



**Ciencia Latina**  
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2024,  
Volumen 8, Número 3.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i3](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3)

# **REACTIVOS USADOS PARA MEJORAR LA LIXIVIACIÓN DEL ORO CON CIANURO: UNA REVISIÓN**

**REAGENTS USED TO ENHANCE CYANIDE GOLD  
LEACHING: A REVIEW**

**Edwin Ivan Valarezo Tenesaca**  
Universidad Técnica de Machala, Ecuador

**Jordi Said Astudillo Echeverría**  
Universidad Técnica de Machala, Ecuador

**Victor Daniel Ordóñez Paladinez**  
Universidad Técnica de Machala, Ecuador

**Ariana Briseth Cuenca Vaca**  
Universidad Técnica de Machala, Ecuador

**Wilson Patricio Leon Cueva**  
Universidad Técnica de Machala, Ecuador

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rem.v8i3.12248](https://doi.org/10.37811/cl_rem.v8i3.12248)

## Reactivos Usados para Mejorar la Lixiviación del Oro con Cianuro: Una Revisión

**Edwin Ivan Valarezo Tenesaca<sup>1</sup>**

[evalarezo6@utmachala.edu.ec](mailto:evalarezo6@utmachala.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-9923-3442>

Universidad Técnica de Machala  
Ecuador

**Jordi Said Astudillo Echeverría**

[jastudill8@utmachala.edu.ec](mailto:jastudill8@utmachala.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-6388-7927>

Universidad Técnica de Machala  
Ecuador

**Victor Daniel Ordóñez Paladinez**

[vordonez4@utmachala.edu.ec](mailto:vordonez4@utmachala.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-3556-1142>

Universidad Técnica de Machala  
Ecuador

**Ariana Briseth Cuenca Vaca**

[acuenca8@utmachala.edu.ec](mailto:acuenca8@utmachala.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0008-7963-3818>

Universidad Técnica de Machala  
Ecuador

**Wilson Patricio Leon Cueva**

[wleon@utmachala.edu.ec](mailto:wleon@utmachala.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-5474-430X>

Universidad Técnica de Machala  
Ecuador

### RESUMEN

La lixiviación de oro con cianuro es el proceso hidrometalúrgico más usado para extraer oro de los minerales, pero este agente lixivante es altamente tóxico por lo que se busca disminuir su uso. Como una de las primeras actividades del proyecto de investigación en el cual se enmarca el presente artículo, se realizó una búsqueda bibliográfica de los diferentes reactivos usados para la mejora de la lixiviación de oro con cianuro, las herramientas digitales que se han utilizado son los buscadores académicos. Se determinó que para la extracción del oro se tritura el mineral, seguido de la lixiviación en pilas o tanques, donde una solución de cianuro disuelve el oro presente. Como resultado de la búsqueda se presentan reactivos como el ( $H_2O_2$ ) que puede actuar como oxidante adicional, aumentando la recuperación de oro. El ( $Pb(NO_3)_2$ ) ha mostrado mejorar la recuperación al estabilizar la disolución de sulfuros, evitando la pasivación del oro. La glicina también ha demostrado incrementar la disolución del oro y reducir el consumo de cianuro. Estos reactivos alteran las propiedades superficiales del sistema oro/solución de cianuración, optimizando la eficiencia del proceso.

**Palabras clave:** lixiviación, cianuración, oro, reactivos alternativos, extracción de metales

---

<sup>1</sup> Autor principal

Correspondencia: [evalarezo6@utmachala.edu.ec](mailto:evalarezo6@utmachala.edu.ec)

## Reagents Used To Enhance Cyanide Gold Leaching: A Review

### ABSTRACT

Gold leaching with cyanide is the most widely employed hydrometallurgical process for extracting gold from ores; however, due to the high toxicity of this leaching agent, there is a significant interest in reducing its usage. As an initial activity of the research project within which this article is framed, a comprehensive literature review was conducted to identify various reagents that enhance gold leaching with cyanide, utilizing academic search engines. Gold extraction was determined to involve ore crushing followed by heap or tank leaching, where a cyanide solution dissolves the gold present. The review identified reagents such as hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), which can act as an additional oxidant, thereby increasing gold recovery. Lead nitrate ( $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) has been shown to improve recovery by stabilizing the dissolution of sulfides, thus preventing gold passivation. Additionally, glycine has been demonstrated to enhance gold dissolution and reduce cyanide consumption. These reagents modify the surface properties of the gold/cyanide solution system, optimizing the process efficiency.

**Keywords:** leaching, cyanidation, gold, alternative reagents, metal extraction

*Artículo recibido 24 mayo 2023*

*Aceptado para publicación: 27 junio 2023*



## **INTRODUCCIÓN**

La lixiviación es una operación unitaria en la que separa los componentes solubles de la fase o matriz sólidas utilizando un equipo llamado lixivador, en este proceso se utiliza un solvente líquido especial como agente de separación (Franco et al., 2017). El oro es uno de los metales con mayor estabilidad en la naturaleza, este elemento está comúnmente asociado con otros minerales, se puede extraer mediante la lixiviación, donde el disolvente es generalmente una solución de cianuro. Debido a su bajo costo y fácil obtención, la extracción de oro utilizando como reactivo el cianuro es el proceso hidrometalúrgico más utilizados en la industria minera. (Machuca & Hervás, 2014).

El cianuro es altamente tóxico, al ingerirlo es absorbido por los intestinos y el tracto respiratorio, los síntomas que generalmente se presentan son dolor abdominal, náuseas y vómitos. (Ramírez, 2010). Además, afecta en la reproducción y fotosíntesis de las plantas. Los animales pueden absorber el cianuro a través de la piel, las concentraciones de cianuro de hidrógeno en el aire de 200 ppm son mortales para los animales, pero las concentraciones tan bajas como 0.1 mg/l son peligrosas para ciertas especies acuáticas.(J. Torres, 2009)

A pesar de las evidentes consecuencias sanitarias y ambientales que presenta el cianuro, su uso no ha disminuido en los últimos años y ha sido tema de interés y preocupación por ambientalistas y entes reguladores.(Mudder et al., 2001) Con el tiempo, se han investigado y desarrollado otros reactivos para mejorar la cianuración del oro, reduciendo los efectos negativos. Sin embargo, la literatura científica y técnica sobre estos estudios es limitada.

Por lo tanto, esta revisión literaria se propone sintetizar y analizar en profundidad la investigación existente sobre los reactivos utilizados para mejorar la lixiviación de oro con cianuro, estableciendo relaciones entre la estructura química de los reactivos y su eficacia en la lixiviación y la velocidad de disolución.

