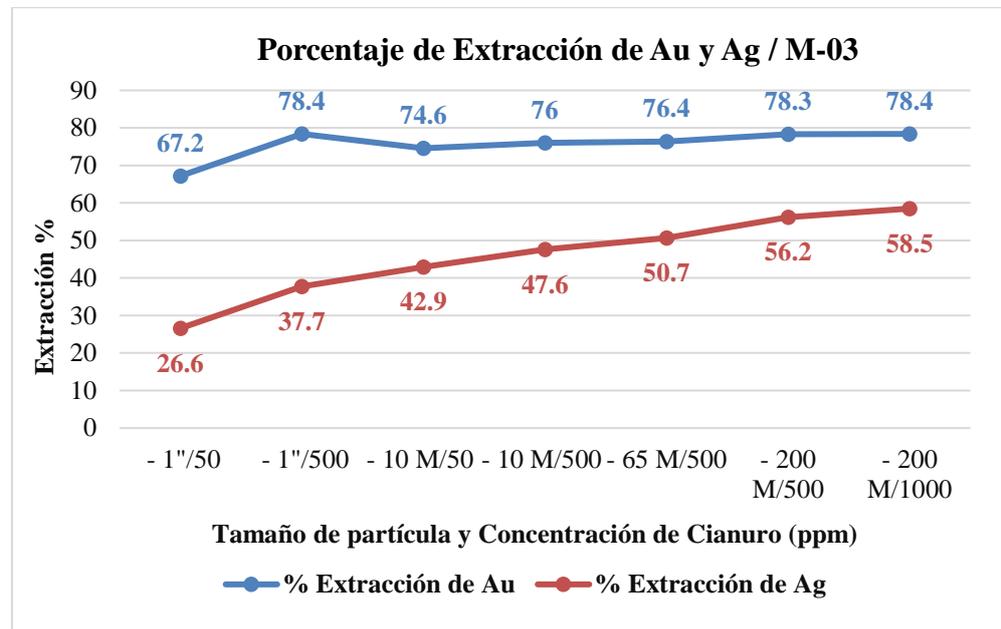
Resultados de la extracción de Oro y Plata en M-03

N° Muestra	Tamaño de Malla / CN (mg/L)	% Extracción de Au	% Extracción de Ag
M-03	- 1"/50	67.2	26.6
	- 1"/500	78.4	37.7
	- 10 M/50	74.6	42.9
	- 10 M/500	76	47.6
	- 65 M/500	76.4	50.7
	- 200 M/500	78.3	56.2
	- 200 M/1000	78.4	58.5

Fuente: Pruebas de laboratorio.

Figura 18

Gráfico comparativo del Porcentaje de Extracción de Au y Ag / M-03



Fuente: Elaboración propia.

En la muestra M-03 el porcentaje de extracción de Au y Ag es mayor, 78.4% y 58.5% respectivamente en la malla -200 con una concentración de cianuro de 1000 ppm.

3.3.4. Extracción de Oro y Plata Muestra N° 04

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la muestra M-04.

Tabla 8

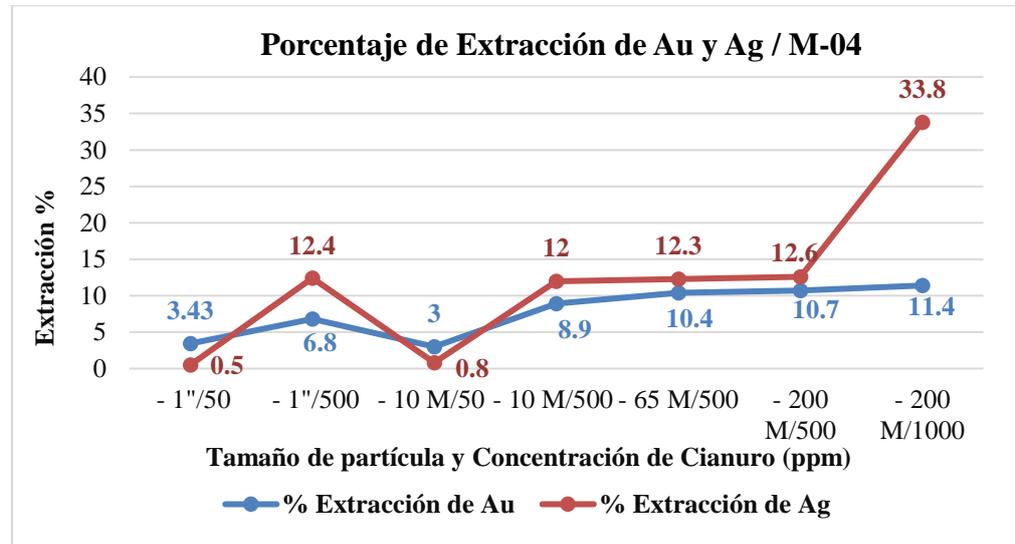
Resultados de la extracción de Oro y Plata en M-04

