

**CIENCIA
Y TECNOLOGÍA**

Science and Technology

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE ADICIÓN DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO COMO AGENTE OXIDANTE EN EL PROCESO DE LIXIVIACIÓN CIANURADA PARA MEJORAR LA EXTRACCIÓN DE ORO

WASHINGTON OMAR ESPINOZA RAMON*
<https://orcid.org/0000-0003-4151-2347>

BRAULIO ABSALÓN MADRID CELI
<https://orcid.org/0000-0002-8494-1304>

GARY HITLER MUÑOZ BRAVO
<https://orcid.org/0000-0001-5860-8244>

CARMÍN AYDEE DE GRACIA PÉREZ
<https://orcid.org/0000-0003-2079-9748>

SUSANA ELIZABETH BLACIO TORO
<https://orcid.org/0000-0003-0619-9578>

Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud,
Universidad Técnica de Machala, Ecuador

Recibido: 3 de marzo del 2026 / Aceptado: 31 de marzo del 2026

Publicado: 15 de junio del 2026

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2026.n50.8636>

RESUMEN. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) como agente oxidante en la lixiviación cianurada para mejorar la recuperación de oro. Se realizaron tres pruebas adicionando progresivamente tres volúmenes diferentes de H_2O_2 al 50 % (60 mL, 75 mL y 90 mL) durante las 12 horas de proceso y tres volúmenes de cianuro de sodio (NaCN) (198, 188 y 158 mL). Para el control, se adicionó 198 mL de NaCN (10%).

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

* Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: wespinoza@utmachala.edu.ec; bmadrid@utmachala.edu.ec; gmunoz@utmachala.edu.ec; cgracia@utmachala.edu.ec; sblacio@utmachala.edu.ec

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Se pudo observar que, al incrementar progresivamente la adición de H_2O_2 en un 25 %, disminuía el consumo de NaCN y se incrementaban los contenidos de oro (Au) total. Los consumos de NaCN en el control fueron de 256 y disminuyó en P1: 198, P2: 188 y P3: 158 mL/h. La recuperación de Au se realizó utilizando carbón activado para la adsorción del metal. En el control, se obtuvieron 1,82 g/m³, prueba 1: 1,86, prueba 2: 2,05 y prueba 3: 2,75 g/m³. En conclusión, la adición de H_2O_2 favorece la disminución del consumo de NaCN en el proceso e incrementa en un 51 % los porcentajes de recuperación de Au con respecto al control.

PALABRAS CLAVE: adsorción / cianuración / oro / peróxido de hidrógeno / cianuro de sodio

EVALUATION OF THE EFFECT OF ADDING HYDROGEN PEROXIDE AS AN OXIDIZING AGENT IN THE CYANIDE LEACHING PROCESS TO IMPROVE GOLD RECOVERY

ABSTRACT. The objective of this study was to evaluate the effect of adding hydrogen peroxide (H_2O_2) as an oxidizing agent in cyanide leaching to improve gold recovery. Three tests were conducted, progressively adding three different volumes of 50 % H_2O_2 (60, 75, and 90 mL) over the 12-hour process, along with three volumes of NaCN (198, 188, and 158 mL). A control of 198 mL of NaCN (10 %) was added. It was observed that increasing the H_2O_2 addition decreased NaCN consumption and increased total gold content. The recovery was carried out using activated carbon to adsorb the metal. In the control, 1,82 g/m³ was obtained; in test 1, 1,86 g/m³; in test 2, 2,05 g/m³; and in test 3, 2,75 g/m³. NaCN consumption decreased to: control 256 mL/h, test 1: 198 mL/h, test 2: 188 mL/h, and test 3: 158 mL/h. The increase in H_2O_2 was 25 % in each of the tests. In conclusion, the addition of hydrogen peroxide favors a decrease in NaCN consumption in the process and increases the Au recovery percentages.

KEYWORDS: adsorption / cyanidation / gold / hydrogen peroxide / sodium cyanide

INTRODUCCIÓN

El oro es un metal precioso, tradicionalmente conocido por sus usos en joyería, como conector eléctrico y como moneda. En los últimos tiempos, el oro se ha utilizado cada vez más como conector eléctrico resistente a la corrosión en ordenadores y otros dispositivos eléctricos (Karppinen et al., 2024). Los recursos minerales del mundo que contienen oro (Au) se están agotando, lo que ha despertado el interés en minerales de baja ley y de composición compleja. El mineral de baja ley de Au se refiere a rocas complejas que contienen concentraciones relativamente bajas de oro; normalmente, contiene entre 1-5 gramos de Au por tonelada (g/t) (Costa et al., 2022). A medida que disminuye el contenido de oro en los minerales y aumentan los costes económicos y medioambientales de la energía, los métodos de extracción de metales menos intensivos en energía resultan cada vez más atractivos (Surimbayev et al., 2024). El procesamiento de minerales de baja ley ofrece un enfoque sistemático para caracterizar yacimientos minerales y residuos mineros con el fin de identificar vías de procesamiento adecuadas y predecir su comportamiento potencial durante el tratamiento (Baloyi et al., 2024).

