



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

DEPARTAMENTO DE POSGRADOS

**“Análisis y optimización del proceso de cianuración en la planta de
beneficio Ureñagold, ubicada en el área minera de Chinapintza, provincia de
Zamora Chinchipe”**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de:

Magíster en Minas con mención en Planeamiento Minero

Autor:

NELLY DEL CISNE VILLA RUIZ

Director:

EDUARDO ANDRÉS LUNA MÉNDEZ, Mgtr

CUENCA, ECUADOR

2025

Nelly del Cisne Villa Ruiz

Trabajo de Titulación

Ing. Eduardo Andrés Luna Méndez

Abril, 2025

**“Análisis y optimización del proceso de cianuración en la planta de beneficio
Ureñagold, ubicada en el área minera de Chinapintza, provincia de Zamora Chinchipe”**

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mis padres Gustavo y Nelly, pilares fundamentales de mi vida, quienes con su amor y apoyo incondicional han contribuido significativamente a mi formación académica y personal.

A mi tierna hija Francesca, fuente de motivación para mi crecimiento profesional.

A mi compañero de vida Fausto, quien ha sido mi apoyo y compañía en este camino hacia el éxito.

Nelly del Cisne Villa Ruiz

AGRADECIMIENTO

A Dios, pilar fundamental de mi vida, por haberme dado la sabiduría y motivación para la culminación de este proyecto.

A los docentes de la Maestría en Minas, quienes con su dedicación y experticia han compartido sus conocimientos y experiencias, enriqueciendo mi formación académica. En especial a mi director de tesis Ing. Eduardo Luna, por su constante apoyo, orientación y constancia, que han sido fundamental para el éxito de este trabajo. Su guía y experiencia han sido invaluable.

Gracias a todos por su contribución a mi crecimiento académico y personal.

Nelly del Cisne Villa Ruiz

RESUMEN:

En el presente trabajo se obtuvieron resultados experimentales basados en la variación de la concentración de cianuro de sodio al 0.3, 0.6 y 0.9 g/l, con tiempos de cianuración que fueron desde los 180, 360, 540 y 720 minutos, así como la fracción de sólidos al 15% y 30%. Mediante estos análisis, se determinó que a mayor tiempo y a una concentración de 0.6 g/l se producen las mejores recuperaciones.

Además, se evaluó la viabilidad de implementar un proceso de flotación en la planta de beneficio, para ello, se trabajó con los xantatos Z6 y Z11 con fracciones de sólidos al 15% y al 30%, determinando que al 15% de sólidos se obtiene una recuperación del 93.13%, utilizando el colector Z-11.

Con la información obtenida de la flotación y cianuración, se puede concluir que es factible aplicar el proceso de flotación para aumentar la recuperación.

Palabras clave: Cianuración, fracción de sólidos, flotación, recuperación, enriquecimiento.



Ing. Eduardo Luna Méndez

Director del trabajo de titulación

ABSTRACT:

In the present work, experimental results were obtained based on the variation of sodium cyanide concentration at 0.3, 0.6, and 0.9 g/l, with cyanidation times of 180, 360, 540, and 720 minutes, as well as solid fractions of 15% and 30%. Through these analyses, it was determined that the best recoveries are achieved with longer times and a concentration of 0.6 g/l.

In addition, the feasibility of implementing a flotation process in the beneficiation plant was evaluated. For this purpose, xanthates Z6 and Z11 were used with solid fractions of 15% and 30%, determining that at 15% solids, a recovery of 93.13% is achieved using the Z-11 collector.

Based on the information obtained from flotation and cyanidation, it can be concluded that applying the flotation process is feasible to increase recovery.

Keywords: Cyanidation, solids fraction, flotation, recovery, enrichment



Ing. Eduardo Luna Mendez

Thesis Director

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN:	v
ABSTRACT:.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
Introducción	1
CAPÍTULO 1.....	2
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación.	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.4.3. Planteamiento de la hipótesis.	4
CAPÍTULO 2.....	5
2. Fundamentos Teóricos	5
2.1. Principios fundamentales de la lixiviación	5
2.1.1. Tipos de lixiviación.	5
2.1.2. Aplicaciones de la lixiviación.	5
2.2. Cianuración.	6

2.2.1.	<i>Fundamento químico</i>	6
2.2.2.	<i>Reacciones</i>	7
2.2.3.	<i>Factores que afectan la cianuración.</i>	7
2.2.4.	<i>Proceso de cianuración.</i>	8
2.2.5.	<i>Tipos de celdas de cianuración</i>	10
2.2.6.	<i>Concentraciones óptimas de cianuro.</i>	11
2.2.7.	<i>Efecto de la alcalinidad.</i>	11
2.2.8.	<i>Factores medio ambientales.</i>	11
2.3.	Flotación.	12
2.3.1.	<i>Fundamentos de la flotación.</i>	12
2.3.2.	<i>Factores que intervienen en la flotación.</i>	12
2.3.2.1.	Granulometría.	12
2.3.2.2.	Porcentaje de sólidos.	12
2.3.3.	<i>Tipos de flotación</i>	13
2.3.3.1.	Flotación por celda tipo Denver.	13
2.3.4.	Flotación en columna.	14
CAPÍTULO 3		15
3.	Metodología y análisis de laboratorio.	15
3.1.	Recopilación bibliográfica.	15
3.2.	Recopilación de información de la zona de estudio.	15
3.2.1.	<i>Generalidades del Distrito Minero Chinapintza.</i>	15
3.2.2.	<i>Acceso a Chinapintza.</i>	15
3.3.	Caracterización de las muestras.	16
3.4.	Metodología aplicada.	16
3.5.	Preparación de las muestras.	17

3.6. Fase experimental.	18
3.6.1. Densidad de la pulpa, masa de sólidos y masa de agua.....	19
3.6.2. Parámetros para la cianuración.....	21
3.6.3. Ejecución de pruebas cianuración.	23
3.6.3.1. Cianuración	23
3.6.3.2. Análisis de la ley de cabeza.	24
3.6.3.3. Análisis del 15% de sólidos.	25
3.6.3.4. Análisis del 30% de sólidos.	25
3.6.4. Prueba de flotación.	26
3.6.4.1. Densidad de la pulpa, masa de pulpa y masa de agua.....	26
3.6.4.2. Dosificación de reactivos	27
3.6.4.3. Parámetros para la flotación.....	27
3.6.4.4. Ejecución de pruebas.....	28
CAPÍTULO 4.....	30
4. Análisis de resultados.	30
4.1. Resultado de los ensayos de cianuración	30
4.2. Resultados de los ensayos de flotación.	33
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
Conclusiones:	40
Recomendaciones:.....	42
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Acceso al Distrito Minero.....	16
Figura 2. Ejecución de pruebas de cianuración.....	24
Figura 3. Ensayos con una fracción de sólidos del 15%.....	31
Figura 4. Ensayos con una fracción de sólidos del 30%.....	32
Figura 5. Fracción de sólidos vs recuperación.....	35
Figura 6. Recuperación de Au con el colector Z-6.....	36
Figura 7. Recuperación de Au con el colector Z-11.....	37
Figura 8. Mejores resultados de cada colector.....	37
Figura 9. Recuperación vs Enriquecimiento.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de pruebas a una fracción de sólidos del 15%	18
Tabla 2. Número de pruebas a una fracción de sólidos del 30%	19
Tabla 3. Parámetros de las pruebas de cianuración.....	22
Tabla 4. Parámetros para la flotación.....	29
Tabla 5. Leyes de concentración de los ensayos.....	30
Tabla 6. Leyes de concentración de los ensayos.....	32
Tabla 7. Resultados de flotación al 15% y 30% con Z-6 y Z-11	34
Tabla 8. Resultados con el colector Z6	35
Tabla 9. Resultados con el colector Z-11.....	36
Tabla 10. Resultados de recuperación y enriquecimiento.....	38

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Material obtenido de la planta de beneficio Urenagold.....	45
Anexo 2. Resultados del análisis de la densidad y ley del material.....	46
Anexo 3. Resultados de las pruebas de flotación.....	47
Anexo 4. Muestras de las pruebas de flotación.....	48
Anexo 5. Material al 15% para la prueba de cianuración.	48
Anexo 6. Material al 30% para la prueba de cianuración.	49
Anexo 7. Pruebas de cianuración.....	49
Anexo 8. Resultado de los análisis de cianuración 1/3.....	50
Anexo 9. Resultado de los análisis de cianuración 2/3.....	51
Anexo 10. Resultados de los análisis de cianuración 3/3.....	52

INTRODUCCIÓN

La extracción de oro es una actividad clave en la minería, impulsada por la demanda constante de este metal en diversas industrias. Entre los métodos más comunes utilizados para su recuperación se encuentran la cianuración y la flotación. La cianuración se utiliza para disolver el oro presente en los minerales, y es valorada por su efectividad, especialmente en minerales de baja ley. Sin embargo, el uso de cianuro plantea serios retos en términos de sostenibilidad y seguridad ambiental.

Por otro lado, la flotación es un proceso que se basa en la separación de partículas mediante burbujas en una suspensión, permitiendo la concentración de oro y otros minerales. La eficacia de este método depende de varios factores, incluyendo el tipo de reactivos, el pH de la mezcla, la temperatura y las características del mineral.

El objetivo de esta tesis fue investigar los parámetros más adecuados para optimizar la recuperación del oro mediante cianuración y flotación. A través de un enfoque experimental y el análisis de datos, se buscó establecer las condiciones que permitan maximizar la eficiencia de extracción, al mismo tiempo que se consideraron prácticas que minimicen el impacto ambiental. Esta investigación fue idónea para el conocimiento técnico en el campo.

CAPÍTULO 1

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Desde siempre la recuperación mineral se ha presentado como un tema de interés en la industria minera, debido a que la eficiencia del mismo tiene un impacto significativo en la rentabilidad de las empresas. Es así que la Compañía Minera Ureñagold Cía. Ltda. ha estado en la búsqueda de procesos para mejorar la recuperación mineral.

La cianuración es uno de los procesos más utilizados en la industria de la minería para la recuperación mineral; sin embargo, su eficiencia se puede ver afectada por varios factores.

Dentro de Ureñagold, se ha planteado la idea de implementar el proceso de flotación previo a la cianuración, mas no se ha llevado a cabo debido a la falta de estudios y costos asociados en este proceso.

Trabajos de investigación como el de (Velín, 2014), demuestran que la implementación del proceso de flotación mejora significativamente la recuperación del mineral, tomando en cuenta que cada operación minera tiene características que requieren análisis específicos para así poder determinar la viabilidad de la implementación de procesos.