N° Muestra	Tamaño de Malla / CN (mg/L)	% Extracción de Au	% Extracción de Ag
M-04	- 1"/50	3.43	0.5
	- 1"/500	6.8	12.4
	- 10 M/50	3	0.8
	- 10 M/500	8.9	12
	- 65 M/500	10.4	12.3
	- 200 M/500	10.7	12.6
	- 200 M/1000	11.4	33.8

Fuente: Pruebas de laboratorio.

Figura 19

Gráfico comparativo del Porcentaje de Extracción de Au y Ag / M-04



Fuente: Elaboración propia.

En la muestra M-04 el porcentaje de extracción de Au y Ag es mayor, 33.8% y 11.4% respectivamente en la malla -200 con una concentración de cianuro de 1000 ppm.

3.3.5. Extracción de Oro y Plata Muestra N° 05

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la muestra M-05.

Tabla 9

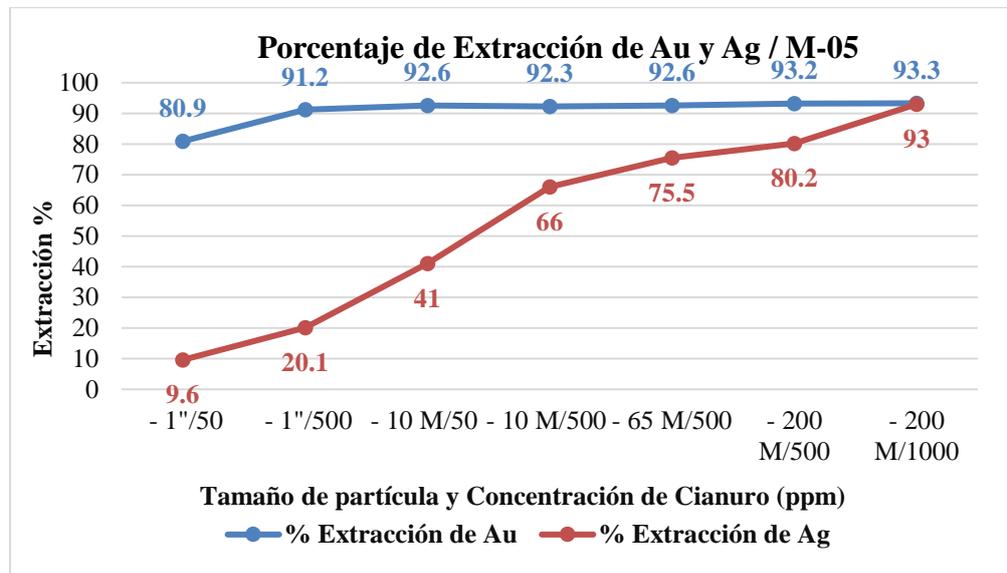
Resultados de la extracción de Oro y Plata en M-05

N° Muestra	Tamaño de Malla / CN (mg/L)	% Extracción de Au	% Extracción de Ag
M-05	- 1"/50	80.9	9.6
	- 1"/500	91.2	20.1
	- 10 M/50	92.6	41
	- 10 M/500	92.3	66
	- 65 M/500	92.6	75.5
	- 200 M/500	93.2	80.2
	- 200 M/1000	93.3	93

Fuente: Pruebas de laboratorio.

Figura 20

Gráfico comparativo del Porcentaje de Extracción de Au y Ag / M-05



Fuente: Elaboración propia.

En la muestra M-05 el porcentaje de extracción de Au y Ag es mayor, 93.3% y 93% respectivamente en la malla -200 con una concentración de cianuro de 1000 ppm.