La composición química de los minerales de baja ley de oro, generalmente, son ricos en pirita (FeS_2), arsenopirita (FeAsS), grafito, galena (PbS), calcopirita (CuFeS_2), cuarzo (SiO_2) y varios metales en formas de traza como arsénico (As), plomo (Pb), cobre (Cu), antimonio (Sb), telurio (Te), plata (Ag), zinc (Zn), bismuto (Bi), selenio (Se), mercurio (Hg) y oro (Au). Ello los convierte en una fuente atractiva de recursos (Baloyi et al., 2024). La extracción de Au es un proceso crucial en la industria minera, donde la lixiviación cianurada se destaca como uno de los métodos más comunes para recuperar este valioso metal a partir de minerales de baja ley. Históricamente, el cianuro ha sido el reactivo predominante en la lixiviación de oro debido a su efectividad en disolver y extraer el metal precioso de los minerales. Sin embargo, su uso plantea serias preocupaciones ambientales y de salud pública debido a su toxicidad y al riesgo de contaminación de cuerpos de agua y suelos (Zhang, Cui, Wang et al., 2022).

En ese sentido, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la adición de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) como agente oxidante y la disminución del consumo de cianuro de sodio (NaCN) en la lixiviación del Au con el fin de incrementar los porcentajes de extracción en minerales de baja ley.

METODOLOGÍA

Para evaluar el efecto de la adición de peróxido de hidrógeno en la lixiviación cianurada de oro, se utilizó mineral de mena molido ($\leq 250 \mu\text{m}$) de baja ley de oro ($\approx 5 \text{ g/t}$), cuyos componentes principales son cuarzo (SiO_2) 50 % y pirita (FeS_2) 3 % —proporcionados por la Sociedad Minera Exycominsur (El Oro, Ecuador)—, hidróxido de sodio (NaOH , 99 %), cianuro (CN) (100 %), peróxido de hidrógeno (H_2O_2) (50 %), nitrato de plata (AgNO_3) (100 %) y yoduro de potasio (KI) (100 %).

Tabla 1*Diseño del experimento de lixiviación*

Experimentos	mL		Au
	NaCN (10 %)	H ₂ O ₂ (50 %)	(g/m ³)
Control	98 mL	0 mL	X
Prueba 1	98 mL	10 mL	X
Prueba 2	98 mL	30 mL	X
Prueba 3	98 mL	50 mL	X

Por la composición del mineral de baja ley (5 g/t) utilizado en este proceso, se adicionaron bajos volúmenes de H₂O₂, tal como lo sugieren investigaciones en las zonas mineras del sur de Ecuador. Estas señalan que, utilizando bajas concentraciones de este reactivo, lograron obtener incrementos en los porcentajes de recuperación de oro desde 48,52 % al 68,85 % (Flores et al., 2025; Valarezo Tenesaca et al., 2024).

Para establecer la eficiencia del proceso de lixiviación se utilizaron las variables que a continuación se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2*Variables de la investigación*

Variables	Volumen
Controlada	NaOH 10 % (98 mL)
Independiente	H ₂ O ₂ 50 % (0-50 mL)
Dependiente	[Au] g/M ³

El propósito de esta secuencia de pruebas es identificar la concentración óptima de H₂O₂ que maximiza la disolución del oro sin causar una degradación excesiva del cianuro y reducir su consumo.

Pretratamiento del mineral de baja ley

Se realizó una reducción de tamaño de partícula mediante fraccionamiento mecánico utilizando un molino de bolas (Metso plus) durante dos horas hasta llegar a pulverizar el material (250 µm). Luego, se realizó un lavado y, posteriormente, se dejó sedimentar el material.

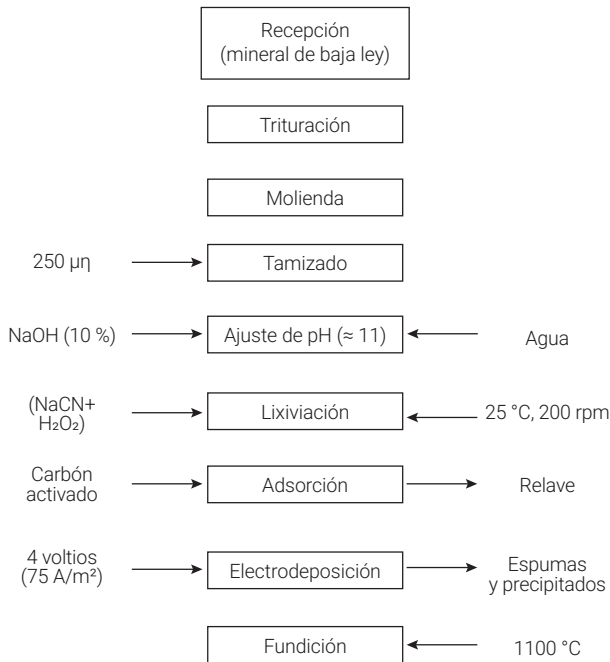
Proceso de lixiviación

Se preparó una solución acuosa de mineral al 30 %, la cual se mantuvo en agitación constante a 200 rpm. Posteriormente, se ajustó el pH ≈ 11 mediante la adición de una solución de NaOH al 10 % con el objetivo de mantener activo el ion CN⁻, disolver el oro y evitar la

formación de gases tóxicos (HCN). A continuación, en la Figura 2 se presenta el diagrama que muestra el procedimiento desarrollado para la extracción de oro.