## **METODOLOGIA**

Para la presente revisión bibliográfica se utilizó como herramienta para la búsqueda de información base de datos digitales como: Google académico, Scopus, SciELO. Las palabras claves que se utilizaron como ruta de búsqueda son: Alternativas, consumo de cianuro, extracción, influencia, lixiviación de oro, reactivos. La búsqueda se limitó al idioma español e inglés y estudios publicados desde el 2019 al



2024. Una vez obtenido la información en revistas, libros y artículos se seleccionaron aquellas que cumplieran con el objetivo de la investigación el cual era buscar la reducción del cianuro mediante el uso de reactivos. Inicialmente se recopilaron 40 artículos a través de las búsquedas en las bases de datos, de los cuales fueron excluidos 36 artículos y los 4 restantes seleccionados contenían la información necesaria y precisa para la redacción de este artículo.

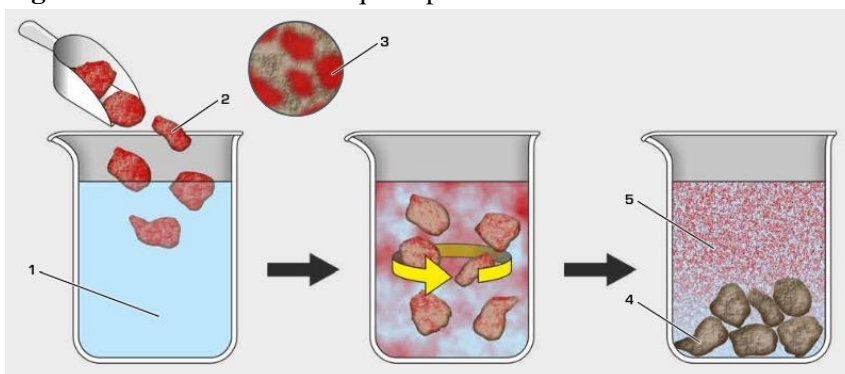
## REVISIÓN DE LA LITERATURA

### Importancia de la lixiviación en la industria minera

La industria de la minería juega un papel crucial en el desarrollo económico y tecnológico a nivel global, contribuye de forma importante al crecimiento de muchas naciones y proporciona los recursos necesarios para una amplia gama de industrias. Dentro de la minería, el oro es uno de los metales más preciados y solo algunos países cuentan con yacimientos de este metal precioso. (Anticoi & Alfonso, 2011) en Latinoamérica se destaca Brasil, Ecuador, Surinam, Argentina, Perú y Chile por ser las naciones que tienen las minas más grandes de oro de la localidad.

La lixiviación es un proceso de extracción sólido-líquido, en donde se hace uso de solventes para poder separar los componentes solubles de interés presentes en el sólido. Es un proceso clave en varias industrias, especialmente en la minería para la extracción de metales nobles mediante la hidrometalurgia en plantas de beneficio. Se utiliza para extraer metales o minerales de un material sólido mediante la acción de un líquido solvente (Saldaña et al., 2022). Aunque puede adoptar diferentes formas y utilizar diversos tipos de solventes, el principio básico es el mismo, disolver el material deseado para separarlo del material no deseado, tal como se observa en la siguiente figura 1.

**Figura 1** Extracción sólido-líquido por lixiviación



Nota. 1. Solvente, 2. Mineral extraído, 3. Solute, 4. Lixiviación y 5. Disolvente rico en soluto. Tomada de (K. Torres, 2018)

La lixiviación ha permitido explotar depósitos minerales que antes se consideraban económicamente inviables. La industria minera se enfrenta constantemente al desafío de extraer minerales de yacimientos con menores concentraciones de metales valiosos. La lixiviación, al ser capaz de separar metales de depósitos de baja ley, abre nuevas oportunidades para la explotación de recursos que antes se desechaban como improductivos (Gutarra Bernaola & Lovera Dávila, 2023). Esto contribuye a maximizar el uso de recursos naturales y reduce la necesidad de encontrar y desarrollar nuevas minas. Tiene un impacto ambiental menor en comparación con otros métodos de extracción, como la fundición con mercurio. Genera menos emisiones de gases tóxicos y pueden ser más eficientes en el uso de energía. Sin embargo, no es completamente seguro para el medio ambiente, el uso de solventes químicos, como el cianuro, plantea riesgos significativos para la fauna, la flora y los recursos hídricos, por esta razón, es fundamental que la industria minera implemente medidas de seguridad y cumpla con normativas ambientales estrictas (Ortiz Barreto et al., 2023).

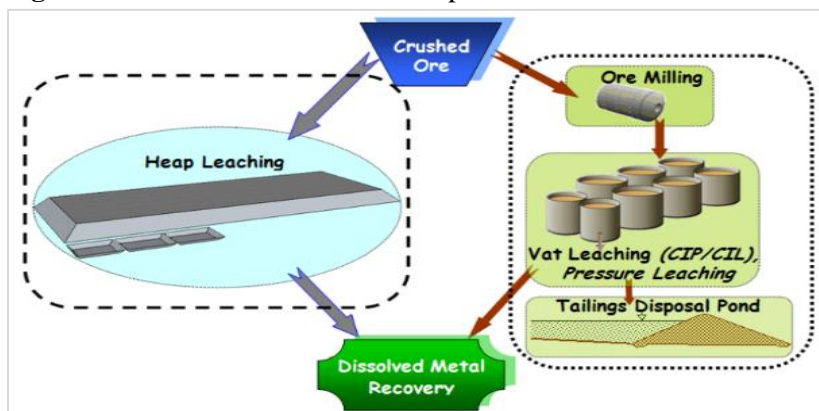
### **Proceso de lixiviación con cianuro**

La lixiviación con cianuro es un proceso ampliamente utilizado en la industria minera para extraer oro y otros metales preciosos de minerales de baja ley. A pesar de la controversia por los riesgos ambientales y de salud asociados con el uso de cianuro, este método es popular debido a su eficiencia y costo relativamente bajo (Pardave & Beltran, 2007).

Comienza con la preparación del mineral, el mineral extraído se tritura y muele para reducirlo a un tamaño que facilite la extracción del oro. Luego, el material molido se somete a la lixiviación en una de dos formas principales: lixiviación en pilas ("heap leaching") o lixiviación en tanques ("tank leaching"). En la lixiviación en pilas, el mineral triturado se apila en grandes montículos, sobre una base impermeable de geomembrana para evitar la filtración del cianuro al suelo. Se riega con una solución diluida de cianuro de sodio. A medida que la solución de cianuro se filtra a través del mineral, disuelve el oro y otros metales preciosos, creando una solución rica en oro conocida como "solución cargada". Mientras que en la lixiviación en tanques, el mineral molido se coloca en grandes tanques de agitación donde se mezcla con una solución de cianuro. El proceso de agitación ayuda a aumentar la eficiencia de extracción al mantener el mineral y el cianuro en contacto constante. Después de un tiempo determinado, la solución se convierte en una solución cargada que contiene el oro disuelto.