3.3.6. Extracción de Oro y Plata Muestra N° 06

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la muestra M-06.

Tabla 10

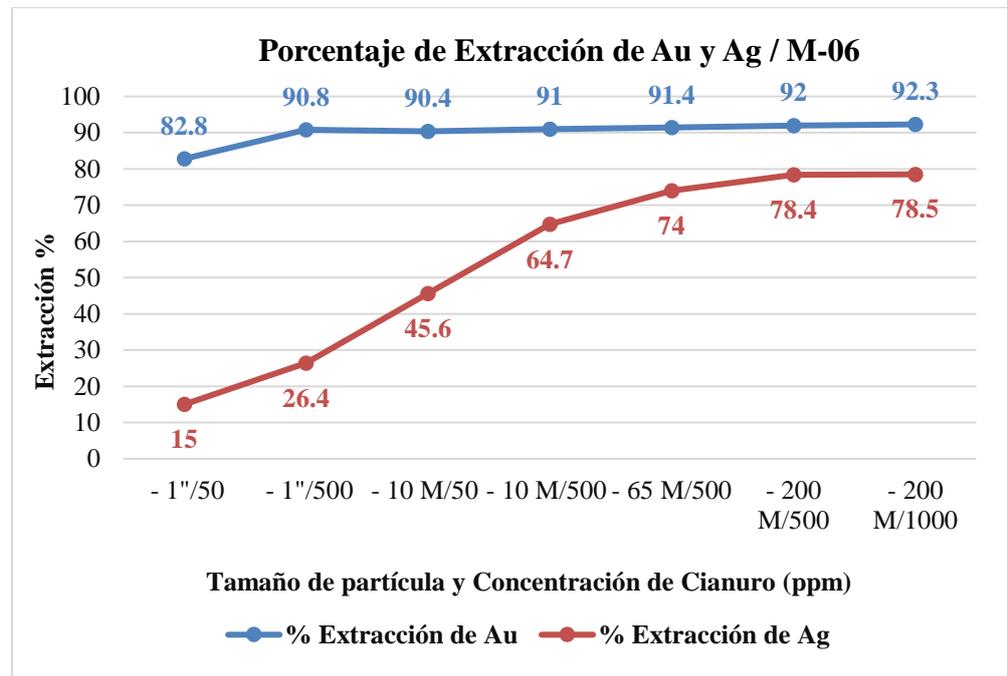
Resultados de la extracción de Oro y Plata en M-06

N° Muestra	Tamaño de Malla / CN (mg/L)	% Extracción de Au	% Extracción de Ag
M-06	- 1"/50	82.8	15
	- 1"/500	90.8	26.4
	- 10 M/50	90.4	45.6
	- 10 M/500	91	64.7
	- 65 M/500	91.4	74
	- 200 M/500	92	78.4
	- 200 M/1000	92.3	78.5

Fuente: Pruebas de laboratorio.

Figura 21

Gráfico comparativo del Porcentaje de Extracción de Au y Ag / M-06



Fuente: Elaboración propia.

En la muestra M-06 el porcentaje de extracción de Au y Ag es mayor, 92.3% y 78.5% respectivamente en la malla -200 con una concentración de cianuro de 1000 ppm.

La prueba de rodillo con botella de granulometría gruesa (menos 1 pulgada) indicó extracción de oro en el rango de 67.2 y 82.8 % con un promedio ponderado de 77.4 % (excluyendo la muestra refractario M-04). Estos resultados indican que es un candidato potencial para una operación de lixiviación en pilas. Sin embargo, la extracción total de plata fue de solo 20.4 % en ese tamaño de partícula.