Figura 2

Diagrama de flujo del proceso de lixiviación cianurada para la extracción de oro



Una vez receptado el mineral de baja ley (5 g/m^3), se realizó la trituración, donde el mineral se fragmenta en tamaños más pequeños. Luego, pasó a la molienda, una etapa más fina que permite aumentar considerablemente el área superficial. Esto es esencial, ya que incrementa el área de contacto entre el oro y las soluciones químicas que se utilizarán.

Una vez obtenido el material molido, este es sometido a tamizado asegurando que las partículas tengan un tamaño aproximado de $\leq 250 \mu\text{m}$. Trabajar con este tamaño de partícula es importante porque influye directamente en la eficiencia de la lixiviación. La solución que ingresa a lixiviación debe tener un pH adecuado para evitar la formación de gases, de reacciones parasitarias y de HCN tóxico. Para ello, se ajusta el pH. En esta etapa, se adiciona NaOH (10 %) y el agua debe alcanzar un $\text{pH} \approx 11$.

Con el pH controlado, se da paso a la lixiviación, una etapa esencial del proceso. Aquí, se agrega un volumen inicial de 98 mL de solución de cianuro de sodio (NaCN) junto con un volumen de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) que actúa como agente oxidante. De preferencia, la temperatura debe mantenerse a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ con agitación constante de 200 rpm.

La solución rica en Au se dirige luego a la adsorción, donde se utiliza carbón activado para retener el oro disuelto.

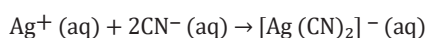
Métodos analíticos

Determinación de pH

La lectura del pH de las soluciones lixiviantes que contuvieron cianuro de sodio y peróxido de hidrógeno se realizó mediante un multiparámetro *edge®* (Hanna Instruments, EE. UU.) provisto de electrodo de pH de vidrio para evitar deterioro por el alto valor de pH (Duru & Nesbitt, 2021).

Cuantificación de cianuro (método Liebig)

El método Liebig se fundamenta en la formación del complejo dicianoargentato de la reacción del ion plata con el cianuro. A continuación, en la siguiente ecuación, se presenta la reacción estequiométrica de este proceso (Duru & Nesbitt, 2021; Senanayake, 2006):



Después de una hora de proceso, se toma la primera alícuota de 10 mL de la solución en análisis para realizar la titulación y calcular el cianuro libre en la lixiviación. Se utiliza AgNO_3 como reactivo y KI como indicador. Inicialmente, filtramos la alícuota para eliminar impurezas y la vertemos en un matraz limpio. Luego, añadimos tres gotas de KI. Posteriormente, agregamos la solución de AgNO_3 gota a gota, mezclando bien tras cada adición, hasta observar un cambio de color de transparente a amarillo tenue, lo cual indica el punto final de la titulación. En ese momento, registramos el volumen de AgNO_3 utilizado, dato esencial para calcular la concentración de cianuro libre en la muestra (Nava-Alonso et al., 2007).

Cuantificación de oro durante el proceso de lixiviación

La digestión de la muestra se realizó utilizando agua regia. Por cada gramo de muestra tostada, se añadió 50 mL de reactivo (Wang et al., 2025).

Para la determinación cuantitativa de oro total, se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica a la llama (Shimadzu AA.7800) que permite medir la concentración de analito de interés en una solución. El oro se determinó a una longitud de onda de 242,8 nm tal como lo establece el Standard Method 3111: Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS) (Buitrón et al., 2021).

Cuantificación de oro total

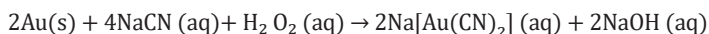
La mezcla se calentó a 1100 °C durante dos horas, utilizando como fundente bórax (1:1 en relación al concentrado) para permitir las transformaciones químicas deseadas. Esta configuración tuvo como objetivo reducir los compuestos de Au a Au elemental y eliminar las impurezas.

Análisis de varianza (ANOVA)

Para establecer si existió una diferencia significativa ($p \leq 0,05$) en la obtención de oro total entre las medias de los experimentos estudiados, se realizó un análisis de varianza unidireccional. Para determinar si los experimentos diferían entre sí, se utilizó la prueba HSD de Tukey.

RESULTADOS

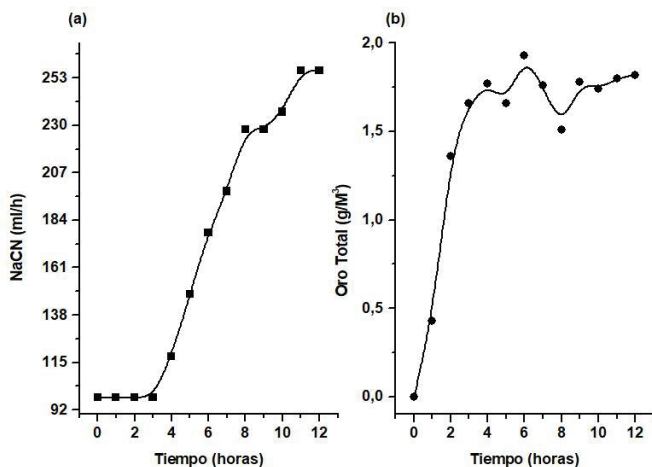
La lixiviación de oro con cianuro de sodio se desarrolló adicionando tres volúmenes diferentes de H_2O_2 al 50 % (60 mL, 75 mL y 90 mL), el cual actúa como un fuerte oxidante en este proceso (Kenzhaliyev et al., 2023). A continuación, se muestra la reacción de este proceso.