Es por esto que se realizó un estudio para así poder evaluar la viabilidad técnica de implementar el proceso de flotación.

1.2. Planteamiento del problema

En el desarrollo del proceso de recuperación mineral es importante un correcto pretratamiento del mineral; alcanzar un tamaño de partícula que permita la liberación de la

especie de interés en partículas individuales para ser recuperadas posteriormente en procesos de cianuración y flotación.

Para que estos procesos se desarrollen de manera eficiente es necesario aplicar las correctas variables en cada una de ellas, en el caso de la cianuración un factor fundamental es la concentración de cianuro, oxígeno disuelto, el pH, la temperatura y agitación; los que inciden en las velocidades de disolución del mineral, para esto se realizó los ensayos correspondientes y de esa manera realizó un análisis comparativo de los valores planteados en la empresa con los propuestos.

En la Compañía Minera Ureñagold Cía. Ltda. luego de la molienda se aplica el proceso de cianuración para la recuperación del mineral de interés. Sin embargo, luego de la molienda se podría considerar la implementación del proceso de flotación y así verificar si aumenta la eficiencia del proceso, pero no se la ha llevado a cabo por falta de estudios y sobre todo los costos que implicaría el proceso.

1.3. Justificación

Un eficiente método de recuperación es crucial en la rentabilidad y sostenibilidad de la empresa, con este contexto, el pretratamiento mineral y la aplicación de variables óptimas en procesos de recuperación como la cianuración y flotación son claves para alcanzar altos niveles de recuperación.

En Ureñagold, la implementación del proceso de flotación podría mejorar significativamente la eficiencia de la recuperación. Es por esto que esta investigación tiene como enfoque, evaluar la implementación del proceso de flotación, a través de ensayos, buscando determinar si la flotación aumenta la eficiencia del proceso.

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Obtener una correlación entre el proceso de cianuración y flotación a través de los ensayos de laboratorio y así determinar parámetros y procesos eficientes para la recuperación mineral en la planta de beneficio.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las muestras obtenidas de la planta de beneficio, para analizar los elementos presentes en la misma.
- Determinar el efecto de la lixiviación a diferentes concentraciones, tiempo y fracción de sólidos en la lixiviación con cianuro.
- Analizar la flotación en celda convencional variando la fracción de sólidos y colectores.
- Determinar la propuesta óptima que se podría implementar a la planta.

1.4.3. Planteamiento de la hipótesis

¿Es posible mejorar la recuperación mineral en la planta de beneficio Ureñagold mediante la implementación del proceso de flotación?

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

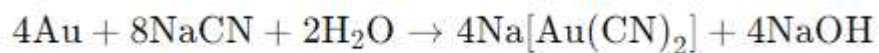
2.1.Principios fundamentales de la lixiviación

La lixiviación es un proceso utilizado para la extracción de metales. En este proceso se extrae uno o varios solutos de un sólido, utilizando un agente lixivante líquido. (EcuRed, 2019).

La lixiviación disuelve selectivamente los componentes de un mineral mediante agentes químicos conocidos también como reactivos lixiviantes.

2.1.1. Tipos de lixiviación

1. **Lixiviación ácida:** Este tipo de lixiviación utiliza soluciones por lo general de ácido sulfúrico para disolver metales de sulfuros y óxidos. Este método es comúnmente utilizado en la extracción del cobre y níquel.
2. **Lixiviación alcalina:** En este proceso se utiliza soluciones alcalinas como el hidróxido de sodio (NaOH) para la disolución de los metales.
3. **Lixiviación con cianuro:** En este proceso se utiliza cianuro de sodio (NaCN) o cianuro de potasio (KCN) para formar complejos solubles con los metales. La reacción general para la lixiviación de oro es:



2.1.2. Aplicaciones de la lixiviación

- Minería

Extracción de minerales: En minería se utiliza la lixiviación para la recuperación de los metales de interés mediante soluciones ácidas o básicas para disolver el metal del mineral.

- Tratamiento de residuos

Este tipo de lixiviación es usada para tratar residuos peligrosos.

- Tratamiento de aguas contaminadas.

Remediación de suelos y agua: Se puede aplicar este proceso para eliminar los contaminantes del suelo o para filtrar y purificar aguas.

2.2.Cianuración

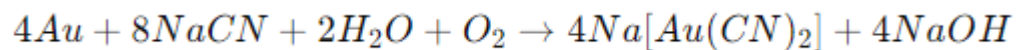
Para recuperar los metales se utiliza al cianuro como agente lixivante, técnica que fue propuesta por J.S MacArthur. El cianuro ha sido utilizado durante más de un siglo por su gran eficiencia y bajo costo en la extracción de metales. (Guizado, Briceñon, & Huanca, 2024)

La cianuración es un proceso químico que implica principalmente la extracción de oro y plata de algunos minerales que contienen estos metales en forma de sulfuro o minerales oxidados.

2.2.1. Fundamento químico

La cianuración se basa en la capacidad que tiene para formar complejos solubles con ciertos metales.

Reacción química para el oro:

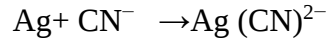
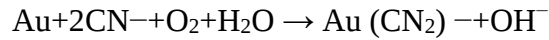


En esta reacción el oro reacciona con el cianuro de sodio (NaCN) en presencia de oxígeno y agua para de esta manera formar un complejo soluble conocido como dicianuro de oro, el mismo que se disuelve en la solución para que así el oro sea separado del mineral.

En el proceso de cianuración para la extracción de dichos metales ocurren las siguientes reacciones:

2.2.2. Reacciones

1. Reacciones de disolución



En ambas reacciones el cianuro forma complejos estables con el ión $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ en el caso del oro y $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$ para la plata, dando paso a que se disuelvan en la solución acuosa.

2. Reacciones de oxidación del cianuro

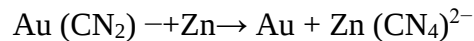
El cianuro de sodio o potasio es utilizado como agente de lixiviación, para que el proceso de disolución de los metales, siendo fundamental para la oxidación del cianuro.



En esta reacción el oxígeno es consumido por lo que se forma el ácido cianhídrico

3. Reacciones de precipitación de los metales

Una vez disueltos los metales en la solución cianurada, estos pueden ser recuperados mediante adsorción en carbón activado o precipitación con zinc, dando lugar a reacciones.



En esta reacción el oro disuelto es precipitado por el Zinc que es oxidado a $\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$, esta reacción es la base fundamental para el tener un proceso de cianuración eficiente de los minerales que contienen dichos metales en concentraciones bajas.

2.2.3. Factores que afectan la cianuración

- **pH de la solución:** Un pH bajo puede inhibir la disolución de los metales, mientras que un pH alto da paso a la formación del anión cianato. El pH óptimo va de un rango de 9 a 11.

- **Tamaño de partícula del mineral:** A mayores partículas finas, mayor área superficial en contacto con el cianuro y el oxígeno por lo que aumenta la velocidad de lixiviación.
- **Concentración del cianuro:** Este parámetro es crucial en la disolución de metales, esta concentración debe ser suficiente para disolver eficazmente los metales, pero no demasiado alta para así evitar reacciones secundarias y aumentar el riesgo ambiental.
- **Oxígeno disponible:** La disolución de los metales es una reacción de oxidación, por lo que la disponibilidad del oxígeno es esencial para la eficiencia del proceso.
- **Temperatura:** Este parámetro influye en la velocidad de las reacciones; a mayor temperatura, mayor velocidad de disolución.
- **Tiempo de contacto:** El tiempo en que el mineral permanece en contacto con la solución, afecta la cantidad de metal disuelto. Un tiempo adecuado es necesario para una extracción eficaz.

2.2.4. Proceso de cianuración

La cianuración es un proceso utilizado para la extracción de minerales como el oro y la plata, es uno de los métodos más utilizados en minería para la recuperación de metales. Para el desarrollo de este proceso se realiza una serie de procesos detallados a continuación:

1. Preparación del mineral

El mineral es triturado hasta obtener la granulometría adecuada, esto con la finalidad de aumentar el área superficial del mineral, para que así haya mayor contacto con el cianuro y facilite la disolución del metal.

2. Concentración

El mineral previamente triturado, es sometido a un proceso de concentración para separar el mineral de la ganga. Esto puede ser mediante diversos procesos como:

- **Concentración gravimétrica:** Este proceso se basa en la precipitación y por ende separación de un compuesto, para así determinar la cantidad de un mineral específico en una muestra mineralizada.
- **Flotación:** En este proceso el material triturado es mezclado con agua y reactivos como colectores y espumantes, esto con la finalidad de convertirlas en hidrofóbicas y se adhieran a la superficie de los minerales a recuperar para posteriormente suban a la superficie en una espuma flotante, mientras que el material que no es de interés quede sumergido.

3. Lixiviación

El mineral previamente tratado es mezclado en un tanque con una solución de cianuro a una concentración determinada. Esta mezcla forma complejos que disuelven el mineral de interés.

4. Separación

La mezcla de los tanques es agitada con la finalidad que haya contacto uniforme con el mineral y así posteriormente separar el sólido del líquido, el mismo que contiene el mineral de interés.

5. Recuperación

Una vez el mineral de interés esté disuelto en la solución, se procede a recuperarlos mediante un lecho de carbón activado el cual absorbe el oro o mediante precipitación con polvo de zinc para poder precipitar el oro.

2.2.5. Tipos de celdas de cianuración

Las celdas de cianuración son ocupadas en el proceso de lixiviación para la recuperación de metales de interés. Existen varios tipos detallados a continuación.

Celdas de cianuración por agitación

- **Celdas de agitación:** Mantiene la pulpa en suspensión mediante un agitador mecánico, este proceso es continuo, por lo que mejora la eficiencia de recuperación.

Celdas de cianuración por percolación

- **Celdas de percolación en montones:** El mineral previamente triturado es apilado en montones para luego ser rociado por una solución de cianuro.
- **Celdas de percolación en pilas:** En este tipo de lixiviación se utiliza una superficie plana o inclinada para que tener un mejor drenaje de la solución.

Celdas de cianuración por lixiviación en tanques

- **Celdas de lixiviación en tanques cilíndricos:** En este tipo de celdas se utiliza tanques con agitación para tener una eficiente mezcla del cianuro con el mineral.
- **Celdas de lixiviación en tanques de alta eficiencia:** Este tipo de celdas es diseñado con la finalidad de mejorar la transferencia de masa.

Celdas de cianuración por lixiviación en cascadas

- **Celdas de lixiviación en cascadas:** En este tipo de lixiviación, la pulpa circula por una serie de celdas colocados en cascadas. Cada celda está provista de solución cianurada, la misma que se va empobreciendo a medida fluye por el sistema.