**Figura 2** Procesos de lixiviación en operaciones mineras



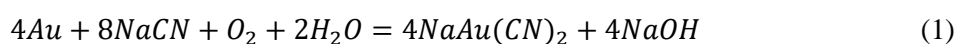
Nota. Lixiviación en pilas y por tanques agitados. Tomada de (Zanbak, 2012)

### Química del cianuro en el proceso de lixiviación

La química del cianuro en el proceso de lixiviación de oro es fundamental para la extracción de este metal precioso a partir de minerales de baja ley. El cianuro de sodio ( $NaCN$ ) es el compuesto químico más utilizado en este proceso debido a su capacidad para formar complejos estables y solubles con el oro (Galvan Lira et al., 2023).

Comienza con la disolución del cianuro de sodio en agua para crear una solución de cianuro. Esta solución se aplica al mineral que contiene oro, ya sea a través de riego en lixiviación en pilas o mediante agitación en tanques. El cianuro tiene la propiedad de formar un complejo químico estable con el oro, conocido como dicianuroaurato ( $[Au(CN)_2]^-$ ), que es soluble en agua.

En esta reacción, el oro metálico ( $Au$ ) se oxida gracias a la presencia de oxígeno ( $O_2$ ), permitiendo que el cianuro forme el complejo dicianuroaurato. Este paso es crítico, ya que, sin oxidación, el cianuro no podría formar un complejo estable con el oro y obtener la reacción completa que se presenta a continuación (1). El resultado es una solución cargada con el complejo de cianuro de oro, que puede ser procesada para recuperar el oro disuelto.



El papel del oxígeno en esta reacción es crucial, ya que actúa como el agente oxidante que permite al cianuro disolver el oro. En procesos de lixiviación, es común utilizar sistemas de aeración para asegurar un suministro constante de oxígeno en la solución de cianuro. Sin suficiente oxígeno, la reacción no se llevaría a cabo de manera eficiente, lo que afectaría negativamente la extracción de oro (Milena et al., 2018).

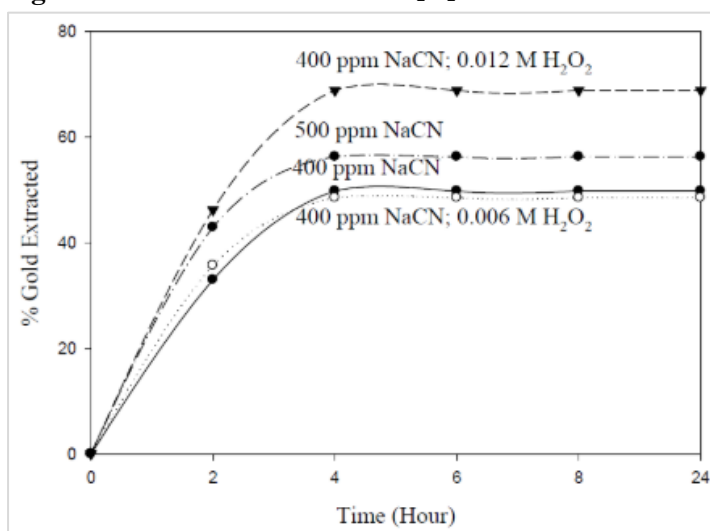
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Reactivos Innovadores para Mejorar la Lixiviación

#### Peróxido de hidrógeno

Según (Baharun et al., 2020), la extracción de oro se ve afectada positivamente cuando se agrega peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) al proceso de lixiviación con cianuro. Encontraron que una concentración de 410 ppm de  $H_2O_2$  aumentó la recuperación de oro del 48.52% al 68.85%. Esta mejora se debe a que el  $H_2O_2$  puede actuar como un oxidante adicional cuando la cantidad de oxígeno disuelto es baja, lo que aumenta la eficiencia del proceso de lixiviación.

**Figura 3** Efecto de la adición de  $H_2O_2$  a diferentes concentraciones en la extracción de oro



Nota. Tomada de (Baharun et al., 2020).

#### Nitrato de plomo

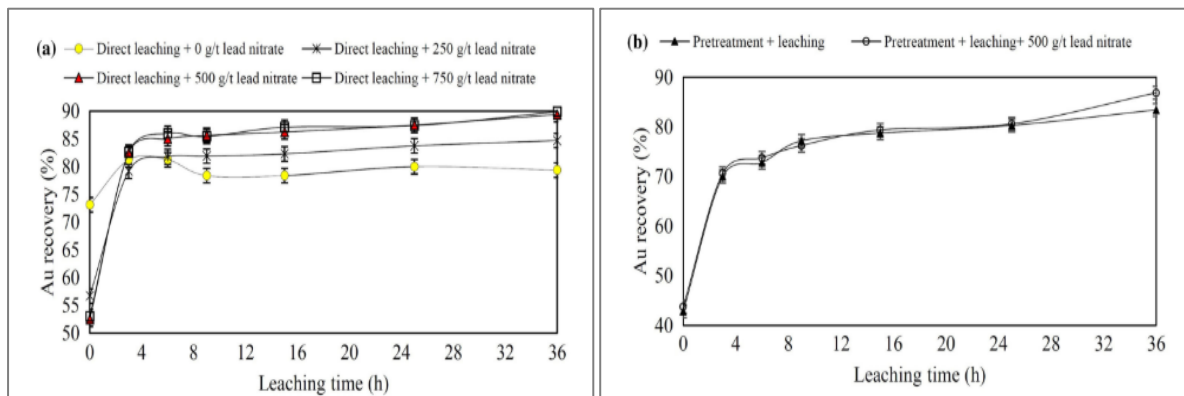
Se estudiaron los efectos combinados del pretratamiento oxidativo y la adición de nitrato de plomo en la cianuración de oro. Se llevaron a cabo pruebas en un recipiente agitado sumergido en un baño de agua durante 4 horas, a una temperatura controlada de 65 °C y una velocidad de agitación de 500 rpm. Se utilizaron muestras de pulpa con un 37% de sólidos, y se mantuvo el pH alrededor de 12 mediante la adición de cal. Se tomaron muestras de pulpa periódicamente para análisis de oro y otros elementos mediante ensayo de fuego e ICP.

Los resultados indicaron que agregar 500 g/t de nitrato de plomo incrementó la recuperación de oro en un 10%, pero mayores cantidades no tuvieron un efecto significativo adicional. El exceso de nitrato de



plomo puede incrementar el consumo de cianuro al oxidar el cianuro libre. Al final de la lixiviación, la concentración de oro en los relaves y la eficiencia de lixiviación fueron más altas en presencia de nitrato de plomo: 0.34 ppm y 89.4%, respectivamente, en comparación con 0.66 ppm y 79.4% sin agregar nitrato de plomo (Soltani et al., 2020).

**Figura 4** Efecto de la adición de nitrato de plomo en la cianuración del mineral de oro de Zarshuran y (b) efecto de la adición de nitrato de plomo en el pretratamiento + lixiviación del mineral de oro de Zarshuran.