La extracción de oro y plata a un P80 de malla 200 y una concentración de cianuro de 500 mg / l aumentó a 86.5 y 78.5 %, respectivamente. Con el mismo tamaño de partícula y aumentando la concentración de cianuro a 1,000 mg / l, la extracción de oro aumentó solo marginalmente y la extracción de plata aumentó a 88.1 %.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

La extracción de oro a menos 1 pulgada (excluyendo la muestra M-04) varió de 67.2 a 82.8 % con promedio ponderado (basado en la longitud del núcleo) de 77.4 % lo que hace de este mineral un candidato potencial para la recuperación por lixiviación, en las mismas condiciones, la extracción total de plata fue de solo 20.4 %. Estos resultados nos permiten apoyar lo señalado por Pérez (2016), en su trabajo de investigación “Instalación de una planta de cianuración para el tratamiento de minerales auríferos” Se realizaron con muestra preparada, corridos en botella sobre rodillos con la finalidad de determinar la docilidad del mineral a la lixiviación. Inicialmente este tipo de pruebas se realiza sobre una carga de 200 gramos de mineral aurífero que es convertido en pulpa con 600 ml. de agua, el mineral aurífero es reducido a una malla fina 100% malla -100, luego se agrega cal para ajustar el pH a 10.5 aproximadamente la cantidad agregada a la pulpa generalmente está en 1.5 a 2 Kg. /tonelada de mineral. A la botella que contiene el mineral se añade cianuro de sodio al 0.2%, se agitan continuamente durante 72 horas, luego se ensaya la solución para determinar la cantidad de oro y plata. Las pruebas de cianuración realizadas demuestran que es factible llegar a recuperaciones del 90% de Au y un consumo de cianuro de 3.30 Kg/TM, haciendo que sea factible la instalación de la planta para el tratamiento de estos minerales auríferos. En esta investigación se emplearon cantidades mayores de cal y cianuro en comparación con las utilizadas en nuestras pruebas por lo cual se obtuvo una recuperación aproximada del 80% de oro, si aumentamos la dosis de ambos compuestos podremos mejorar el porcentaje de recuperación. El menor consumo de cal en comparación con las pruebas está relacionado con un tamaño de menos 1 pulgada al menor tiempo de lixiviación (6

días). Tenga en cuenta que los largos tiempos de lixiviación fueron necesarios para lograr la máxima extracción de plata. La muestra M-04 tuvo mayores consumos de cal y cianuro.

Los resultados de las pruebas con malla 200 y una concentración de CN de 500 mg / l (sin M-04) indicaron un consumo de NaCN de 0.6 a 1,4 kg /t, mientras que el consumo de cal varió de 0,8 a 1,4 kg / t. La extracción de oro hasta un P80 de malla 200 y una concentración de cianuro de 500 mg / aumentó a 86.5 %. La extracción de plata, sin embargo, aumentó a 78.5 %. A una concentración de CN de 1,000 mg /, la extracción de oro solo aumenta marginalmente y la extracción de plata aumentó a 88,1 %. Por lo tanto, la extracción de plata era altamente dependiente del tamaño de partícula y la concentración de cianuro.

Reducir el tamaño de partícula a un P80 de malla 200 y una concentración de cianuro de 1,000 mg / l aumentó la extracción de oro en solo 2.2 % a 87.1 %. La extracción de plata, sin embargo, aumentó de 11.9 % a menos 1 pulgada y una concentración de cianuro de 50 mg / l a 88.1 % a un P80 de malla 200 y una concentración de cianuro de 1,000 mg /l. Estos resultados nos permiten rechazar lo señalado por Tribiños (2018), en su trabajo de investigación “evaluación preliminar de la extracción de Au a partir de pruebas metalúrgicas de un mineral con alteración sílice granular en UEA Valeria – Anabi SAC - Grupo Aruntani”, en metodología se realizaron 3 pruebas metalúrgica: Lixiviación Flash, Botella y Columna. Llegando a la conclusión de que la más alta extracción (96,53%) de oro se obtiene en la lixiviación flash, esto se debe a dos factores principales, la elevada concentración de cianuro (10000 ppm) y al tamaño reducido de las partículas (60% a – 74 μ m). Es decir, en las pruebas en

columna aumentando la concentración de cianuro se eleva considerablemente el porcentaje de recuperación de oro, mientras en las pruebas de rodillo con botella solo aumentó un 2.2 %, lo contrario se evidenció con la extracción de plata que aumentó un 58.1%.

4.2 Conclusiones

El presente estudio demuestra que es factible metalúrgicamente la recuperación de oro y plata por cianuración en minerales oxidados de matriz de sílice en Breapampa, lográndose una recuperación de oro a 85% y 32 % de plata, en pruebas de rodillo en botella con agitación a una granulometría de menor a 1 pulgada.