En este proceso, fue esencial mantener la solución a $pH \approx 11$ para mejorar la solubilidad, prevenir la precipitación del metal de interés y minimizar reacciones parasitarias. A continuación, en la Figura 3, se presentan los comportamientos de los consumos de NaCN durante el tiempo de lixiviación de Au en la muestra control.

Figura 3

Consumo de NaCN durante el proceso de lixiviación



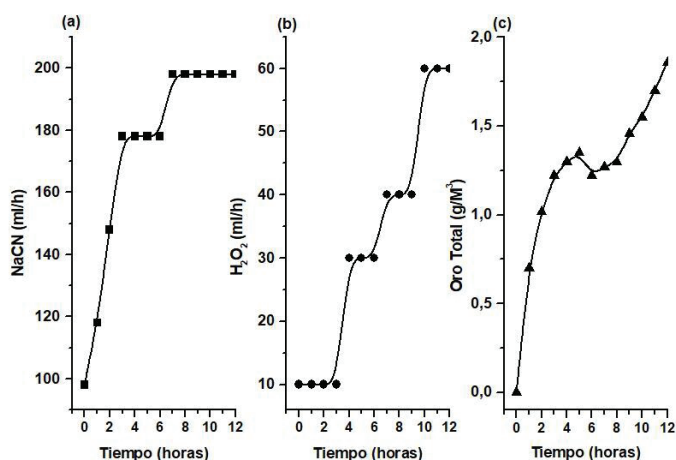
Se observa que el consumo de NaCN, durante las tres primeras horas de proceso, se mantiene en 98 mL/h (a). Luego, experimenta un consumo constante durante ocho horas de lixiviación y se estabiliza en 256,5 mL/h, con lo cual alcanza 1,82 g/m³ de oro total (b). Ello indica que a mayor adición de NaCN, mayor concentración de oro total.

Efecto de la adición de H_2O_2 para reducir el consumo de NaCN

En la prueba 1, la adición de H_2O_2 incrementa la velocidad de lixiviación al ser un oxidante más fuerte que el oxígeno. A continuación, en la Figura 4, se muestra el efecto de la adición de H_2O_2 en la concentración de oro obtenido.

Figura 4

Consumo de NaCN (a), adición de H_2O_2 (b) y obtención de oro total (c)

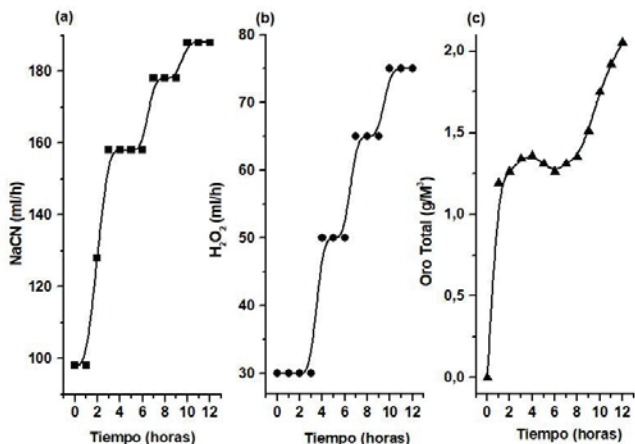


Se puede ver que el consumo de NaCN es creciente durante las tres primeras horas y el consumo de H_2O_2 es constante (10 mL), lo que indica que a mayor adición de NaCN, menor consumo de oxidante. La disminución en el consumo de NaCN fue de 22,8 %, debido a la adición de 60 mL de H_2O_2 al 50 % con respecto al control, y la obtención de oro total aumentó un 2,19 %. Para ajustar el pH de la solución (≈ 11), se adicionó 20 mL de solución de hidróxido de sodio al 10 % y se mantuvo constante.

En la prueba 2, la adición de un volumen medio de H_2O_2 (50 %) ha demostrado reducciones significativas en el consumo de NaCN e incrementos significativos en la obtención de oro total con respecto a los experimentos sin adición de oxidante. A continuación, en la Figura 5, se presentan los valores de oro final obtenido.

Figura 5

Consumo de NaCN (a), adición de H₂O₂ (b) y obtención de oro total (c)

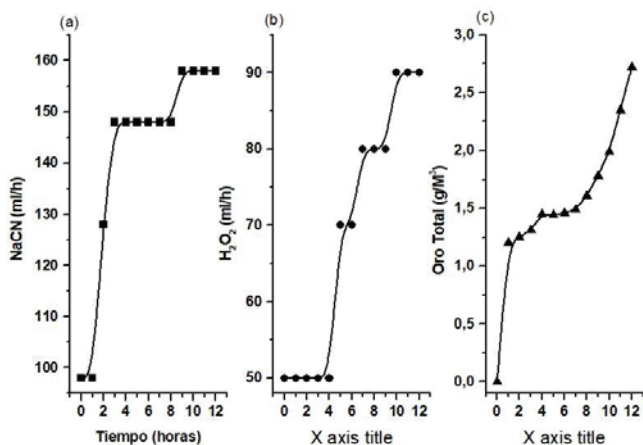


En esta figura, se puede apreciar que la adición de una concentración media de peróxido de hidrógeno (30 mL) durante las cuatro primeras horas de lixiviación favorece la liberación de oro desde el mineral al medio lixiviente. En esta prueba, se puede establecer que, al adicionar un volumen final de 75 mL de solución de H₂O₂ al 50 %, el consumo de NaCN disminuye un 26,7 % y el oro total aumenta en 12,63 % con respecto al control.