2.2.6. Concentraciones óptimas de cianuro

Para J.S Maclaurion (como se citó en (Lalvay, 2023)) habla que la velocidad de disolución de oro en soluciones de cianuro logrará su objetivo utilizando una concentración de 0.25% de NaCN.

En su trabajo de investigación Lalvay determina los mejores resultados a una concentración del 0.05% de NaCN (Lalvay, 2023)

2.2.7. Efecto de la alcalinidad

La adición de hidróxido de calcio en la cianuración tiene las siguientes funciones:

- Previene la pérdida de cianuro causada por hidrólisis
 - Neutraliza los componentes ácidos antes de añadir cianuro a la solución
 - Impide pérdida de cianuro por provocada por el dióxido de carbono presente en el aire.
 - Optimiza la sedimentación de partículas finas de mineral, facilitando así la separación de la solución impregnada del mineral cianurado.
- (Lalvay, 2023)

2.2.8. Factores medio ambientales

La cianuración plantea grandes riesgos ambientales de gran preocupación, ya que es una sustancia altamente tóxica. Entre ellas se tiene:

Agua: El cianuro puede filtrarse en fuentes de agua, afectando así la vida acuática y humana.

Suelo: Los residuos pueden filtrarse al suelo, afectando así la calidad y contaminar también acuíferos subterráneos.

Biodiversidad: Los ecosistemas pueden verse afectados por la liberación del cianuro, reduciendo la biodiversidad y así afectar la cadena alimenticia.

2.3. Flotación

2.3.1. Fundamentos de la flotación

El método de separación por flotación se basa en fenómenos que, en conjunto, activan sustancias surfactantes sobre el material mineral, induciendo hidrofobicidad en su superficie. Esta interacción provoca la separación entre el mineral hidrófobo y la ganga hidrófila. Al introducir un flujo de gas, generalmente aire, se logra dispersar el mineral y la ganga, recolectando las partículas hidrófobas (mineral) en burbujas que ascienden y son llevadas hasta el punto de vertido. (Monteros & Ramón, 2022)

2.3.2. Factores que intervienen en la flotación

En este proceso, son varios los factores que intervienen en la eficacia del proceso. Entre ellas tenemos:

2.3.2.1. Granulometría

El material a procesar debe tener una granulometría no mayor a la malla 48 ni menos a la 270, ya que cuando la granulometría es demasiado gruesa estas se depositan al fondo del recipiente interfiriendo en el proceso, mientras que cuando se tiene una granulometría muy fina, la selectividad del mineral decrece ya que también se está flotando minerales de ganga y la falta de tamaño adecuado impide una buena adhesión entre las partículas y burbujas, afectando la energía cinética la cual es necesaria en el proceso.

2.3.2.2. Porcentaje de sólidos

Este parámetro es crucial ya que un contenido adecuado del mismo optimiza la interacción entre partículas y burbujas, mejorando así la recuperación del mineral deseado. Si

el porcentaje es demasiado bajo puede haber poca concentración de mineral y si es demasiado alto el porcentaje de sólidos dificulta la movilidad y separación, lo que puede llevar a un rendimiento deficiente y problemas operativos.

La concentración de sólidos es la razón entre el flujo másico del mineral y el flujo másico de la pulpa, lo que permite cuantificar porcentualmente la cantidad de mineral presente en una pulpa para establecer la masa.

$$PS = \frac{\text{Flujo másico del mineral}}{\text{Flujo másico de pulpa}} \times 100$$

2.3.3. Tipos de flotación

2.3.3.1. Flotación por celda tipo Denver

La flotación por celda convencional tiene la función de hacer que las partículas que se han convertido en hidrofóbicas entren en contacto y se adhieran a las burbujas de aire, de esta forma permiten que ciertas partículas se eleven a la superficie y formen una espuma, la cual es removida posteriormente.

En el lapso del tiempo han existido diferentes celdas de flotación, ya sea de sección rectangular o cilíndrica, con la finalidad de que mediante esta herramienta se pueda obtener un flujo de pulpa homogéneo.

Existen dos tipos de flotación:

- **Flotación Mecánica:** el aire se introduce mediante aspiración, debido a la acción propia que tiene el agitador, el cual tiene forma de hélice, produciendo una flotación con una espuma poco estable.
- **Flotación Neumática:** la aireación se realiza mediante aire comprimido, a través de un inyector o soplador. El aire introducido en la celda de flotación cumple con la función de agitar, producir espuma

y airear la pulpa, por lo que la cantidad de aire en exceso crea una desventaja en relación con otras máquinas de flotación.

2.3.4. Flotación en columna

Este tipo de flotación es utilizado generalmente para minerales complejos que presentan problemas de selectividad, ya que permite elevar el grado del concentrado obteniendo de esta manera un mayor grado de enriquecimiento.

Este tipo de flotación a diferencia de la celda de flotación convencional, funciona sin la necesidad del uso de un agitador. (Monteros & Ramón, 2022)

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE LABORATORIO

En este capítulo se detallará todo el proceso para alcanzar los objetivos propuestos, iniciando con la caracterización, material utilizado en este ensayo y finalmente la fase experimental del mismo.

3.1. Recopilación bibliográfica

Este proceso experimental inició con información de artículos, tesis, proyectos, libros y buscadores académicos relacionados con el tema de la lixiviación del oro con cianuro y de procesos de flotación, con el objetivo de tener el conocimiento necesario para así desarrollar el ensayo de manera eficiente dando cumplimiento a los objetivos planteados.

3.2. Recopilación de información de la zona de estudio

3.2.1. Generalidades del Distrito Minero Chinapintza

El distrito minero Chinapintza se encuentra en la región sub oriental en la provincia de Zamora Chinchipe, situado en la región amazónica. Ubicada específicamente en la Cordillera del Cóndor, zona rica en minerales, por lo mismo Chinapintza es conocida por su potencial minero.

3.2.2. Acceso a Chinapintza

Para llegar a Chinapintza desde Cuenca, se toma la carretera E40 hacia el sur, llegando así a Loja con un recorrido aproximado de 150 km, desde Loja se toma la carretera E35 hacia el este con un recorrido aproximado de 120 km hasta Zamora, desde allí se toma la carretera hacia el sur, pasando por Yacuambi y otros caminos rurales hasta el distrito minero Chinapintza.

Figura 1. Acceso al Distrito Minero



Fuente: Elaboración propia

3.3.Caracterización de las muestras

Para el desarrollo del ensayo se utilizaron muestras recolectadas en la planta de beneficio “UreñaGold”

El ensayo inicia con el muestreo del material, realizando una recolección in situ, este fue dispuesto en una lona para su secado, trituración y homogenización. Posteriormente el material fue llevado al molino de bolas para tamizar el material y así obtener una muestra con contenido más fino, este proceso reduce el tamaño promedio de las partículas de una muestra para permitir una mejor liberación de minerales de interés en partículas individuales y permita analizar el mineral presente.

3.4.Metodología aplicada

En la metodología que se aplicó en la prueba de cianuración se consideró: la concentración de cianuro, fracción de sólidos y tiempo de agitación. Para el cianuro se consideró un pH de 10.5, teniendo un total de 24 pruebas.

Las concentraciones de cianuro fueron de 0.3, 0.6, 0.9 g/l; con una fracción de sólidos del 15% y 30%, a diferentes tiempos que fueron de 180, 360, 540 y 720 minutos

Para la prueba de flotación se utiliza la celda convencional tipo Denver, variando porcentajes de sólidos, los cuales fueron al 15% y al 30%, además de dos tipos de colectores que fueron el Z6 y el Z11 que son colectores conocidos como xantatos.

3.5.Preparación de las muestras

- ***Molienda***

En este proceso se lleva a cabo la trituración de la muestra, de manera que la granulometría sea pasante malla 200, tanto para ensayo de cianuración como el de flotación.

- ***Cuarteo***

Sobre una lona se dispone el material previamente triturado, se lo homogeniza y se realiza el cuarteo de las muestras, proceso que será repetido varias veces (30 veces), esto con la finalidad de reducir el volumen del mineral y obtener una muestra representativa para el desarrollo del ensayo.

- ***Caracterización del mineral***

Una vez que el material ha sido cuarteado, se procede a recoger la muestra para su respectivo análisis.

El método utilizado para esta caracterización fue el de Newmont, en donde se determinó que la muestra tuvo un contenido de oro de 2.87g/t, con una densidad aparente de

1.66 g/cm³. El ensayo fue realizado en el laboratorio químico metalúrgico “JV Metals”, de la ciudad de Portovelo.

3.6.Fase experimental

Las pruebas fueron realizadas en las instalaciones de la Universidad del Azuay, en el laboratorio de la Escuela de Minas. Realizando un total de 28 pruebas; 4 pruebas de flotación y 24 pruebas de cianuración.

Para la prueba de cianuración, el volumen de la pulpa fue de 500 ml. Una vez finalizadas las pruebas, fueron almacenadas en tubos de ensayo, depositando 15 ml de la solución resultante para posteriormente enviar al laboratorio de JV Metal, para sus respectivos análisis.

Para el ensayo de flotación se trabajó con una granulometría pasante malla 80 para la determinación de densidad de sólidos, densidad de pulpa y así establecer los requerimientos de masa en relación a los porcentajes de sólidos.