- La parte central de la colina Breapampa contiene alteraciones sílice vuggy y sílice granular. En los límites, están presentes sílice alunita, sílice con arcillas y arcillas. El área contiene anómalos elementos geoquímicos como Au, Ag, Cu, As, Sb y Hg en la secuencia piroclástica asociada a la silicificación y brechas de baritina.
- Se realizó las pruebas de rodillo con botella en seis muestras de Breapampa, uno de la muestra (M-04) eran de naturaleza refractaria debido a la posible encapsulación de los metales preciosos en pirita, las otros cinco muestras indicaron que el oro es susceptible de cianuración por lixiviación en pilas. La plata, sin embargo, necesita un tamaño de molido fino y una alta concentración de cianuro para una alta extracción.
- El aumento de la concentración de cianuro a 500 mg /l, aumentó la extracción promedio ponderada de oro a 85.3 %. Estos resultados hacen que este mineral sea un candidato potencial para la lixiviación en pilas. Bajo el mismo análisis, la extracción total de plata aumentó de 20.4 a 32.2 % al aumentar la concentración de cianuro de 50 a 500 mg / l.

- Los resultados de la muestra M-04 indicaron una extracción muy baja de oro y plata (menos del 4 %). La extracción de oro y plata a una concentración de CN de 500 mg / l fue de 6.8 y 12.4 %, respectivamente.
- La prueba de rodillo con botella, a una granulometría gruesa (menos 1 pulgada) indicó extracción de oro en el rango de 67.2 y 82.8 % con un promedio ponderado de 77.4 % (excluyendo la muestra refractario M-04), estos resultados indican que es un candidato potencial para una operación de lixiviación en pilas. Sin embargo, la extracción total de plata fue de solo 20.4 % en ese tamaño de partícula.
- La extracción de oro y plata a un P80 de malla 200 y una concentración de cianuro de 500 mg / l aumentó a 86.5 y 78.5 %, respectivamente. Con el mismo tamaño de partícula y aumentando la concentración de cianuro a 1,000 mg / l, la extracción de oro aumentó solo marginalmente y la extracción de plata aumentó a 88.1 %.
- Los resultados conducen a la posibilidad de proponer un estudio a nivel de planta semi - piloto, puesto que en la presente investigación las pruebas fueron realizadas con una mínima cantidad de mineral. Por otra parte, este proceso puede aplicarse al beneficio de los minerales auríferos por el proceso de cianuración con agitación y cianuración en pilas.

REFERENCIAS

- Andrews, J. (2012). *“Diseño de procesos para recuperar Oro y Plata desde el depósito de relaves de minera Meridian”* (tesis pregrado). Universidad Católica Valparaíso. Chile.
- Isidro, H. (2018). *“Pruebas de cianuración en botellas y columnas para minerales mixtos auríferos en la empresa minera J.J. Inversiones Minera SAC en Abancay”*. (tesis pregrado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú.
- Inacap (2006), *“Cianuración”*, recuperado de: <http://myslide.es/documents/lixiviacion-del-oro-559abba3d69a7.html>
- Michaud, D. (2015). *“Cianuración de minerales auríferos – oro”*, recuperado de: <https://www.911metallurgist.com/blog/cianuracion-deminales-auriferos-oro>
- Palella, S. & Martins, F. (2012). *Metodología de la investigación cuantitativa*, Florencia, Venezuela. Recuperado de <https://www.docsity.com/es/disenio-tipo-nivel-y-modalidad-de-palella-y-martins/2733947/>
- Pérez, J. (2016). *“Instalación de una planata de cianuración para el tratamiento de minerales auríferos”*. (tesis pregrado). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.

Rojas, N. (2003). *“Recuperación de oro y plata desde residuos ferríticos mediante cianuración”*. (tesis maestría). Universidad de Concepción. Chile.

Tamaños de mallas y tamices según ISO y ASTM. (2015), recuperado de:
https://www.tamices.es/wpcontent/uploads/2015/07/Tabla_comparativa_normas.pdf

TECSUP. (2020). *“El proceso de cianuración”*, recuperado de:
https://www.academia.edu/20410727/EL_PROCESO_DE_CIANURACION

Tribiños, E. (2018). *“Evaluación preliminar de la extracción de Au a partir de pruebas metalúrgicas de un mineral con alteración sílice granular en UEA Valeria – Anabi SAC - Grupo Aruntani”*, (tesis pregrado). Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.