La prueba 3 (Figura 6) muestra los resultados de los efectos de la adición de 90 mL de solución de peróxido de hidrógeno, el mayor volumen de concentración de las tres pruebas, durante doce horas de lixiviación cianurada para la extracción de oro.

Figura 6

Consumo de NaCN (a), adición de H₂O₂ (b) y obtención de oro total (c)



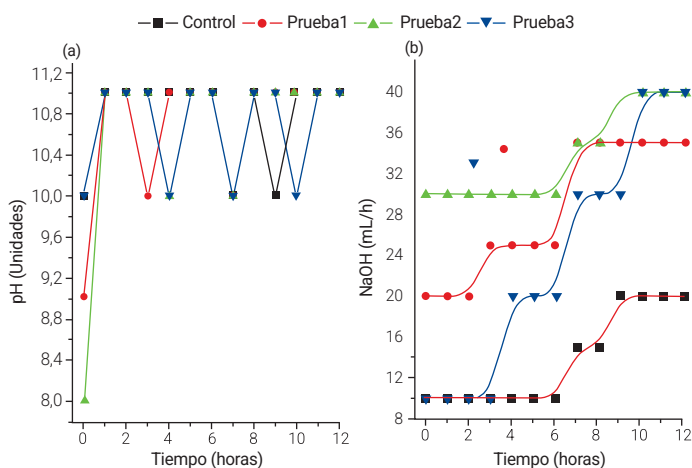
En esta prueba, se pudo establecer que, al adicionar un volumen más alto (90 mL de solución de H_2O_2 al 50 %), el consumo de NaCN disminuye un 38,4 % y el oro total aumenta en 51 % con respecto al control. Los minerales de baja ley contienen altas concentraciones de piritita (FeS_2), las cuales también consumen oxidantes y cianuro, por lo cual se hace imprescindible la adición de mayores volúmenes de H_2O_2 .

Comportamiento del pH durante el proceso de lixiviación de oro

Para evitar tanto la volatilización del NaCN en forma de ácido cianhídrico como el desarrollo de reacciones parasitarias en el proceso de lixiviación de oro, es de vital importancia mantener el pH de la solución a ≈ 11 . A continuación, en la Figura 7, se muestra el consumo de NaOH y comportamiento del pH.

Figura 7

El pH de las soluciones (a) y los mL de NaOH adicionados al proceso (b)



Debido a la variada composición de los minerales utilizados en el proceso, las soluciones presentaron diferentes valores de pH. Fue necesario ajustar el pH mediante la adición de diferentes volúmenes de hidróxido (10 %). En la mayoría de los casos, se inició añadiendo 30 mL a una solución con pH inicial de 8 y se culminó con un volumen total de 40 mL. En la prueba 3, donde se adicionó mayor cantidad de peróxido de hidrógeno, se requirió mayor cantidad de hidróxido de sodio (40 mL) debido al constante descenso del pH ocasionado por la liberación de H^+ por parte del peróxido de hidrógeno.

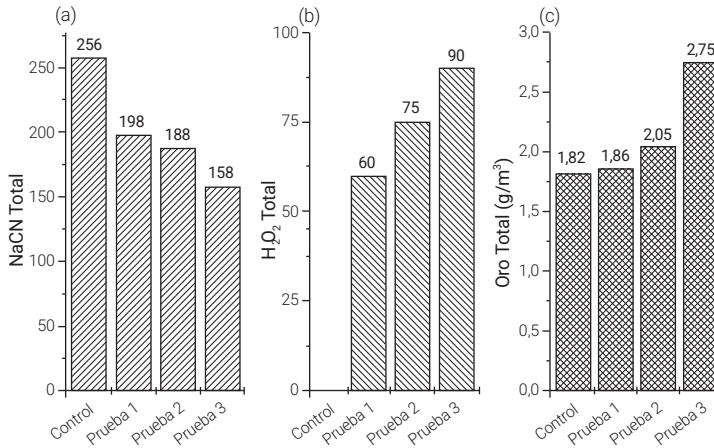
Evaluación del consumo de reactivos y la producción de oro

Debido a la reacción de oxidorreducción que ocurren en el proceso de obtención de oro, es fundamental evaluar los consumos de reactivos y la formación de productos.

A continuación, en la Figura 8, se muestran los consumos totales de NaCN y H₂O₂ en la extracción total de oro total.

Figura 8

Evaluación del consumo total de NaCN (a), consumo de H₂O₂ (b) y oro total obtenido (c)



Se puede apreciar que la adición de peróxido de hidrógeno al proceso hidrometalúrgico de la obtención de oro tiene un efecto positivo debido a la reducción de NaCN: hasta en un 38 % en el mayor de los casos. Asimismo, se observa que genera un incremento en la obtención de oro (51 %) con respecto al control, lo cual representa un beneficio técnico y económico del proceso.