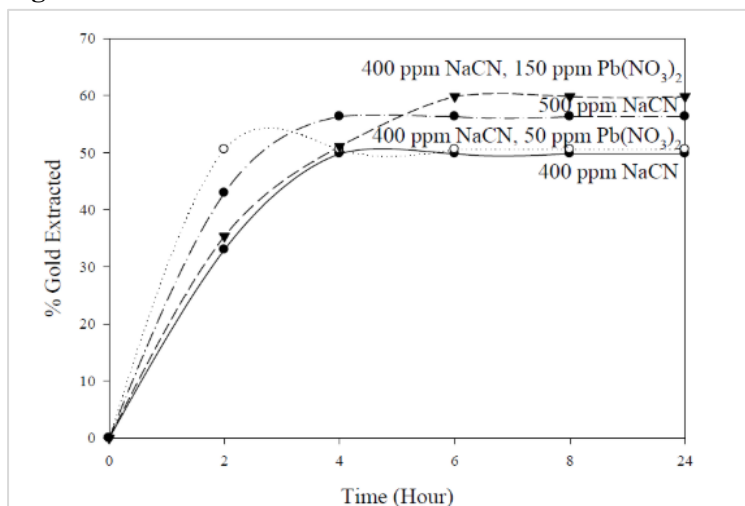


Nota. Tomada de (Soltani et al., 2020).

En relación al estudio realizado por Baharun et al. (2020), al en donde se empleó la adición de nitrato de plomo ( $Pb(NO_3)_2$ ) para contrarrestar los efectos negativos de los minerales sulfurados. Los resultados mostraron que añadir 150 ppm de  $Pb(NO_3)_2$  aumentó la recuperación de oro al 59.81%, en comparación con 50 ppm (49.79%) y el experimento de control sin  $Pb(NO_3)_2$ . Incluso con una concentración de 400 ppm de NaCN y 150 ppm de  $Pb(NO_3)_2$ , la extracción de oro fue superior que con 500 ppm de NaCN sin la adición de  $Pb(NO_3)_2$ . La reacción entre  $Pb(NO_3)_2$  y los minerales de sulfuro forma sulfuro de plomo, actuando como catalizador para su oxidación y evitando la pasivación del oro. Sin embargo, altas concentraciones de plomo pueden llevar a la pasivación de la superficie del oro.

Sin embargo, la adición de una cantidad suficiente de nitrato de plomo puede minimizar el consumo de cianuro por parte de los sulfuros al estabilizar su disolución y evitar la formación de una capa pasiva en el oro. La velocidad de disolución del oro aumentó con la adición de nitrato de plomo, ya que este no solo pasiva la superficie de los minerales de sulfuro, sino que también forma un precipitado en los granos de oro, dificultando su disolución (Baharun et al., 2020).

**Figura 5** Extracción de oro a diferentes concentraciones de  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$



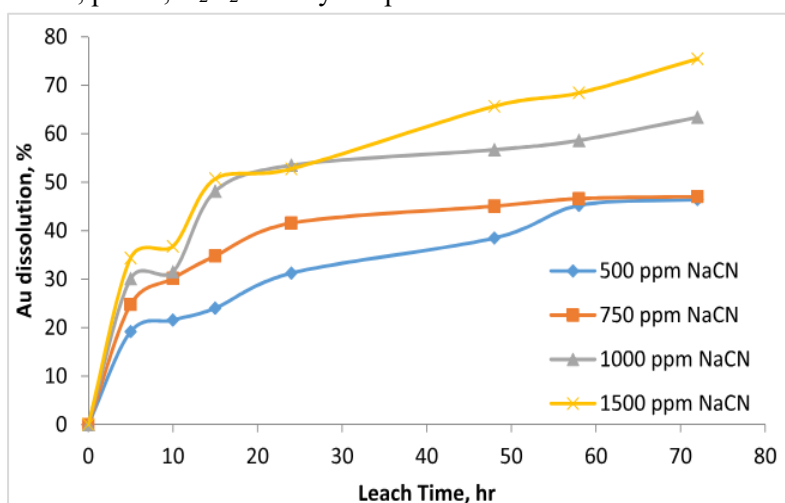
Nota. Tomada de (Baharun et al., 2020).

### Glicina

Barani et al, examinaron cómo la adición de glicina al lixiviante de cianuro afecta la disolución del oro y la concentración de cianuro. Se observó que la glicina aumentó significativamente la disolución del oro, especialmente a concentraciones de cianuro de 500 ppm, donde la disolución aumentó del 46.23% al 89.65% en 72 horas.

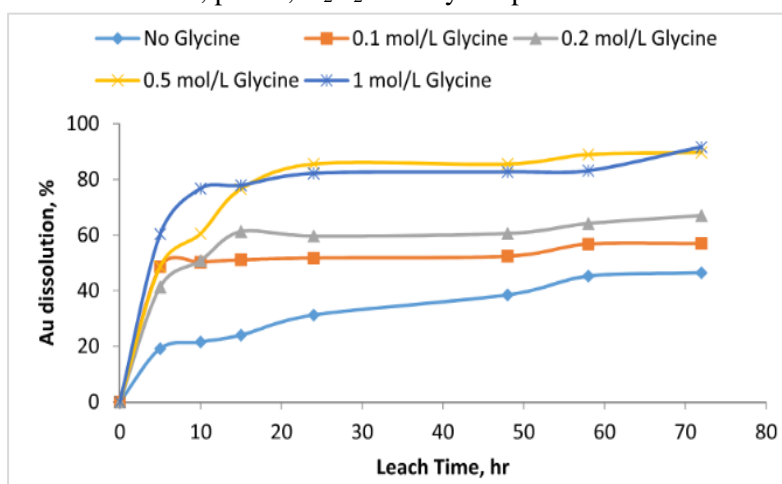
Además, la glicina permitió una mayor disolución de oro incluso a concentraciones más bajas de cianuro (200 ppm) en presencia de 0.5 mol/L, reduciendo el consumo de cianuro en más de un 80%.

**Figura 6** Disolución de Au por cianuro sin glicina en condiciones de lixiviación de 30% de contenido sólido, pH 11,  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 2% y temperatura ambiente.



Nota. Tomada de (Barani et al., 2021).

**Figura 7** Disolución de Au por glicina en condiciones de lixiviación de 500 ppm de cianuro, 30% de contenido sólido, pH 11, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 2% y temperatura ambiente.



Nota. Tomada de (Barani et al., 2021).

### Polímeros Surfactantes

Según estudios efectuados por (Botero Vargas, 2021), los cuales consistían en la aplicación de distintos tipos de surfactantes a un proceso de lixiviación de oro que utiliza cianuro, compara la fuerza de adhesión de cada reactivo con el esfuerzo requerido para lograr esa unión.