Tabla 1. Número de pruebas a una fracción de sólidos del 15%

<i>Fracción de sólidos al 15%</i>					
	Tiempo (minutos)				
Concentración g/l		180	360	540	720
	<i>NaCN</i>				
	0.3	Prueba 1	Prueba 4	Prueba 7	Prueba 10
	0.6	Prueba 2	Prueba 5	Prueba 8	Prueba 11
	0.9	Prueba 3	Prueba 6	Prueba 9	Prueba 12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Número de pruebas a una fracción de sólidos del 30%

Fracción de sólidos al 30%					
Concentración g/l	Tiempo (minutos)				
		180	360	540	720
	NaCN				
	0.3	Prueba 13	Prueba 16	Prueba 19	Prueba 22
	0.6	Prueba 14	Prueba 17	Prueba 20	Prueba 23
	0.9	Prueba 15	Prueba 18	Prueba 21	Prueba 24

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1. Densidad de la pulpa, masa de sólidos y masa de agua

$$\rho_{sp} = \frac{1}{\emptyset P \left(\frac{1}{\rho_{sólidos}} - 1 \right) + 1}$$

En dónde:

ρ_{sp} = Densidad de la pulpa

$\emptyset P$ = Porcentaje de sólidos

ρ_s = Densidad de sólidos

Una vez calculado la densidad de la pulpa, se procede a calcular la masa de la pulpa.

$$\rho_{sp} = \frac{m_p}{V_p}$$

$$m_p = \rho_{sp} \times V_p$$

En dónde:

$$mp = \text{Masa de sólidos de la pulpa (g)}$$

$$\rho_{sp} = \text{Densidad de pulpa (g/cm}^3\text{)}$$

$$Vp = \text{Volumen de la pulpa (cm}^3\text{)}$$

Una vez obtenidos estos datos se puede determinar la masa de material y el volumen de agua requerido.

$$m_{H_2O} = (1 - \phi P) \times mp = V_{H_2O}$$

$$ms = (\phi P) \times mp$$

En donde:

$$m_{H_2O} = \text{Masa del agua (g)}$$

$$ms = \text{Masa del sólido (g)}$$

$$V_{H_2O} = \text{Volúmen del agua (cm}^3\text{)}$$

Fracción de sólidos del 15%

$$\rho_{sp} = \frac{1}{15\% \left(\frac{1}{1.66 \frac{g}{cm^3}} - 1 \right) + 1}$$

$$\rho_{sp} = 1.06 \frac{g}{cm^3}$$

Para el ensayo de cianuración se utilizará un volumen de 500 ml.

$$mp = 1.06 \frac{g}{cm^3} \times 500 cm^3$$

$$mp = 532g$$

$$m_{H_2O} = (1 - 15\%) \times 532g$$

$$m_{H_2O} = 452 ml$$

$$ms = 15\% \times 532$$

$$ms = 79.8g$$

Fracción de sólidos del 30%

$$\rho_{sp} = \frac{1}{30\% \left(\frac{1}{1.66 \frac{g}{cm^3}} - 1 \right) + 1}$$

$$\rho_{sp} = 1.14 \frac{g}{cm^3}$$

Para el ensayo de cianuración se utilizará un volumen de 500 ml.

$$mp = 1.14 \frac{g}{cm^3} \times 500 cm^3$$

$$mp = 567.72 g$$

$$m_{H_2O} = (1 - 30\%) \times 567.72 g$$

$$m_{H_2O} = 397.4 g$$

$$ms = 30\% \times 567.72 g$$

$$ms = 170.3g$$

3.6.2. Parámetros para la cianuración

Parámetros generales

- Velocidad de agitación: 110 rpm
- Temperatura: ambiente
- pH: 10.5
- Granulometría: pasante malla 80

Parámetros específicos*Tabla 3. Parámetros de las pruebas de cianuración.*

Prueba #	m (g)	VH₂O (ml)	Tiempo (min)	V pulpa (ml)	NaNC (g/l)	ØP
1	79.8	451.95	180	500	0.3	15%
2	79.8	451.95	180	500	0.6	15%
3	79.8	451.95	180	500	0.9	15%
4	79.8	451.95	360	500	0.3	15%
5	79.8	451.95	360	500	0.6	15%
6	79.8	451.95	360	500	0.9	15%
7	79.8	451.95	540	500	0.3	15%
8	79.8	451.95	540	500	0.6	15%
9	79.8	451.95	540	500	0.9	15%
10	79.8	451.95	750	500	0.3	15%
11	79.8	451.95	750	500	0.6	15%
12	79.8	451.95	750	500	0.9	15%
13	170	397.40	180	500	0.3	30%
14	170	397.40	180	500	0.6	30%
15	170	397.40	180	500	0.9	30%
16	170	397.40	360	500	0.3	30%
17	170	397.40	360	500	0.6	30%
18	170	397.40	360	500	0.9	30%
19	170	397.40	540	500	0.3	30%
20	170	397.40	540	500	0.6	30%

21	170	397.40	540	500	0.9	30%
22	170	397.40	720	500	0.3	30%
23	170	397.40	720	500	0.6	30%
24	170	397.40	720	500	0.9	30%

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3. Ejecución de pruebas

3.6.3.1. Cianuración

1. En 3 vasos de precipitación se agrega 451.95ml de agua y 79.8 g de mineral (15% fracción de sólidos), y homogenizamos agitando con una varilla de vidrio.
2. En una balanza se pesa la cantidad de cianuro que se agregará. Al primer vaso se le agrega 0.3 g de NaCN, en el segundo 0.6 g de NaCN y en el tercero 0.9 g de NaCN. Se enciende el equipo y se regula el voltaje para llegar a 110 rpm.
3. Posteriormente se agrega cal para elevar el pH, el cual debe permanecer en 10.5, este va a ser controlado aproximadamente cada 30 minutos. Para el ensayo de 0.3 de NaCN se agrega 0.3 g de cal, para la concentración de 0.6 de NaCN se adiciona 0.6 y finalmente para la concentración de 0.9 se agrega 0.7 g de cal.
4. Cada prueba es realizada en un tiempo de 180, 360, 540 y 720 minutos, posteriormente se extrae 15 ml para el respectivo análisis de las primeras 12 pruebas.

5. Para la prueba con fracción de sólidos al 30%, se coloca en el vaso 397.40 ml de agua y 170 g de mineral y se repite el proceso descrito anteriormente, obteniendo así las siguientes 12 pruebas de cianuración.
6. Al finalizar las pruebas, el sobrante es neutralizado y depositado en un envase para su correspondiente desecho.

Figura 2. Ejecución de pruebas de cianuración



Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.2. Análisis de la ley de cabeza

La ley de mineral utilizado fue de 2.87g/t. Se necesita saber la cantidad de oro en un metro cúbico de pulpa ya que los resultados se encuentran en g/cm³ para así conocer el porcentaje de recuperación de cada prueba realizada.

3.6.3.3. Análisis del 15% de sólidos

El ensayo se llevó a cabo con 500 ml de pulpa, en donde se utilizó 79.8g de material, por tanto, en 1 m³ (1000000ml) de pulpa se tiene:

$$\begin{aligned} 500 \text{ ml} &\rightarrow 79.8 \text{ g de mineral} \\ 1000000 \text{ ml} &\rightarrow X \text{ g de mineral} \\ x &= \frac{1000000 \text{ ml} \times 79.8 \text{ g de mineral}}{500 \text{ ml}} \end{aligned}$$

$$x = 159513.13 \text{ g} = 159.51 \text{ kg}$$

En 1 m³ se tiene 159.51 de material y se requiere conocer la cantidad de oro presente en dicha cantidad, con la ley de 2.87g/t.

$$\begin{aligned} 2.87 \text{ g/ton de oro} &\rightarrow 1000 \text{ kg de mineral} \\ X &\rightarrow 159.51 \text{ kg de mineral} \\ x &= \frac{2.87 \text{ g de oro} \times 159.51 \text{ kg de mineral}}{1000 \text{ Kg de mineral}} \\ x &= 0.46 \text{ g de oro.} \end{aligned}$$

Es así que obtenemos que en 1 m³ de pulpa al 15% de sólidos se encontró 0.46 g de oro.

3.6.3.4. Análisis del 30% de sólidos

El ensayo se llevó a cabo con 500 ml de pulpa, en donde se utilizó 170 g de material, por tanto, en 1 m³ (1000000ml) de pulpa se tiene:

$$\begin{aligned} 500 \text{ ml} &\rightarrow 170 \text{ g de mineral} \\ 1000000 \text{ ml} &\rightarrow x \text{ g de mineral} \\ x &= \frac{1000000 \text{ ml} \times 170 \text{ g de mineral}}{500 \text{ ml}} \\ x &= 340629.27 \text{ g} = 340.63 \text{ kg} \end{aligned}$$

En 1 m³ se tiene 340.63 kg de material y se requiere conocer la cantidad de oro presente en dicha cantidad, con la ley de 2.87g/ton.

$$\begin{array}{rcl}
 2.87 \text{ g de oro} & \rightarrow & 1000 \text{ kg de mineral} \\
 x & \rightarrow & 340.63 \text{ kg de mineral} \\
 x = \frac{2.87 \text{ g de oro} \times 340.63 \text{ kg de mineral}}{1000 \text{ Kg de mineral}} \\
 x = 0.98 \text{ g de oro.}
 \end{array}$$

Es así que en 1 m³ de pulpa al 30% de sólidos se encontró 0.98 g de oro.

3.6.4. Prueba de flotación

Previo a la preparación de la pulpa se requiere la dosificación y el pH.

Para el ensayo se establece una densidad de 1.66 g/cm³

3.6.4.1. Densidad de la pulpa, masa de pulpa y masa de agua

Cálculo al 15% de fracción de sólidos.

$$PSP = 1,06 \text{ g/cm}^3$$

$$\begin{array}{l}
 1.06 = \frac{Mp}{1000 \text{ ml}} = 1060 \times 0.15 = 159 \text{ g} \\
 901 \text{ g de H}_2\text{O}
 \end{array}$$

Cálculo al 30% de fracción de sólidos.

$$PSP = 1.1354 \text{ g/cm}^3$$

$$\begin{array}{l}
 1.1354 = \frac{Mp}{1000 \text{ ml}} = 1060 \times 0.3 = 340.62 \text{ g} \\
 794.78 \text{ g de H}_2\text{O}
 \end{array}$$

3.6.4.2. Dosificación de reactivos

Según pruebas realizadas por Monteros & Ramón, concluyen que la utilización de gran cantidad de colectores provoca un tenor bajo de recuperación ya que la flotación no sería selectiva, mientras que con un solo colector como lo es el xantato presenta mayor tenor de recuperación. La ley de mineral utilizado fue de 2.87g/t.

Los reactivos utilizados se basaron en pruebas realizadas según (Calero & SanMartín, 2023), los cuales se detallan a continuación:

- Xantato amílico de potasio (Z-6): Este es obtenido en estado sólido, por lo que se aconseja que sea diluido en agua. Para las pruebas realizadas con este colector se utilizó 4 gotas en cada una de ellas y se acondicionó durante un periodo de 10 minutos.
- Xantato isopropílico de sodio (Z-11): Este colector al igual que el anterior se lo obtiene en estado sólido por lo que igualmente se recomienda diluirlo en agua. Para las pruebas realizadas con este colector se utilizó 4 gotas en cada una de ellas y se acondicionó durante un periodo de 10 minutos.
- Espumante ER-350: Con el espumante se logra encapsular el mineral, ya que las burbujas se adhieren al mineral hidrofóbico para que así llegue a la superficie con mayor facilidad.

En el desarrollo de este ensayo se utilizó 4 gotas en cada prueba realizado con un periodo de acondicionamiento de 3 minutos.