Análisis de varianza del proceso

Mediante el uso de Origin.50, se realizó el análisis estadístico para evaluar el efecto de la adición de peróxido de hidrógeno durante el proceso de lixiviación para la extracción de oro y establecer si existió diferencia significativa entre los cuatro experimentos estudiados. A continuación, en la Tabla 3, se muestran los datos estadísticos obtenidos.

Tabla 3

Análisis ANOVA

Fuente	Media	Varianza	N
Control	1,82	4,33E-04	3
Prueba1	1,86	9,00E-04	3
Prueba2	2,06	0,0049	3
Prueba3	2,75	0,0105	3
F = 133,65			
p = 3,57E-7			

Como se puede ver en la Tabla 2, sí existe diferencia significativa ($p \leq 0,05$) en la obtención de oro (Au). Al incrementar los volúmenes de adición de H_2O_2 , incrementa la cantidad de Au obtenida.

A continuación, en la Tabla 4, mediante la prueba de Tukey, se puede apreciar la diferencia entre las 4 pruebas realizadas.

Tabla 4

Prueba de Tukey de los g/M³ de oro

Pruebas	N	Media	Grupos Homogéneos
Control	3	1,82	X
Prueba 1	3	1,86	X
Prueba 2	3	2,05	X
Prueba 3	3	2,75	X
Contraste	Diferencia	± Límites	
Control - P1	-0,036	0,16	
Control - P2	* - 0,23	0,16	
Control - P3	* - 0,43	0,16	
P1 - P2	* -0,2	0,16	
P1 - P3	* - 0,89	0,16	
P2 - P3	* -0,69	0,16	

Nota. *Existe diferencia significativa.

Mediante esta prueba, se puede establecer que el experimento control no presenta diferencias respecto a la prueba 1, pero sí difiere de las demás pruebas restantes. Ello indica que, al añadir un volumen medio y alto de peróxido de hidrógeno, hay diferencias significativas en la obtención de oro total. En el mayor de los casos, al adicionar 90 mL de reactivo (H_2O_2 al 50 %), se logra obtener un 51 % más de oro con respecto al control.

DISCUSIÓN

Investigaciones sobre la utilización de lixiviantes estériles han logrado obtener porcentajes de oro de 41,5 % en concentrados tostados a 700 °C (Zhang, Cui, Qiao et al., 2022). Estudios similares indican que, en minerales con ley de oro (> 4-5 g/t), la eficiencia de lixiviación mejora debido a una mayor proporción de oro libre y menor influencia proporcional de fases refractarias (Liu et al., 2022).

La adición de una baja concentración de H_2O_2 no mejora directamente la velocidad de disolución del oro, pero puede actuar como oxidante adicional cuando la cantidad de

oxígeno disuelto es baja. El H_2O_2 puede descomponerse en oxígeno, un proceso que puede ser catalizado por la muestra (Baharun et al., 2020).

Estudios donde incrementan la concentración de NaCN de 0,12 % a 0,18 % logran obtener pequeños incrementos en la obtención de oro (Munganyinka et al., 2022). Estudios utilizando NaCN, YX 500 y reactivo de Jinchuan (compuestos orgánicos complejantes) han logrado reducir los consumos de reactivos e incrementar la producción de oro debido a los cambios en la estructura del material y los cambios de pH por el pretratamiento (tostado) (Malyshev et al., 2025).

Según Baharun et al. (2020), la extracción de oro se ve afectada positivamente cuando se agrega H_2O_2 al proceso de lixiviación con cianuro. Los autores identificaron que una concentración de 410 ppm de H_2O_2 aumentó la recuperación de oro del 48,52 % al 68,85 %. Estudios de tratamiento de mineral auríferos de baja ley con H_2O_2 durante la lixiviación de oro en pilas indican que la recuperación de oro aumenta de 1,2 al 55,89 % (Surimbayev et al., 2026; Yessengarayev et al., 2021).

Estudios de preoxidación de mineral mediante la adición de H_2O_2 indican que existe un incremento en la concentración de oxígeno disuelto en la solución, lo cual reduce el consumo de cianuro y aumenta la concentración de oro total obtenido (Nourmohamadi & Rezai, 2022; Nunan et al., 2017). Estudios utilizando bajas concentraciones de H_2O_2 indican que, debido a que este compuesto es un cianida importante, a concentraciones de 0,01 M, pH 11,5 y 25 °C no puede oxidar el cianuro. En estos casos, la velocidad de cianuración y la de extracción de Au está determinada por la concentración de cianuro (Guzman et al., 1999).

Según los estudios de Barton y Hiskey (2022), los oxidantes son más importantes que los lixiviantes en la cinética y el rendimiento de la lixiviación. Por lo tanto, el uso de H_2O_2 como agente oxidante es crucial para optimizar el proceso de lixiviación y estabilidad del pH del proceso (Barton & Hiskey, 2022).