**Tabla 1.** Máximas extracciones obtenidas mediante cianuración en relación con  $W_{ADH}$

Reactivo	Concentración [ml/L <sub>agua</sub> ]	$W_{ADH} \left( \frac{mN}{m} \right)$	$A_{SLV} \left( \frac{mN}{m} \right)$	Máxima extracción de Au
-	0	95.25	9.87	1.895%
Oleato de potasio	1	104.15	27.57	2.495%
	2.5	95.57	31.53	3.558%
Etanol 70%	26.67	115.04	35.92	2.412%
	246.67	108.66	38.11	2.412%
Etilenglicol	53.33	108.16	25.00	2.018%
	246.67	109.87	35.33	1.596%
MIBC	2.67	134.13	53.80	4.056%
	13.33	98.23	40.30	3.676%
A65	2.67	113.12	38.93	2.094%
	10.67	110.91	40.49	3.917%
ARAMIN 1	0.2	119.75	36.36	3.22%
ARAMIN 4	0.4	126.52	42.93	4.25%
	1.4	145.26	52.61	3.60%
ARAMIN 2	0.4	132.44	49.07	4.46%
	0.8	144.33	59.63	3.39%

Nota. Tomada de (Botero Vargas, 2021).



Se puede observar que la alteración de las características de superficie del sistema oro en contacto con solución de cianuro, específicamente la tensión presente en la superficie, resulta en un incremento del trabajo de adhesión. Este aumento tiene un impacto positivo en la razón de extracción de oro mediante lixiviación, demostrando algunos resultados destacados que muestran hasta el doble de oro extraído. La fuerza de adhesión, la cual está directamente relacionada con las características superficiales como la fuerza superficial de la disolución y la medida del ángulo de contacto del sistema, actúan como variables clave que permiten controlar las propiedades de las soluciones. Esta fuerza de adhesión puede prever o determinar las condiciones óptimas para las pruebas de cianuración que resultan en una mayor extracción, y coincide con los valores de trabajo de adhesión máximos se encuentran dentro de los intervalos de concentración que han sido evaluados. Por lo tanto, se puede concluir que la modificación de los parámetros superficiales de una de las fases del sistema oro–solución en el proceso de cianuración, en esta situación la modificación de la fuerza superficial de la disolución de lixiviación, genera alteración en el equilibrio interfacial de tal manera que mejora el rendimiento de la cianuración.

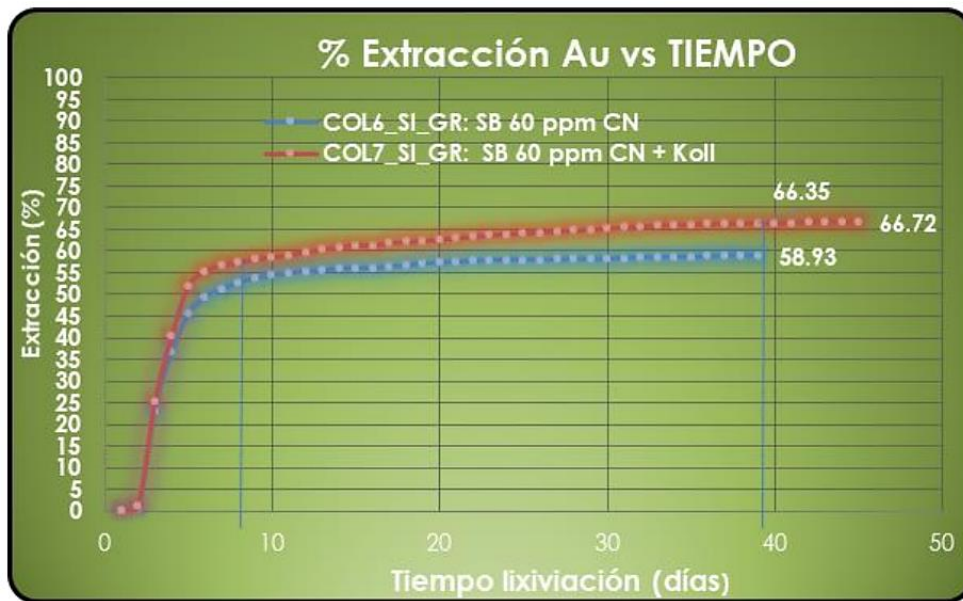
### **Mejoras en la cinetica de lixiviación con el uso de surfactante**

De acuerdo a la investigación de (Quiliche, 2022), Se realizó una investigación con el objetivo de mejorar la permeabilidad de la disolución de cianuro en la roca con contenido de oro refractario. Mediante la utilización de un nuevo surfactante no iónico llamado Kollasol STG LF, se obtuvo una respuesta positiva del 76%, confirmando así la hipótesis inicial al reducir la tensión superficial a un nivel técnicamente aceptable. Como resultado, se logró una extracción de oro un 7.81% mayor en comparación con la cianuración convencional, además de mejorar la cinética de lixiviación, lo que contribuye a la reducción del tiempo y del consumo de cianuro.

En la figura 8 se muestra de manera evidente que la prueba estándar en columna alcanza una extracción del 58.93% en un lapso de 39 días, mientras que con el uso del tensioactivo Kollasol STG LF se logra la misma extracción en el día 8. Además, se observa que mientras la prueba estándar finaliza su proceso de lixiviación en el día 39, la prueba con Kollasol STG LF sigue recuperando oro hasta el día 45, obteniendo una extracción total del 66.74%.



**Figura 8** Comparación de extracción de Oro con y sin surfactante Kollasol STG LF (Extracción vs tiempo).



Nota. Tomada de (Quiliche, 2022)

## Sulfatos de Alquilbenceno

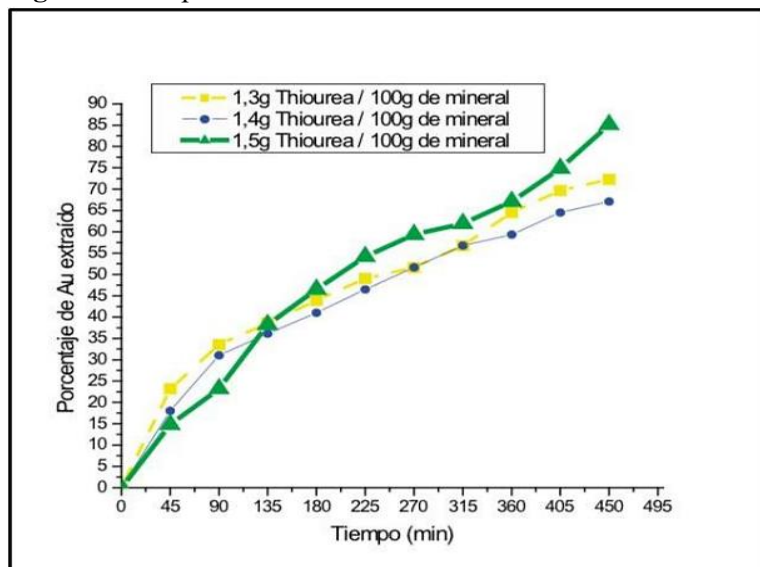
### Tiourea

La utilización de reactivos alternativos al proceso de lixiviación de Oro con cianuro es una de las opciones existentes para el aumento de recuperación de oro y la conservación del medioambiente.