Vargas, R. (2009). La Investigación aplicada: *una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. Vol. (33), p.161.

ANEXOS

ANEXO N° 01: Análisis multi-elementos por ICP

Número de muestra	Ag g/t.	Al g/t.	As g/t.	Ba g/t.	Be g/t.	Bi g/t.	Ca %	Cd g/t.	Co g/t.	Cr g/t.	Cu g/t.	Fe %	Ga g/t.	Hg g/t.	K %	La g/t.	Mg g/t.	Mn g/t.
M-01	6.6	0.77	738	97	-0.5	-5	0.01	-1	5	195	18.7	1.24	-10	13	0.3	3	- 0.01	18
M-02	29	0.51	2008	87	-0.5	-6	-0.01	-1	2	57	8.2	1.62	-10	10	0.4	2.2	- 0.01	8
M-03	36	1.1	4573	143	-0.5	-5	0.01	-1	3	144	6.1	2.11	18	31	0.5	2.8	- 0.01	19
M-04	9.4	0.47	>10000	140	-0.5	60	-0.01	2	12	119	206	3.18	-10	3	0.06	0.7	- 0.01	44
M-05	>100	0.47	3715	50	-0.5	12	-0.01	-1	3	99	43.2	2.27	25	45	0.13	1.7	- 0.01	12
M-06	>100	0.53	1324	34	-0.5	8	-0.01	-1	4	204	46.60	2.86	33	41	0.16	2.1	- 0.01	18

Fuente: Datos de laboratorio.

Número de muestra	Mo g/t.	Na %	Nb g/t.	Ni g/t.	P %	Pb mg/l	S %	Sb g/t.	Sc g/t.	Sn g/t.	Sr g/t.	Ti %	Tl g/t.	V g/t.	W g/t.	Y g/t.	Zn g/t.	Zr g/t.
M-01	4	0.03	6	8	-0.01	312	0.59	80	0.7	-10	24.5	-0.01	-2	12	-10	1.1	19.3	5.6
M-02	3	0.02	4	3	-0.01	349	0.68	82	0.5	-10	44.4	-0.01	-2	15	-10	0.5	11.2	4.3
M-03	3	0.04	6	6	0.02	1101	0.84	516	1.2	-10	90.3	-0.01	9	30	-10	1.2	12.1	5.5
M-04	5	0.02	3	15	-0.01	185	3.71	25	-0.5	23	26.2	-0.01	18	11	-10	-0.5	122	2.8
M-05	5	0.02	8	5	-0.01	431	0.32	134	0.9	-10	50.7	-0.01	4	29	-10	-0.5	16.2	4.5
M-06	4	0.02	7	10	-0.01	508	0.83	176	0.6	-10	41.1	-0.01	2	32	-10	0.6	15.8	6.6

Fuente: Datos de laboratorio.

ANEXO N° 02: Tabla de Mallas y Tamices según las normativas ISO – ASTM.

TABLA COMPARATIVA NORMAS TAMICES ISO / ASTM

ISO (mm)	ASTM (#)	ISO (mm)	ASTM (#)	ISO (mm)	ASTM (#)
125	5"	6,7	0,265"	0,355	N° 45
112	-	6,3	1/4"	0,315	-
106	4,24"	5,6	N° 3 1/2"	0,300	N° 50
100	4"	5	-	0,280	-
90	3 1/2"	4,75	N° 4	0,250	N° 60
80	-	4,5	-	0,224	-
75	3"	4	N° 5	0,212	N° 70
71	-	3,55	-	0,200	-
63	2 1/2"	3,35	N° 6	0,180	N° 80
56	-	3,15	-	0,160	-
53	2,12"	2,8	N° 7	0,150	N° 100
50	2"	2,5	-	0,140	-
45	1 3/4"	2,36	N° 8	0,125	N° 125
40	-	2,24	-	0,112	-
37,5	1 1/2"	2	N° 10	0,106	N° 140
35,5	-	1,80	-	0,100	-
31,5	1 1/4"	1,70	N° 12	0,090	N° 170
28	-	1,60	-	0,080	-
26,5	1,06"	1,40	N° 14	0,075	N° 200
25	1"	1,25	-	0,071	-
22,4	7/8"	1,18	N° 16	0,063	N° 230
20	-	1,12	-	0,056	-
19	3/4"	1	N° 18	0,053	N° 270
18	-	0,900	-	0,050	-
16	5/8"	0,850	N° 20	0,045	N° 325
14	-	0,800	-	0,040	-
13,2	0,530	0,710	N° 25	0,038	N° 400
12,5	1/2"	0,630	-	0,036	-
11,2	7/16"	0,600	N° 30	0,032	N° 450
10	-	0,560	-	0,025	N° 500
9,5	3/8"	0,500	N° 35	0,020	N° 635
9	-	0,450	-		
8	5/16"	0,425	N° 40		
7,1	-	0,400	-		