Estudios de lixiviación de minerales de baja ley de oro, utilizando peróxido de hidrógeno y nitrato de plomo, lograron obtener porcentajes de 27 % más con respecto al proceso convencional de lixiviación (Baharun et al., 2020). La adición de peróxido de hidrógeno en los procesos de lixiviación con cianuro de sodio al 2 % favorece una mayor disponibilidad de oxígeno en el sistema, lo que acelera la disolución del oro y mejora la eficiencia metalúrgica. Como resultado, se reduce el tiempo de lixiviación y se incrementa el porcentaje de recuperación de oro, optimizando el rendimiento del proceso y disminuyendo los costos operativos asociados al tiempo de tratamiento (Knorre et al., 1993).

Un análisis de varianza realizado a procesos de lixiviación donde utilizan peróxido de hidrógeno como oxidante indican que consiguieron obtener porcentajes significativos en el contenido de oro al incrementar las adiciones de concentraciones progresivas de oxidante (Layza Laban & Pretell Villalobos, 2024).

CONCLUSIONES

Los minerales de baja ley de oro ricos en pirita y cuarzo contienen impurezas como el hierro, potasio, etcétera, los cuales reaccionan con el H_2O_2 y el NaCN consumiéndolos en gran parte. Con ello, se reduce la eficiencia del proceso para la recuperación de oro. Para aumentar la eficiencia del proceso de recuperación de oro, se debe emplear compuestos con afinidad a estas impurezas.

La adición de H_2O_2 en la lixiviación cianurada de minerales de baja ley de oro disminuye el consumo de NaCN porque aporta mayor concentración de oxígeno disuelto a la solución y favorece positivamente a la oxidación del oro. Por ende, permite mayor recuperación.

El consumo de NaCN disminuye significativamente al aumentar la cantidad de H_2O_2 adicionada y, para mantener estable a este lixivante, se debe mantener constante el pH de trabajo para evitar la formación de gases tóxicos y pérdida de NaCN. El aumento de las cantidades de H_2O_2 durante el tiempo de lixiviación incrementa la eficiencia del proceso y logra obtener mayores cantidades de oro total.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Washington Omar Espinoza Ramon: escritura: borrador original. **Braulio Absalón Madrid Celi:** escritura: revisión y edición. **Gary Hitler Muñoz Bravo:** conceptualización y *software*. **Carmín Aydee de Gracia Pérez:** metodología e investigación. **Susana Elizabeth Blacio Toro:** escritura: revisión y edición.

DECLARACIÓN SOBRE EL USO DE IA GENERATIVA

Los autores declaran que no se ha utilizado IA generativa.

REFERENCIAS

- 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>
- Baloyi, N. P., Nheta, W., Sibanda, V., & Safari, M. (2024). Mineralogical Insights into PGM Recovery from Middle Group (1-4) Chromite Tailings. *Minerals*, 14(9), 924. <https://doi.org/10.3390/min14090924>

- Barton, I. F., & Hiskey, J. B. (2022). Chalcopryrite leaching in novel lixivants. *Hydrometallurgy*, 207, 105775. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2021.105775>
- Buitrón, O., D., Barona, D., D., Iturra, M., F., & León, F., J. (2021). Validación del método para la determinación de oro por ensayo al fuego combinado con espectrometría de absorción atómica en muestras geológicas mineras metalúrgicas. *InfoANALÍTICA*, 9(1), 119-136. <https://doi.org/10.26807/ia.v9i1.188>
- Costa, F. R., Nery, G. P., Carneiro, C. D. C., Kahn, H., & Ulsen, C. (2022). Mineral characterization of low-grade gold ore to support geometallurgy. *Journal of Materials Research and Technology*, 21, 2841-2852. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.10.085>
- Duru, N., & Nesbitt, C. (2021). Remediation of reduced sulfur species effects on gold and silver recovery during cyanide leaching. *Hydrometallurgy*, 205, 105756. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2021.105756>
- Flores, D. J., Graber, T. A., Angel-Castillo, A. H., Hernández, P. C., & Taboada, M. E. (2025). Use of Hydrogen Peroxide as Oxidizing Agent in Chalcopryrite Leaching: A Review. *Metals*, 15(5), 531. <https://doi.org/10.3390/met15050531>
- Guzman, L., Segarra, M., Chimenos, J. M., Fernandez, M. A., & Espiell, F. (1999). Gold cyanidation using hydrogen peroxide. *Hydrometallurgy*, 52(1), 21-35. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(99\)00006-7](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(99)00006-7)
- Karppinen, A., Seisko, S., Nevatalo, L., Wilson, B. P., Yliniemi, K., & Lundström, M. (2024). Gold recovery from cyanidation residue by chloride leaching and carbon adsorption—Preliminary results from CICL process. *Hydrometallurgy*, 226, 106304. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2024.106304>
- Kenzhaliyev, B., Surkova, T., Koizhanova, A., Yessimova, D., Amanzholova, L., & Dosymbayeva, Z. (2023). Study of the cyanide leaching of gold from low-grade raw materials in the presence of amino acids. *Inorganics*, 11(12), 461. <https://doi.org/10.3390/inorganics11120461>
- Knorre, H., Loroesch, J., Gos, S., Stoll, M., & Ziegler, A. (1993). *Process for leaching precious metals with hydrogen-peroxide and a cyanide leaching solution* (Patente estadounidense n.º 5250272). Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos. <https://patents.google.com/patent/US5250272A/en>
- Layza Laban, C. N., & Pretell Villalobos, L. A. (2024). *Optimización de dosificación de peróxido de hidrógeno y cianuro en la prelixiviación de mineral sulfurado para recuperar oro y plata* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Universidad Nacional de Trujillo. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/22592>