Según (Abad-Lerma, 2020), se llevaron a cabo tres experimentos utilizando 100 g de material en cada uno, con concentraciones variables de 1.3, 1.4 y 1.5 g/L respectivamente. Estos ensayos se realizaron mediante agitación mecánica a 800 rpm y un pH entre 1.5 y 2.5, durante un período aproximado de 8 horas en condiciones normales. Se emplearon tres muestras con diferentes concentraciones de agente lixivante para este proceso. Se observó que el uso de tiourea mostró una notable disolución del mineral durante las primeras 8 horas, obteniendo una mayor recuperación del mismo a medida que avanzaba el tiempo y aumentaba el pH.

Se encontró que la recuperación porcentual aumentaba progresivamente al mantener un pH entre 1.8 y 2.5, siendo la concentración de 1.5 g/L del agente lixivante la que producía una mejor recuperación.

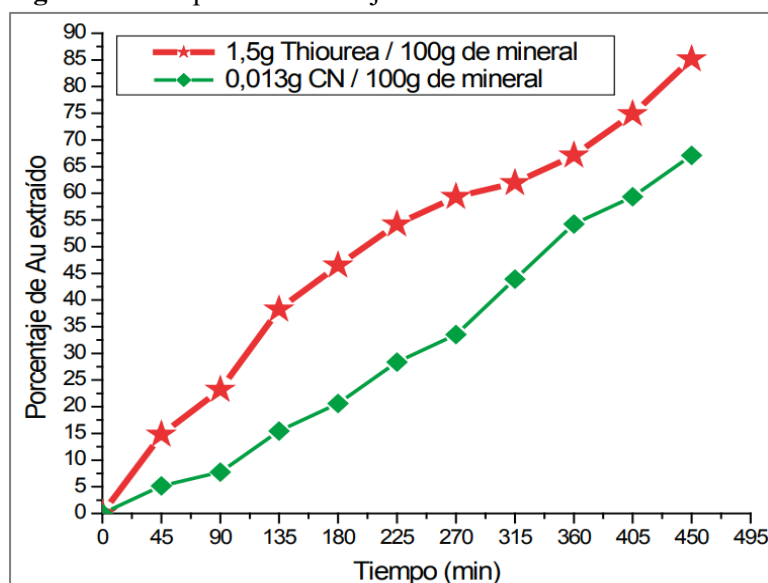
**Figura 9** Recuperación de oro mediante el uso de tiourea



Nota. Tomada de (Abad-Lerma, 2020).

Las pruebas de lixiviación realizadas por (Santamaría Roncancio et al., 2013) utilizando cianuro durante un periodo de ocho horas arrojan un rendimiento de recuperación de oro del mineral aproximado del 68.78%, mientras que con tiourea alcanzan un rendimiento del 87.27%. Esta mejora se atribuye al hecho de que la reacción de la tiourea se completa en un tiempo más corto que la del cianuro. Por lo tanto, en este estudio se concluye que la tiourea se muestra como un agente lixivante más efectivo tal y como está presente en la figura 10.

**Figura 10** Comparación de mejores resultados de Tiourea vs Cianuración.



Nota. Tomada de (Santamaría Roncancio et al., 2013).

Según un estudio por (Olyaei et al., 2019) se realizaron pruebas de cianuración convencional y lixiviación ácida utilizando tiourea, con el fin de compararlas en términos de criterios vitales como la

extracción de oro, la cinética de disolución del oro, el consumo de reactivos y la toxicidad. La Tabla 3 presenta los datos de extracción de oro, tasas y condiciones de lixiviación tanto para la lixiviación con cianuro como con tiourea. En ambos procesos, se logró recuperar más del 90% del oro, lo cual se considera un rango aceptable y económico para la extracción de este metal. En este contexto, se encontró que la aplicación del proceso de lixiviación con cianuro fue efectiva y económica, alcanzando una recuperación del 95.21% con un consumo de 1.23 kg/h de NaCN y 2 kg/h de cal en un periodo de 12 horas. Por otro lado, la lixiviación con tiourea logró una recuperación del 90%, lo que si bien es técnicamente posible, no pudo competir con la cianuración para el mineral de oro de Hamzeh-Qarnein en términos económicos, debido al mayor consumo de reactivo necesario para la recuperación del oro. Sin embargo, las propiedades no tóxicas y la rápida velocidad de disolución fueron las principales ventajas de la lixiviación con tiourea en comparación con la cianuración. Los resultados experimentales indicaron una tasa de disolución del oro más rápida con la tiourea, con aproximadamente 7 horas menos que la cianuración para alcanzar la misma extracción de oro. Sin embargo, esto conllevó un consumo relativamente mayor de tiourea y sulfato férrico, lo que hace que la lixiviación con tiourea sea un método más costoso en comparación con la cianuración para este tipo de mineral. A pesar de esto, se logró una extracción del 90.47% de oro mediante la lixiviación con tiourea, lo que sugiere que este proceso puede considerarse como una alternativa adecuada debido a sus ventajas ambientales sobre la cianuración.

**Tabla 2.** Comparación de cianuración y lixiviación ácida utilizando tiourea.

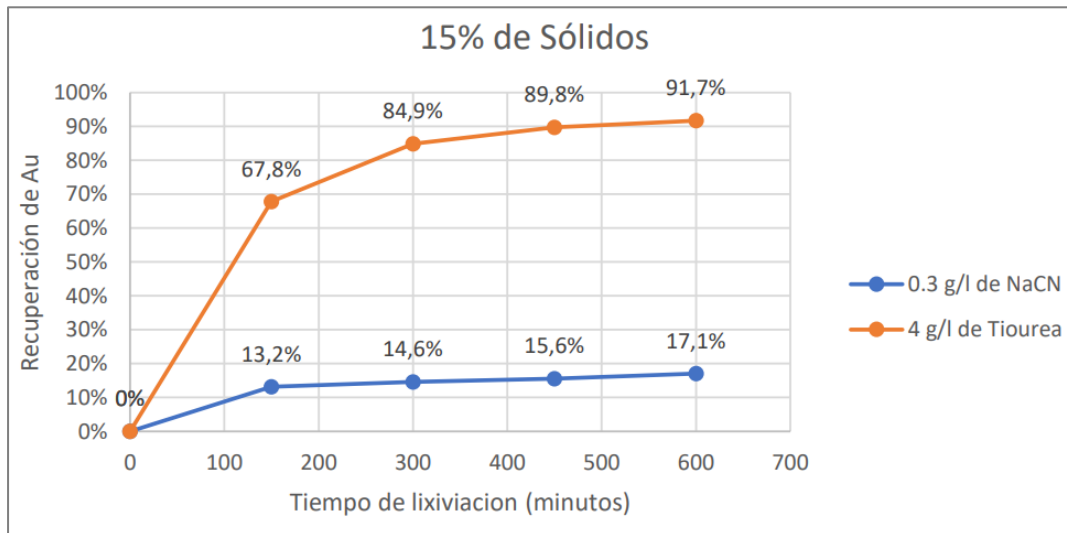
Descripción	Cianuración	Lixiviación ácida con tiourea
Tamaño de alimentación ( $d_{80}$ )	63 micras	63 micras
pH	10.6	1.7
Tiempo de lixiviación	12 horas	5 horas
Consumo de reactivos	1.23 $\frac{kg}{h}$ NaCN	13.32 $\frac{kg}{t}$ Tiourea 47.34 kg/h $Fe_2(SO_4)_3$ 2 $\frac{kg}{t}$ Cal
Porcentaje sólido	40%	40%
Cinética constante	$k=0.59$	$k = 0.87$
Recuperación	95.21 %	90.47 %

Nota. Tomada de (Olyaei et al., 2019).