3.6.4.3. Parámetros para la flotación

- Modelo de celda: Denver
- pH: 9
- Velocidad de agitación: 1100 rpm

- Acondicionamientos:
- Tiempo 1: Al momento de agregar la cal se utilizó un tiempo de acondicionamiento de 5 minutos.
- Tiempo 2: Una vez agregado el colector se dio un tiempo de acondicionamiento de 10 minutos.
- Tiempo 3: Finalmente al agregar el espumante se espera 3 minutos a que este se acondicione.
- Tiempo 4: Se abre la llave de aire y se concentra durante 2 minutos

Cada ensayo tuvo un tiempo de duración de 20 minutos aproximadamente.

- Temperatura: ambiente
- Contenido de la pulpa al 15% de sólidos: 159 g de material y 901 ml de agua.
- Contenido de la pulpa al 30% de sólidos: 340.62 g de material y 794.78 ml de agua
- Colectores: Xantato amílico de potasio (Z-6), Xantato isopropílico de sodio (Z-11)

3.6.4.4. Ejecución de pruebas

1. Se procede a preparar la pulpa vertiendo 901 ml de agua en la celda de flotación y posteriormente se adiciona poco a poco 159 g de material
Contenido de la pulpa al 15% de sólidos: 159 g de material y 901 g de agua.
2. Se agrega la cal para elevar el pH, en este caso se agregó 0.5 g de cal y se dejó acondicionar 5 minutos para cambiar las propiedades de la pulpa.
3. Posterior a los 5 minutos se dosifica 4 gotas del colector correspondiente, dejando que se acondicione durante 10 minutos.

4. Se agrega 4 gotas del espumante y se espera 3 minutos para que se acondicione.
5. Pasados los 3 minutos se abre la llave que da paso al aire, y el material va siendo recolectado en una bandeja para luego ser enviados para su respectivo análisis.
6. Para el contenido de pulpa del 30% se agrega 340.62 g de material y 794.78 ml de agua y se procede a repetir los pasos descritos anteriormente.

Tanto en ensayo del 15% y 30% se lo realiza con el colector Z-6 y Z-11, obteniendo así un total de 4 ensayos.

Tabla 4. Parámetros para la flotación

Masa de la pulpa al 15%				
Flotación	Densidad de pulpa	Masa de pulpa	Masa de sólido	Masa de líquido
Celda	$m\rho = 1,06 \frac{g}{cm^3}$	$m\rho = 1060 \text{ g}$	$m_s = 159 \text{ g}$	$m_l = 901 \text{ g}$
Masa de la pulpa al 30%				
Flotación	Densidad de pulpa	Masa de pulpa	Masa de sólido	Masa de líquido
Celda	$m\rho = 1,1354 \frac{g}{cm^3}$	$m\rho = 1135,4g$	$m_s = 340,62 \text{ g}$	$m_l = 794,78 \text{ g}$

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.Resultado de los ensayos de cianuración

Las 24 pruebas de cianuración fueron realizadas en el laboratorio de JV Metals mediante espectrofotometría de absorción atómica, obteniendo los siguientes resultados:

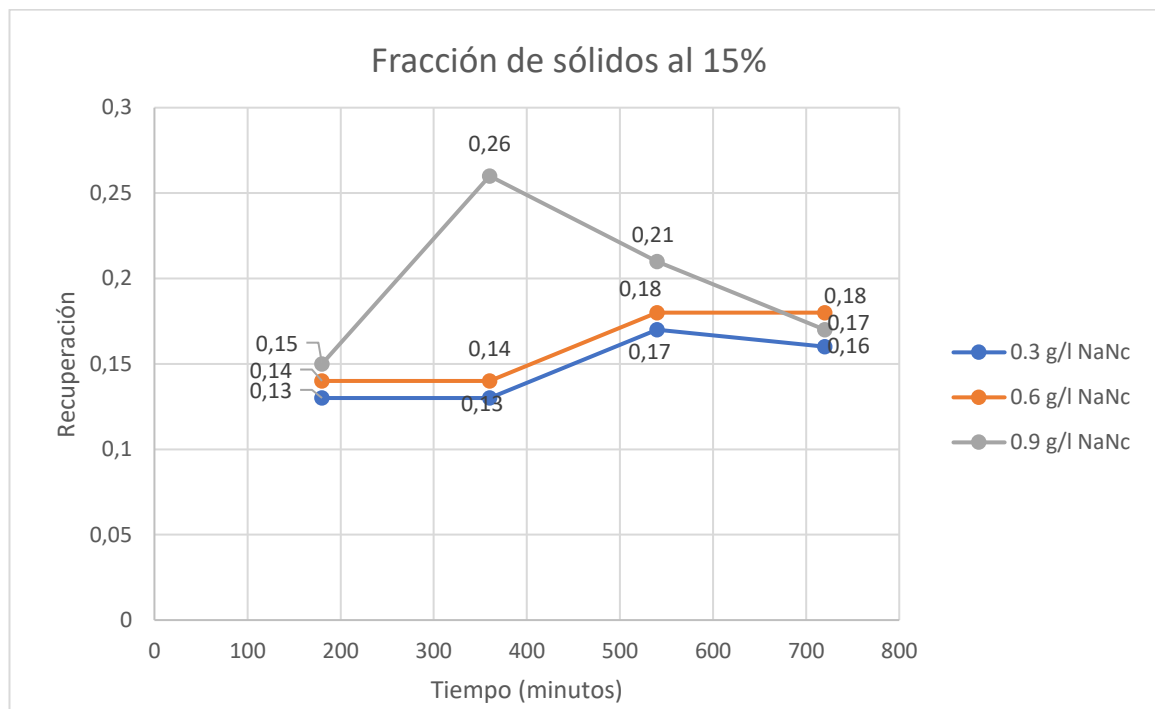
Tabla 5. Leyes de concentración de los ensayos.

Fracción de sólidos al 15%					
	Tiempo (minutos)				
		180	360	540	720
Concentración g/l	NaCN				
	0.3	0.13	0.13	0.17	0.16
	0.6	0.14	0.14	0.18	0.18
	0.9	0.15	0.26	0.21	0.17

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5, muestran las concentraciones de Au en ppm, extraído con cianuro a una fracción de sólidos del 15% y a determinados intervalos de tiempo que van desde los 180, 360, 540 y 720 minutos.

Figura 3. Ensayos con una fracción de sólidos del 15%



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos y presentados en la figura 3 indican que, a una velocidad de agitación de 700 rpm, la extracción mínima de Au fue de 0.13 ppm a una concentración de 0.3 g/l de NaCN coincidiendo en el tiempo de 180 y 360, mismo en donde se evidencia gran similitud en los resultados; mientras que la extracción máxima fue de 0.26 ppm con una concentración de 0.9 g/l de NaCN, después de 360 minutos de lixiviación.

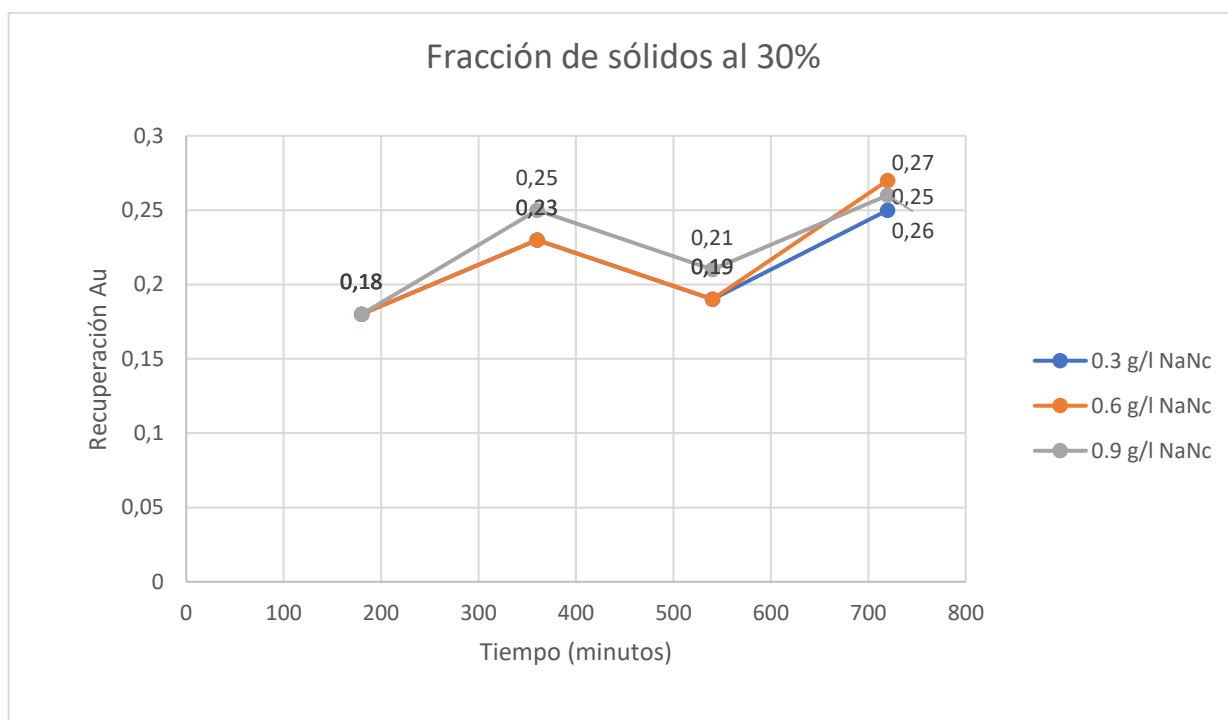
Tabla 6. Leyes de concentración de los ensayos

Fracción de sólidos al 30%					
	Tiempo (minutos)				
Concentración g/l		180	360	540	720
	NaCN				
	0.3	0.18	0.23	0.19	0.25
	0.6	0.18	0.23	0.19	0.27
	0.9	0.18	0.25	0.21	0.26

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6, muestran las concentraciones de Au en ppm, extraído con cianuro a una fracción de sólidos del 30% y a determinados intervalos de tiempo que van desde los 180, 360, 540 y 720 minutos.

Figura 4. Ensayos con una fracción de sólidos del 30%



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos y presentados en la figura 4 indican que, la extracción mínima de Au fue de 0.18 ppm y se mantuvo constante en las 3 diferentes concentraciones, a una concentración de 0.3 g/l de NaCN coincidiendo en el tiempo de 180 y 360, mientras que la extracción máxima fue de 0.27 ppm con una concentración de 0.6 g/l de NaCN, después de 720 minutos de lixiviación.