- Liu, Z., Guo, X., Tian, Q., & Zhang, L. (2022). A systematic review of gold extraction: fundamentals, advancements, and challenges toward alternative lixiviants. *Journal of Hazardous Materials*, 440, 129778. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129778>
- Malacatus. (2023). *Estudio de impacto ambiental y plan de manejo ambiental de las concesiones mineras los ríos Uno código 300814 y los ríos Tres código 300947, para las fases de exploración y explotación bajo régimen de pequeña minería, provincias: El Oro-Azuay*. Ministerio de Ambiente de Ecuador. <https://maatecalidadambiental.ambiente.gob.ec/index.php/2026/02/05/estudio-de-impacto-ambiental-y-plan-de-manejo-ambiental-de-las-concesiones-mineras-los-rios-uno-codigo-300814-y-los-rios-tres-codigo-300947-para-las-fases-de-exploracion-y-explotacion-bajo-r/>
- Malyshev, V., Karimova, L., Sagatbek, S., Kharchenko, Y., & Magaz, A. (2025). A comparative study of gold leaching kinetics using alternative reagents from concentrates of low-grade ores. *Minerals*, 15(3), 282. <https://doi.org/10.3390/min15030282>
- Munganyinka, J. P., Habinshuti, J. B., Komadja, G. C., Uwamungu, P., Tanvar, H., Ofori-Sarpong, G., Mishra, B., Onwualu, A. P., & Shuey, S. (2022). Optimization of gold dissolution parameters in acidified thiourea leaching solution with hydrogen peroxide as an oxidant: implications of roasting pretreatment technology. *Metals*, 12(10), 1567. <https://doi.org/10.3390/met12101567>
- Nava-Alonso, F., Elorza-Rodríguez, E., Uribe-Salas, A., & Pérez-Garibay, R. (2007). Análisis químico de cianuro en el proceso de cianuración: revisión de los principales métodos. *Revista de Metalurgia*, 43(1), 20-28. <https://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/48/48>
- Nourmohamadi, H., & Rezai, B. (2022). Comparative study of oxidants in gold cyanidation: A molecular picture. *Minerals Engineering*, 189, 107870. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107870>
- Nunan, T. O., Viana, I. L., Peixoto, G. C., Ernesto, H., Verster, D. M., Pereira, J. H., Bonfatti, J. M., & Cesar Teixeira, L. A. (2017). Improvements in gold ore cyanidation by pre-oxidation with hydrogen peroxide. *Minerals Engineering*, 108, 67-70. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.01.006>
- Senanayake, G. (2006). The cyanidation of silver metal: Review of kinetics and reaction mechanism. *Hydrometallurgy*, 81(2), 75-85. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2005.12.001>
- Surimbayev, B., Yessengarayev, Y., Khumarbekuly, Y., Bolotova, L., Kanaly, Y., Akzharkenov, M., & Zhumabai, S. (2024). Effect of sodium acetate additive on gold leaching with cyanide solution: Laboratory and semi-pilot leaching tests. *Heliyon*, 10(15), e35805. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35805>

- Surimbayev, B., Yessengarayev, Y., Khumarbekuly, Y., Bolotova, L., Kanaly, Y., Zhumabai, S., & Akzharkenov, M. (2026). Influence of hydrogen peroxide and sodium acetate on gold cyanidation: laboratory and pilot-scale tests. *Mining, Metallurgy and Exploration*, 43, 1497-1509. <https://doi.org/10.1007/s42461-025-01460-5>
- Valarezo Tenesaca, E. I., Astudillo Echeverría, J. S., Ordóñez Paladinez, V. D., Cuenca Vaca, A. B., & Leon Cueva, W. P. (2024). Reactivos usados para mejorar la lixiviación del oro con cianuro: una revisión. *Ciencia Latina. Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 10874-10892. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.12248
- Wang, S., Gong, C., Wang, H., Xia, X., Liu, J., & Lu, H. (2025). Determination of gold content in rock gold ore samples based on closed water bath aqua regia digestion-polyurethane foam enrichment and using flame atomic absorption spectrometry. *RSC Advances*, 15(26), 20724-20733. <https://doi.org/10.1039/d5ra02280k>
- Yessengarayev, Ye. K., Surimbayev, B. N., Baimbetov, B. S., Mamyachenkov, S. V., & Kanaly, T. S. (2021). Ore treatment hydrogen peroxide during heap leaching of gold. *Complex Use of Mineral Resources*, 1(316), 5-14. <https://doi.org/10.31643/2021/6445.01>
- Zhang, Y., Cui, M., Qiao, S., Liu, X., & Lyu, X. (2022). Extraction of gold from a gold concentrate using a lixiviant synthesized by a roasting process. *Hydrometallurgy*, 211, 105874. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2022.105874>
- Zhang, Y., Cui, M., Wang, J., Liu, X., & Lyu, X. (2022). A review of gold extraction using alternatives to cyanide: focus on current status and future prospects of the novel eco-friendly synthetic gold lixivants. *Minerals Engineering*, 176, 107336. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107336>