En las figuras 10 y 11 se hace una comparación de la recuperación de oro usando tiourea vs cianuración, tomando en cuenta diferencias de concentraciones de sólidos se mostraron resultados diferentes en cuanto a la recuperación del metal.

En la figura 10 se observa que la tiourea logra una recuperar el 91.7 %, mientras que el cianuro alcanza un 17.1 %. Esto indica que la tiourea permite recuperar aproximadamente 5.36 veces mayor cantidad de oro que el cianuro, con una variación significativa de recuperación de oro del 74.6%.

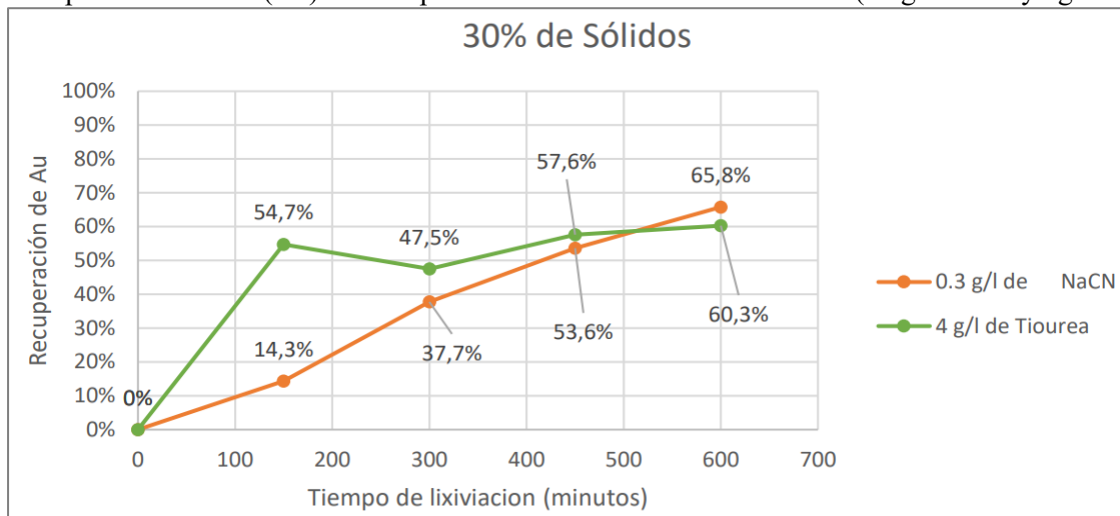
**Figura 11** Recuperación de Au vs Tiempo de lixiviación en 15% de sólidos (0.3g/l NaCN y 4g/l Tiorurea)



Nota. Tomada de (Lalvay, 2023).

En la figura 11, se observa que el cianuro permite el 65.8% de recuperación de Au, mientras que el uso de tiourea logra alcanzar un 60.3%, lo que implica que el cianuro tiene una variación de un 5.5% más de oro. Es relevante destacar que a inicios de los 500 minutos el uso tiourea es superado por el cianuro en términos de recuperación, ya que anterior a ese tiempo la tiourea muestra una tasa de recuperación mayor que la del cianuro.

**Figura 12** Recuperación del oro (Au) vs Tiempo de lixiviación en 30% de sólidos (0.3g/l NaCN y 4g/l Tiorurea)



Nota. Tomada de (Lalvay, 2023).



## CONCLUSIONES

A nivel mundial existen muchos artículos científicos que tratan el tema de lixiviación de oro y las nuevas investigaciones no sustituyen a las anteriores sino que coexisten, sin embargo son pocas las que se han dedicado a estudiar acerca de reactivos que ayuden a reducir el uso de cianuro haciendo difícil mantenerse actualizado.

Nuestra revisión sistematizada ofrece una perspectiva integrada sobre los recientes avances en la mejora de la cianuración de oro. La selección y análisis inicial de estos datos nos ha proporcionado una visión general de los reactivos empleados, las técnicas de optimización y los resultados alcanzados, estableciendo así la base para el análisis cualitativo posterior que hemos planteado.

El proceso de lixiviación de oro con cianuro, a pesar de su eficiencia y bajo costo, presenta serios riesgos ambientales y de salud debido a la alta toxicidad del cianuro. Por ello, se han investigado alternativas y mejoradores del proceso de cianuración para reducir el uso de cianuro y minimizar sus impactos negativos. Esta revisión bibliográfica ha identificado varios reactivos que pueden optimizar la lixiviación de oro con cianuro como el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) que actúa como un oxidante adicional, mejorando la recuperación de oro en condiciones de baja oxigenación. El nitrato de plomo ( $Pb(NO_3)_2$ ) estabiliza la disolución de sulfuros y evita la pasivación del oro, incrementando así la eficiencia del proceso. Sin embargo, debe ser usado en concentraciones adecuadas para evitar la pasivación de la superficie del oro. La glicina incrementa significativamente la disolución del oro y reduce el consumo de cianuro, demostrando ser una adición efectiva incluso en bajas concentraciones de cianuro. Los polímeros surfactantes alteran las propiedades superficiales del sistema oro/solución de cianuración, aumentando la tensión de adhesión y, por ende, la velocidad de lixiviación del oro.