Tamices de chapa
 Tamices de malla

Fuente: Normativa ISO 2015.

ANEXO N° 03: Fotografías del trabajo en Laboratorio

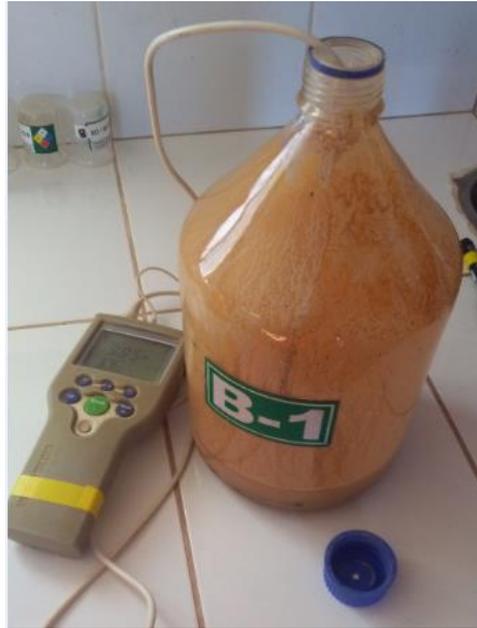


Foto N° 02: Medición del pH natural de la muestra

Fuente: Elaboración propia.



Foto N° 02: Mecanismos de agitación – prueba de rodillos con botellas

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N° 04: Fotografías de trabajo de campo.



Foto 1 y 2: Área de muestreo en campo.

Fuente: Elaboración propia.

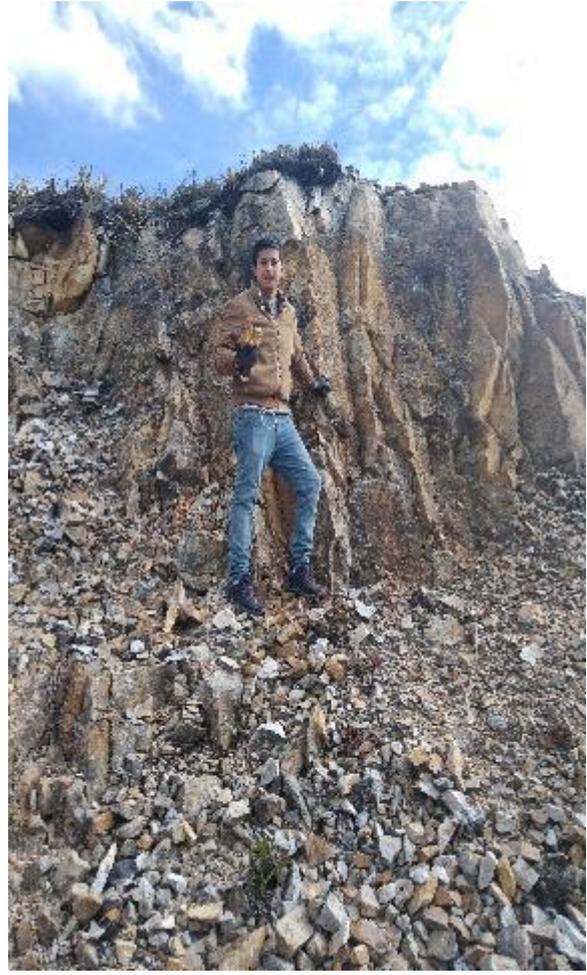


Foto 3 y 4: Recolección de muestras en campo.

Fuente: Elaboración propia.



Foto 5 y 6: Zona de recolección de muestras, (5 taladros de perforación).