Los resultados obtenidos en los ensayos permitieron determinar que los parámetros óptimos para una cianuración efectiva fueron:

- Concentración de cianuro de sodio: 0,6 g/L
- Tiempo de cianuración: 720 minutos
- Fracción de sólidos: 30%

Con estos parámetros, se obtuvo una recuperación de 0,27 g/L de oro. Estos resultados indican que la cianuración con una concentración de cianuro de 0,6 g/L y un tiempo de 720 minutos es efectiva para recuperar el mineral.

4.2. Resultados de los ensayos de flotación

Los concentrados obtenidos en la flotación fueron recolectados en un recipiente y enviados al laboratorio de JvMetals para el respectivo análisis.

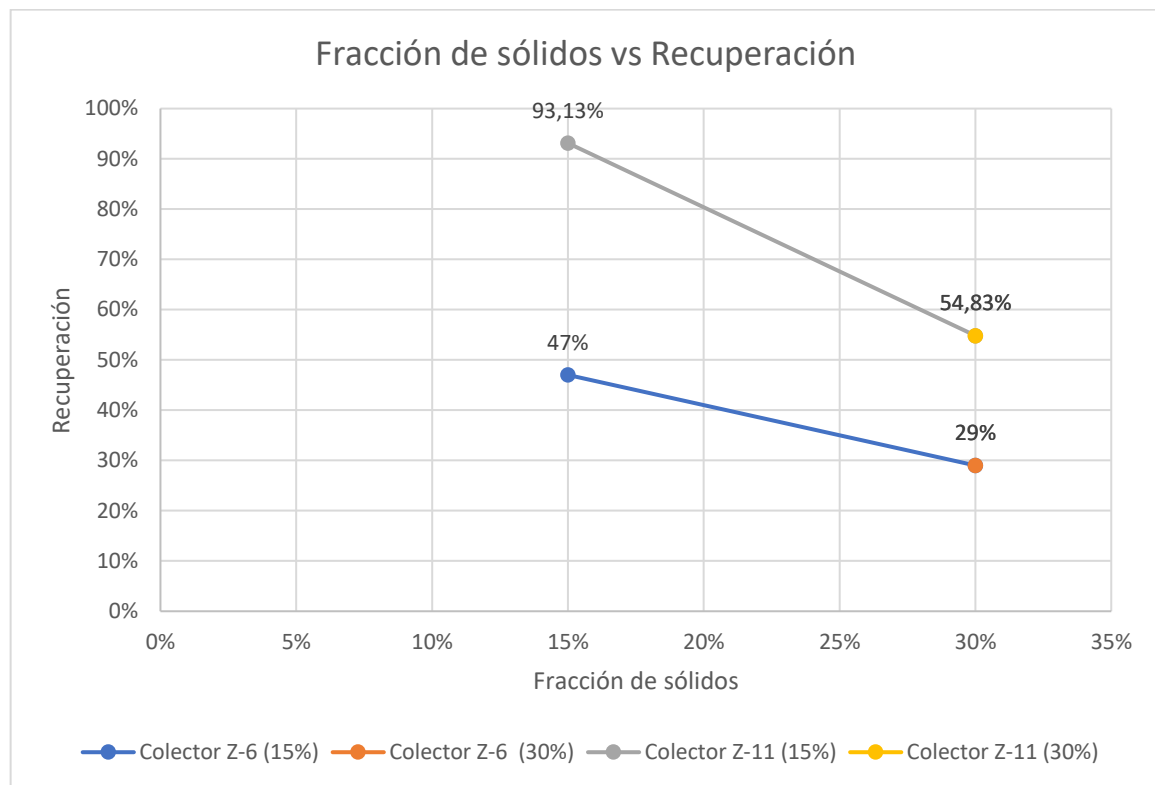
Tabla 7. Resultados de flotación al 15% y 30% con Z-6 y Z-11

15% de sólidos		
Muestras	Colector	
Muestra #1	Xantato amílico de potasio (Z-6)	4.29 g/t
Muestra #2	Xantato isopropílico de sodio (Z-11)	4.05 g/t
30% de sólidos		
Muestras	Colector	
Muestra #3	Xantato amílico de potasio (Z-6)	8.50 g/t
Muestra #4	Xantato isopropílico de sodio (Z-11)	6.70 g/t

Fuente: *Elaboración propia.*

En la tabla 7 muestra la cantidad de oro extraído para las fracciones de sólidos al 15% y al 30%, así como también los resultados con los colectores utilizados Z-6 y Z-11

Figura 5. Fracción de sólidos vs Recuperación



Fuente: Elaboración propia

En la figura 5 se encuentran graficados los resultados de los análisis de las pruebas de flotación. Se observan dos líneas que representan los diferentes colectores utilizados Z-6 y Z-11. En ambos casos se evidencia una mejor recuperación con una fracción de sólidos al 15%, lo que permite determinar que mientras existe una menor cantidad de mineral es más fácil ser selectivo. Sin embargo, al trabajar con una mayor cantidad de sólidos es más difícil tener un comportamiento selectivo a pesar de utilizar los mismos colectores

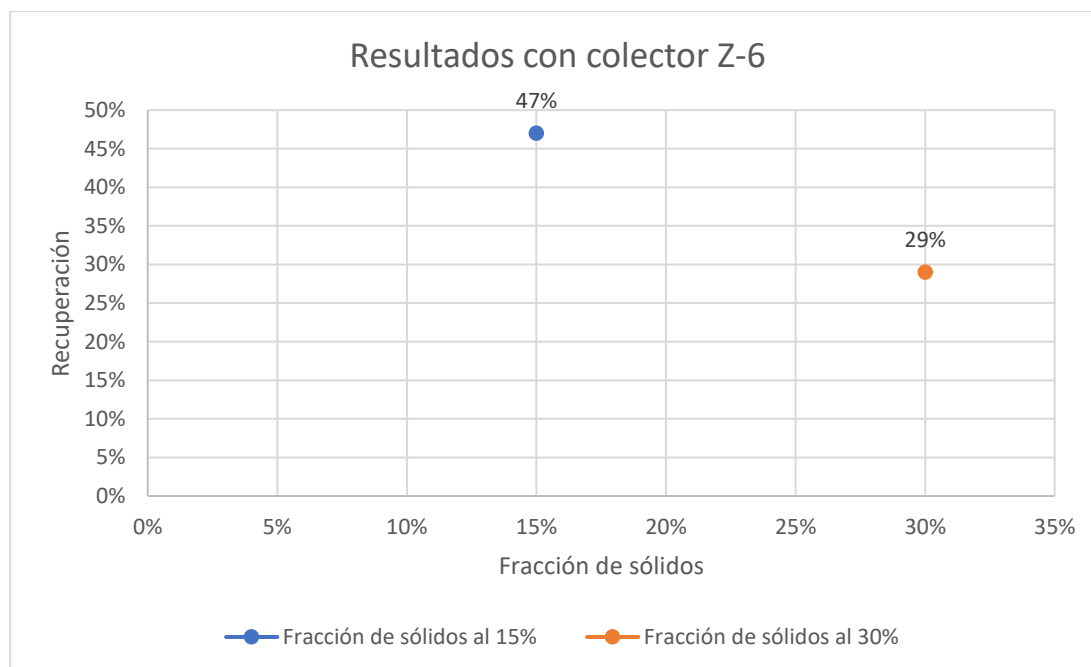
Tabla 8. Resultados con el colector Z6

Colector Z6						
Fracción de sólidos	Masa del concentrado (C)	Ley del concentrado (tc)	Masa del alimento (A)	Ley del alimento (ta)	Recuperación	Enriquecimiento
15%	50	4.29	159	2.87	47.01	1.49
30%	70	4.05	340.62	2.87	29.00	1.41

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8 se encuentran los análisis de los ensayos realizados con el colector Z-6, junto con los valores de recuperación y enriquecimiento.

Figura 6. Recuperación de Au con el colector Z-6



Fuente: Elaboración propia

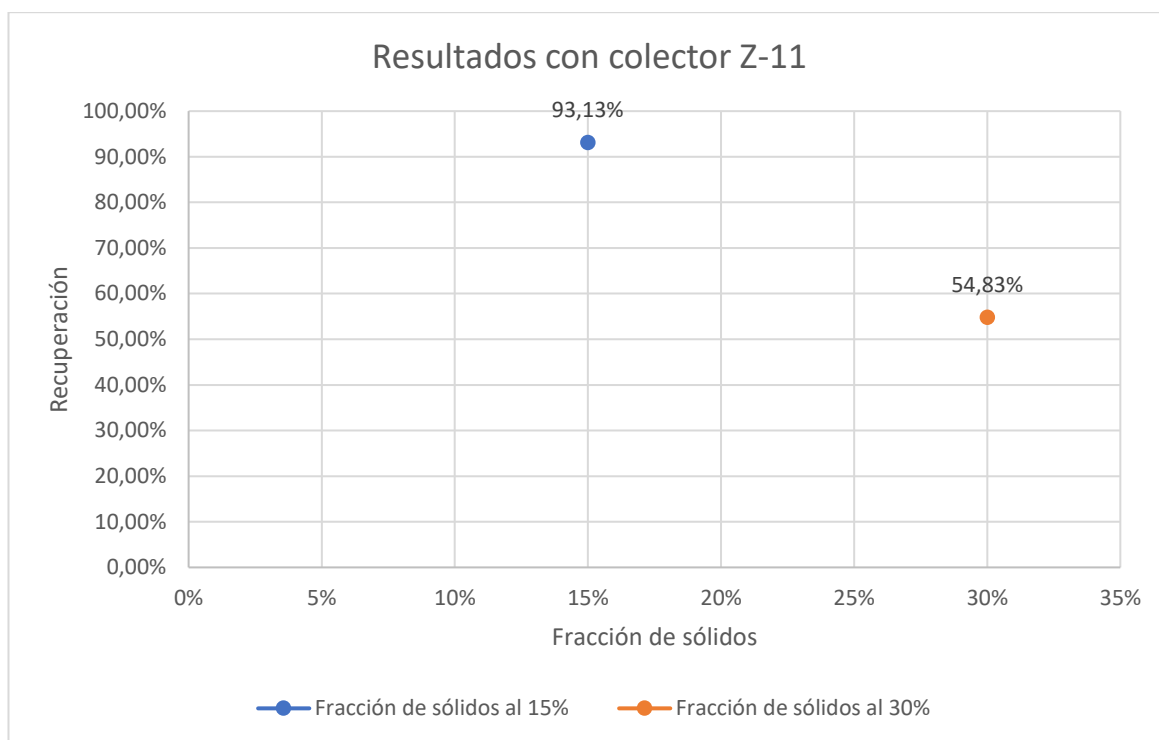
Tabla 9. Resultados con el colector Z-11