Estos reactivos no solo mejoran la eficiencia de la lixiviación del oro, sino que también contribuyen a una operación más segura y sostenible al reducir la cantidad de cianuro necesario. La implementación de estos mejoradores puede representar un avance significativo en la industria minera, ofreciendo una alternativa más ecológica y segura sin comprometer la eficacia del proceso.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abad-Lerma, J. (2020). Evaluación de dos procesos de extracción de oro diferentes al de cianuración que cumplan las normativas ambientales establecidas en Ecuador. 1–30.
- Anticoi, H., & Alfonso, P. (2011). Procesamiento sostenible del oro en San Cristóbal, sur del Perú. *Patrimonio Geomiro, Geología y Minería Ambiental de Bolivia*, 32.
- Baharun, N., Ling, O. P., Ardani, M. R., Ariffin, K. S., Yaraghi, A., Abdullah, N. S., Putra, T. A. R., & Ismail, S. (2020). Effect of hydrogen peroxide and lead(II) nitrate on gold cyanide leaching of Malaysian mesothermal deposit gold ore. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 56(5), 905–918. <https://doi.org/10.37190/PPMP/126629>
- Barani, K., Dehghani, M., Azadi, M. R., & Karrech, A. (2021). Leaching of a polymetal gold ore and reducing cyanide consumption using cyanide-glycine solutions. *Minerals Engineering*, 163(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.106802>
- Botero Vargas, Y. (2021). Estudio de mecanismos de cianuración de oro considerando interacciones fisicoquímicas de interfase.
- Franco, G., Bolívar, R., Kelly, ;, Barrios Barrios, J., Eliecer, G., Ochoa, V., Luis, ;, & Obregon Quiñones, G. (2017). Evaluación del desempeño estudiantil mediante una herramienta computacional y guía teórico-práctica en la operación unitaria lixiviación Assessment of student performance using a computational tool and theoretical-practical guide in the leaching unitary operation Contenido. Pág, 38.
- Fernández C., F. (2024). Determinación De Erodabilidad En Áreas De Influencia Cuenca Poopo Región Andina De Bolivia. *Horizonte Académico*, 4(4), 63–78. Recuperado a partir de <https://horizonteacademico.org/index.php/horizonte/article/view/19>
- Galvan Lira, J. M., Soria Aguilar, Ma. de J., Carrillo Pedroza, F. R., & Aguilera González, E. N. (2023). Una Comparación de Reactivos Alternos al Cianuro como Lixiviantes del Oro: Una revisión. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 2410–2434. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i6.8864](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.8864)
- Gutarra Bernaola, A. R., & Lovera Dávila, D. F. (2023). Recuperación de oro de minerales auríferos refractarios, la importancia de la caracterización mineralógica y el efecto del oxígeno en la



- lixiviación ácida. Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, 26(51), e25031. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i51.25031>
- Lalvay, D. (2023). “ Recuperación de oro con cianuro sódico y tiourea como agentes lixiviantes , variando fracción de sólidos , concentraciones y tiempo .”
- Machuca, D., & Hervás, M. (2014). Operaciones unitarias y proceso químico. IC Editorial, 1a Edición, 30.
- Milena, L., Torres, L., Daniela, A., Morales, S., & Correa Mahecha, F. (2018). Variables Influyentes En El Proceso De Lixiviación Para La Recuperación De Metales Contenidos En Lodos Galvánicos. Revista Semilleros: Formación Investigativa, 4.
- Mudder, T. I., Michael, M., Botz, P. E., & Smith, A. (n.d.). Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes SECOND EDITION.
- Martínez Ortiz, C. (2023). Critical and Creative Skills in Mexican Education: An Innovative Approach. Revista Veritas De Difusão Científica, 4(1), 30–51. <https://doi.org/10.61616/rvdc.v4i1.36>
- Medina Nolasco, E. K., Mendoza Buleje, E. R., Vilca Apaza, G. R., Mamani Fernández, N. N., & Alfaro Campos, K. (2024). Tamizaje de cáncer de cuello uterino en mujeres de una región Andina del Perú. Arandu UTIC, 11(1), 50–63. <https://doi.org/10.69639/arandu.v11i1.177>
- Olyaei, Y., Noparast, M., Tonkaboni, S. Z. S., Haghi, H., & Amini, A. (2019). Response of low-grade gold ore to cyanidation and thiourea leaching. Particulate Science and Technology, 37(1), 86–93. <https://doi.org/10.1080/02726351.2017.1343881>
- Ortiz Barreto, J. A., Aramburú Rojas, V. S., Orihuela Salazar, L. A., Gomez Ugarte, J. R., Tafur Figueroa, L. S., Choque Perez, W. L., & Aguilar Zevallos, S. E. (2023). Caracterización y lixiviación ecológica para recuperar metales preciosos en relaves de amalgamación – Puno. Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, 26(52), e25358. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i52.25358>
- Oyarvide Estupiñán, N. S., Tenorio Canchingre, E., Oyarvide Ibarra, R. T., Oyarvide Ramírez, H. P., & Racines Alban, T. (2024). Factores influyentes para el uso de herramientas digitales en estudiantes universitarios. Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano, 5(2), 346–366.



<https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v5i2.141>

- Pardave, W., & Beltran, A. (2007). Lixiviación de mineral aurífero de vetas santander, con sales oxidantes en medio ácido. *Universidad Tecnológica de Pereira*, 1(36), 855–860.
- Quiliche, I. (2022). Mejoramiento De La Percolabilidad Con El Uso Del Kollasol Stg Lf Y La Recuperación De Oro En La Unidad Minera Pucamarca Insur - Tacna.
- Ramírez, A. V. (2010). Cyanide toxicity. Bibliography research of its effects in animals and man. In *An Fac med* (Vol. 71, Issue 1).
- Rojas Alarcón, N. E., Farfán Pimentel, J. F., Delgado Arenas, R., Sanabria Rojas, L. G., & Fuertes Meza, L. C. (2024). Gestión Administrativa y Habilidades Blandas en Docentes de una Institución Educativa. *Estudios Y Perspectivas Revista Científica Y Académica*, 4(1), 2406–2420. <https://doi.org/10.61384/r.c.a.v4i1.192>
- Saldaña, M., Neira, P., Gallegos, S., Salinas-Rodríguez, E., Pérez-Rey, I., & Toro, N. (2022). Mineral Leaching Modeling Through Machine Learning Algorithms – A Review. *Frontiers in Earth Science*, 10(April), 1–6. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.816751>
- Santamaría Roncancio, J. I., Torres Gómez, R. D. J., Parra Pinilla, M., & Ortiz Otálora, C. A. (2013). Comparación de cianuro y tiourea como agentes lixiviantes de un mineral aurífero colombiano. *Revista Facultad De Ingeniería*, 22(34), 97. <https://doi.org/10.19053/01211129.2222>
- Soltani, F., Marzban, M., Darabi, H., Aazami, M., & Hemmati Chegeni, M. (2020). Effect of Oxidative Pretreatment and Lead Nitrate Addition on the Cyanidation of Refractory Gold Ore. *Jom*, 72(2), 774–781. <https://doi.org/10.1007/s11837-019-03859-0>
- Torres, J. (2009). “Determinación del nivel de contaminación del aire con cianuro en un proyecto minero de extracción de oro por la técnica de lixiviación.”
- Torres, K. (2018). *Electro-Lixiviación De Oro Utilizando Tiosulfato De Sodio Como Agente Lixivante*. Universidad del Azuay.
- Zanbak, C. (2012). Heap Leaching Technique in Mining Within the Context of Best Available Techniques (BAT). *Euromines*, 1(November 2012), 33. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36374.86081>