Colector Z11						
Fracción de	Masa del concentrado (C)	Ley del concentrado (tc)	Masa del alimento (A)	Ley del alimento (ta)	Recuperación	Enriquecimiento
15%	50	8.5	159	2.87	93.13	2.96
30%	80	6.7	340.62	2.87	54.83	2.33

Fuente: Elaboración propia

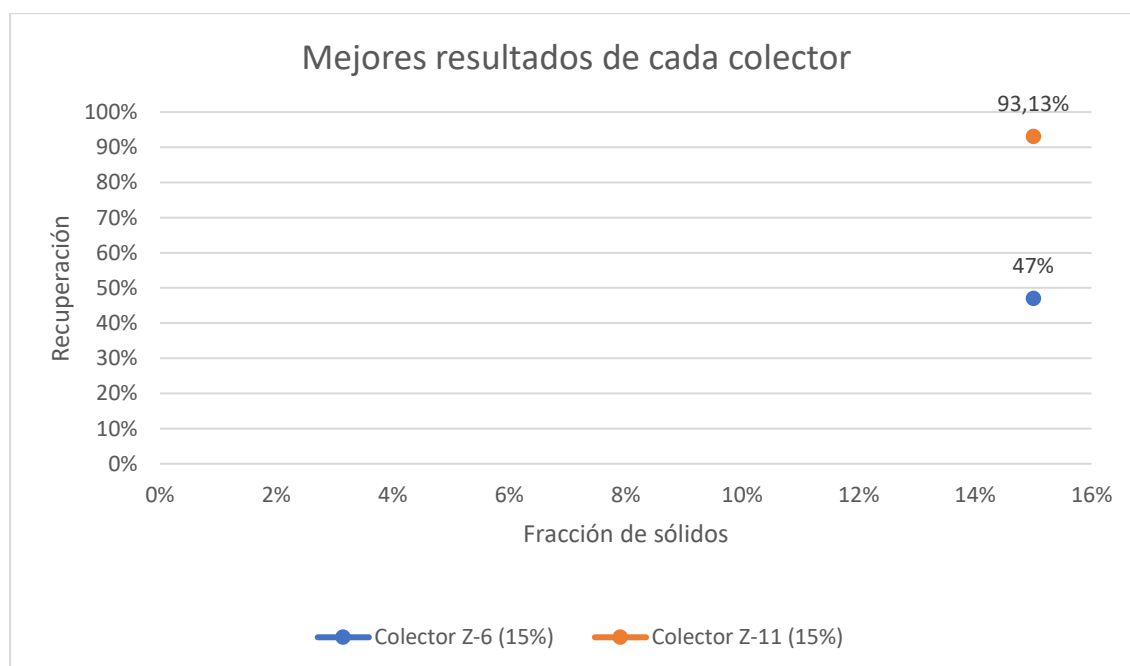
En la tabla 9 se encuentran los análisis de los ensayos realizados con el colector Z-11, junto con los valores de recuperación y enriquecimiento.

Figura 7. Recuperación de Au con el colector Z-11



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Mejores resultados de cada colector



Fuente: Elaboración propia

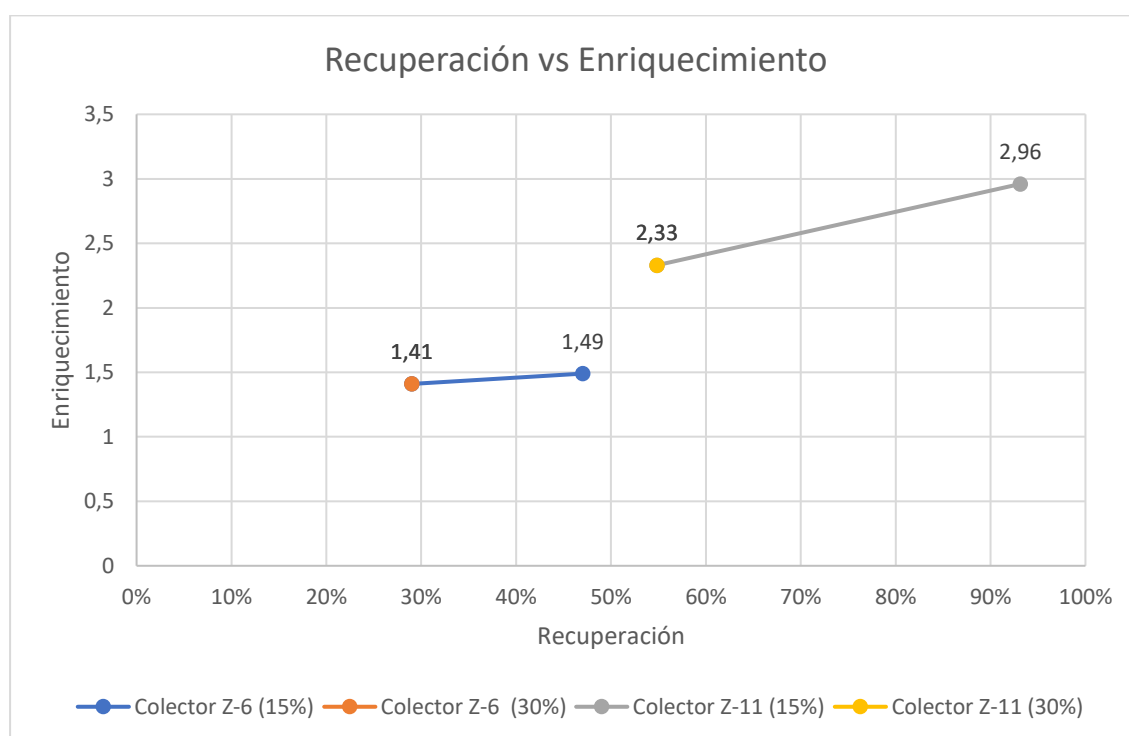
En la figura 8, se encuentran graficados los mejores resultados obtenidos con cada colector, tanto para el Z-6 y Z-11, coincide que la mayor recuperación se da con una fracción de sólidos del 15%.

Tabla 10. Resultados de recuperación y enriquecimiento

Collectores	Recuperación	Enriquecimiento
Z-6 (15%)	47%	1.49
Z-6 (30%)	29%	1.41
Z-11 (15%)	93.13%	2.96
Z-11 (30%)	54.83%	2.33

Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Recuperación vs Enriquecimiento



Fuente: Elaboración propia

En la figura 9 se observa la recuperación y el enriquecimiento mineral de ambos colectores y fracciones de sólidos, denotando un mayor enriquecimiento con una fracción de sólidos del 15% con ambos colectores.

Los resultados obtenidos en este estudio permitieron determinar que la implementación del proceso de flotación en la planta de beneficio Urenagold es viable y efectiva para la recuperación mineral.

Utilizando el colector Z-11 con una fracción de sólidos del 15%, se obtuvo una recuperación de 8,5 g/t y una recuperación del 93,13% con un enriquecimiento de 2,96. Estos resultados indican que la flotación es un proceso efectivo para recuperar el mineral y que puede ser implementado en la planta de beneficio

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La recuperación de oro aumenta con el tiempo de cianuración y la concentración de cianuro en ambas fracciones de sólidos, esto se puede observar ya que la fracción de sólidos al 30% presenta una mayor recuperación de oro en comparación con la fracción de sólidos al 15%.
- La concentración de cianuro óptima para la recuperación de oro es de 0.6 g/l, ya que no se observa un aumento significativo en la recuperación al aumentar la concentración a 0.9 g/l, esto tomando en consideración los tiempos ya que a tiempos prolongados como los 720 minutos se observa esta tendencia. Sin embargo, a menores tiempos la concentración de 0.9 g/l presenta mayor recuperación. Aunque analizando los parámetros de producción en planta se observa que se desarrolla la cianuración a tiempos prolongados.
- En celda convencional, la fracción de sólidos al 15% representa los valores de recuperación más alto, tanto en el concentrado como en la ganga. Sin embargo, también se observa que el enriquecimiento es mayor debido a que una alta recuperación, indica que la selectividad es más factible ya que se debe analizar una menor cantidad de material, lo que produce una flotación eficiente.
- Con fracciones de sólidos al 30% en celda, se observa las menores recuperaciones en el concentrado, y a su vez se presentan los menores enriquecimientos debido a que el proceso es menos selectivo, debido a que se trabaja con una gran cantidad de material sólido, lo que dificulta su adecuada selectividad.
- El colector Z-6 presenta una mayor recuperación de oro que el colector Z-11 en ambas fracciones de sólidos.

- La cianuración presenta una mayor recuperación de oro en términos absolutos, mientras que la flotación presenta una mayor concentración de oro en el producto obtenido.

Recomendaciones

- Una vez culminadas las pruebas de cianuración, la pulpa debe ser neutralizada y almacenada para su correspondiente desecho.
- Para la prueba de flotación se recomienda variar el tamaño de partícula, fracción de sólidos y colectores; para de esta manera encontrar las condiciones más óptimas de recuperación.
- Respetar los tiempos de acondicionamiento para su correcta adaptación.
- Para futuras pruebas de flotación se recomienda variar el pH, tiempo de acondicionamiento y concentración de muestras con la finalidad de observar si el Z-6 puede tener mayores resultados de recuperación.
- Al desarrollar los ensayos de flotación se debe tener un estricto control con el tiempo de concentración y el secado de las muestras, caso contrario estos dos factores podrían alterar los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bedoya, A. M. (1961). *dspace*. Obtenido de

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/17951/1/El%20Cojitambo.pdf>

Calero, B., & SanMartín, J. (2023). Análisis del proceso de flotación variando colectores, fracción de sólidos y tamaño de partícula en un material aurífero proveniente de la planta Asopromin, Zaruma - El Oro. 90.

EcuRed. (2019). *EcuRed*. Obtenido de

<https://www.ecured.cu/index.php?title=Lixiviaci%C3%B3n&oldid=3504138>

Gonzales, A. O., & Pozo, A. R. (12 de 2015). *Inestabilidad del terreno en zonas urbanas de Zaruma y Portovelo*. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/324507378_Inestabilidad_del_terreno_en_zonas_urbanas_de_Zaruma_y_Portovelo_Ecuador_Factores_condicionantes_y_desencadenantes

Guizado, J., Briceñon, C., & Huanca, M. (Febrero de 2024). *Revista Minería*. Obtenido de

<https://revistamineria.com.pe/tecnico-cientifico/estudio-de-investigacion-de-lixivian-te-alterno-al-cianuro-de-sodio-para-minerales-de-compania-minera-poderosa>

Lalvay. (2023). Recuperación de oro con cianuro sódico y tiourea como agentes lixiviantes, variando fracción de sólidos, concentraciones y tiempo. 21.

Manual de Residuos Industriales Mineros. (2015). Granulometría en porcentaje de paso de malla.

Monteros, & Ramón. (2022). Análisis de la cinética de flotación en celda convencional y en columna de material aurífero perteneciente a la planta COMINCOBOS, Camilo Ponce Enríquez - Azuay. 100.

Velín, k. (2014). MEJORAMIENTO Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA DE RECUPERACIÓN DE ORO POR CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA, FLOTACIÓN Y CIANURACIÓN UBICADA EN PIÑAS, PROVINCIA DE EL ORO. Quito.

ANEXOS

Anexo 1. Material obtenido de la planta de beneficio Ureñagold



Anexo 2. Resultados del análisis de la densidad y ley del material

LABORATORIO QUIMICO METALURGICO
JV METALS
MAYORES BENEFICIOS, MEJOR PRODUCCION

LABORATORIO QUIMICO METALURGICO
JV metals
ANÁLISIS QUÍMICO DE METALES

Información del cliente	
Cliente :	Nelly Villa Ruiz
Teléfono :	9879446817
Dirección :	Chagchijel y Miguel Alemán

Fecha de ingreso : 17/9/2024 8:08:29
Fecha de ensayo : 17/9/2024 9:30
Fecha de entrega : 17/9/2024 17:23

INFORME DE ENSAYO

Ref. N° 21496

Cod. Lab.	N° flag	pmr (kg)	T. M.	Detalle de muestra	análisis	At
					análisis	g/Tm
48797	1	1.10	Ar	Arera		2.87
48798	1	1.10	Ar	Densidad aparente - 1 litro g/ea		

Información proporcionada por el cliente: [Vincula no es responsable de dicha información]
N° Bag cantidad de bolsas que conforman el cargamento para el análisis
por tipo de muestra recibida, Tm (tipo de muestra), CC-compostado, M-mixtura, Ar-arera

Información de métodos

análisis en FA(Or): Determinación de oro y plata en concentrados polimetálicos por ensayo a fuego aplicando el método Reedman (ISO-92707-06)
análisis en FA: Determinación de oro y plata en concentrados polimetálicos por ensayo a fuego (ISO-92707-06)
análisis en FA: Determinación de oro y plata en minerales y concentrados por ensayo a fuego (ISO-92707-06)
análisis en FA: Determinación de oro en minerales y relaves (1.25 gr) por ensayo a fuego y AA (ISO-92707-06)
análisis en AA: Determinación de Cu, Pb, Zn, As, Sb, Fe, Mo, Bi, por digestión ácida y espectroscopia de absorción atómica

* El ensayo fue realizado en la instalación del laboratorio, Site El Paché
* Los resultados obtenidos en este informe corresponden solamente a los datos ensayados.
* Los datos de ensayo se almacenan por un periodo de 1 mes.
* Esta prohibida la reproducción parcial o total de este informe sin la autorización escrita del laboratorio JV metals.
* [Vincula no es responsable por el origen o falta de la muestra]

LABORATORIO QUIMICO METALURGICO
JV METALS
REPORTADO

Ing. Químico José Buena Malla
Jefe de laboratorio
987 10 196 79

pág. 1 de 1
Fin el informe

Vía principal, frente a la empresa eléctrica.
EL PACHE - PORTOVELO - EL ORD
lab.jvmetals@gmail.com

Diego Mora
PROPIETARIO
Ing. José Buena Malla
JEFE DE LABORATORIO

GRATIS 2948 803
0969 537170

Anexo 3. Resultados de las pruebas de flotación



LABORATORIO QUÍMICO METALÚRGICO
JV METALS
MAYORES BENEFICIOS, MEJOR PRODUCCIÓN

Información del cliente

Cliente : Nelly Villa Ruiz
 Telefono : 0079404837
 Dirección : Chiguilón y Miguel Guzman

Fecha de ingreso : 3/10/2024 7:52:41
 Fecha de ensayo : 3/10/2024 8:00
 Fecha de entrega : 3/10/2024 14:52

INFORME DE ENSAYO

Ref. N° 21753

Cod. Lab.	N° Bag	pmr (kg)	T. M.	Detalle de muestra	análisis	
					unidad	g/Tm
49202	1	0.10	Ar	Muestra # 1 Frac. Sol 13%		4.29
49203	1	0.15	Ar	Muestra # 2 Frac. Sol 30%		4.05
49204	1	0.15	Ar	Muestra # 3		8.50
49205	1	0.15	Ar	Muestra # 4 Frac. Sol 30%		8.70

...Información proporcionada por el cliente. El cliente se es responsable de dicha información.
 W Bag (cantidad de bolsas que conforman el compuesto para el análisis)
 pmr (peso de muestra recibida), TM (tipo de muestra), CC=concentrado, M=mostrador, Ar=arena

Información de método
 a)h-cc FA06e Determinación de oro y plata en concentrados polimetálicos por ensayo a fuego aplicado al método Newmann (SOC-PE(V01-06))
 a)h-cc FA Determinación de oro y plata en concentrados polimetálicos por ensayo a fuego (SOC-PE(V01-03))
 a)h-FA Determinación de oro y plata en minerales y concentrados por ensayo a fuego (SOC-PE(V01-01))
 a)h-FA Determinación de oro en minerales y relaves 51.35 g/l por ensayo a fuego y AA (SOC-PE(V01-04))
 a)h-EAA Determinación de Cu, Pb, Zn, Ag, Sn, Fe, Mn, Bi, por digestión ácida y espectrofotometría de absorción atómica

> El ensayo fue realizado en la instalación del laboratorio, Sitio El Pachón.
 > Los resultados obtenidos en este informe corresponden solamente a los ítems ensayados.
 > Los ítems de ensayo se almacenan por un periodo de 2 meses.
 > Esta publicación la reproducción parcial de este informe sin la autorización escrita del laboratorio JV Metals.
 > JV Metals no se responsabiliza por el origen o tema de la muestra.



REPORTADO

Ing. Quím. José Bueno Malla
 Jefe de laboratorio
 001-15-118034

pag 1 de 1
Fin el informe

Via principal, frente a la empresa eléctrica,
EL PACHÓN - PORTOVELO - EL ORO

lab.jvmetals@gmail.com



Diego Mora
PROPIETARIO
Ing. José Bueno Malla
JEFE DE LABORATORIO

OFICINA 2948 803
0969 537170

Anexo 4. Muestras de las pruebas de flotación



Anexo 5. Material al 15% para la prueba de cianuración.



Anexo 6. Material al 30% para la prueba de cianuración



Anexo 7. Pruebas de cianuración



Anexo 8. Resultado de los análisis de cianuración 1/3

LABORATORIO QUIMICO-METALURGICO
"JV METALS"
 ING. JOSÉ BUENO MALLA

ANÁLISIS DE ROCA, ARENAS, CARBÓN CONCENTRADO Y
 SOLUCIONES EN GENERAL, VENTA DE PRODUCTOS QUÍMICOS
 PARA MINERÍA, INDUSTRIA Y LABORATORIO

MATRIZ: Sitio El Pache s/n - ☎ 07 2848-803
 0969537170 - Email: lab.jvmetals@gmail.com
 Portovelo - El Oro - Ecuador

R.U.C. 0791808359001
ORDEN DE ENSAYO
0055232

DÍA	MES	AÑO
23	01	25

Señor (s) Nelly Villa Ruiz

Dirección: _____

Lugar: _____ R.U.C. _____

Cant.	ARTICULO	V. UNIT.	V. TOTAL
# 1 =	0.13	g/m	
# 2 =	0.14	g/m	
# 3 =	0.15	g/m	
# 4 =	0.13	g/m	
# 5 =	0.14	g/m	
# 6 =	0.26	g/m	
# 10 =	0.16	g/m	
# 11 =	0.18	g/m	
# 12 =	0.17	g/m	
# 16 =	0.18	g/m	
		TOTAL \$	25.00

CLIENTE _____

C.I. _____ PROPIETARIO _____

60 blocks 100x2 del 52.201 al 58.200 - imp. 01-10-2024 P.O. GRAFICAS FEDORA 2019/02-000710014-00m

Anexo 9. Resultado de los análisis de cianuración 2/3



LABORATORIO QUIMICO METALURGICO
"JV METALS"
ING. JOSÉ BUENO MALLA

Análisis de roca, arenas, carbón concentrado y soluciones en general, venta de productos químicos para minería, industria y laboratorio.
MATRIZ: Sitio El Pache s/n- ☎ 07 2948-803
☎ 0969537170 - Email: lab.jvmetals@gmail.com
Portovelo - El Oro - Ecuador

R.U.C. 0791808359001
ORDEN DE ENSAYO
0055233

DÍA	MES	AÑO
23	01	25

Señor (s) Nelly Villa Ruiz

Dirección: _____

Lugar: _____ R.U.C. _____

Cant.	ARTICULO	V. UNIT.	V. TOTAL
# 17 =	0.18	g/m ³	1
# 18 =	0.18	g/m ³	
# 19 =	0.19	g/m ³	
# 20 =	0.19	g/m ³	
# 21 =	0.21	g/m ³	
 TOTAL \$ 12,50			

CLIENTE

C.I.

PROPIETARIO

60 blocks 100x2 del 52.201 al 58.200 - imp. 01-10-2024 P.Q.  206032 - 000100014 - P.W.

Anexo 10. Resultados de los análisis de cianuración 3/3

LABORATORIO QUIMICO-METALURGICO
"JV METALS"
 ING. JOSÉ BUENO MALLA

Análisis de roca, arenas, carbón concentrado y soluciones en general, venta de productos químicos para minería, industria y laboratorio
 MATRIZ: Sitio El Pache s/n- ☎07 2948-803
 ☎0969537170 - Email: lab.jvmetals@gmail.com
 Portovelo - El Oro - Ecuador

R.U.C. 0791808359001
ORDEN DE ENSAYO
0057274

DÍA	MES	AÑO
21	03	25

Señor (s) Nelly Villa

Dirección: _____

Lugar: _____ R.U.C. _____

Cant.	ARTICULO	V. UNIT.	V. TOTAL
8 =	0.17	gln ⁷	1
17 =	0.23	gln ⁷	1
23 =	0.27	gln ⁷	1
		TOTAL \$	7,50

CLIENTE _____

C.I. _____

PROPIETARIO _____

60 blocks 100x2 del 52.201 al 58.200 - Imp. 01-10-2024 P.Q. GRÁFICAS PEDOC 2976 032 - 0967108814 - P.14