



Alternativas de Reactivos Lixiviantes al Cianuro de Sodio en Minerales con Asociaciones Auríferas llevados en procesos Hidrometalúrgicos
Revisión Literaria

Alternatives to Sodium Cyanide Leaching Reagents in Minerals with Gold Associations in Hydrometallurgical Processes
Literature Review

Alternativas para a Lixiviação de Reagentes ao Cianeto de Sódio em Minerais com Associações Auríferas realizadas em Processos Hidrometalúrgicos
Revisão Literária

Gregory Cuesta ^I
gregory.cuesta@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9308-0593>

Cintya Patricia Guachizaca-Encalada ^{II}
patriciaguachizacaencalada@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0009-0143-4533>

Karen Liseth Zabala-Valverde ^{III}
kaerl1415@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-8707-2864>

Eduardo Santiago Cazar-Rivera ^{IV}
ecazar@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6081-1804>

Marco Antonio Mejía-Flores ^V
marco.mejia@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7566-2063>

Correspondencia: gregory.cuesta@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 05 de junio de 2024 * **Aceptado:** 24 de julio de 2024 * **Publicado:** 01 de agosto de 2024

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Sede Morona Santiago, Macas EC140101, Grupo de Investigación de Recursos Mineros e Ingeniería - GIRMI, Ecuador.
- II. Estudiante de la Carrera de Minas, ESPOCH Sede Morona Santiago, Ecuador.
- III. Estudiante de la Carrera de Minas, ESPOCH Sede Morona Santiago, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Sede Morona Santiago, Macas EC140101, Grupo de Investigación de Recursos Mineros e Ingeniería - GIRMI, Ecuador.
- V. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Sede Morona Santiago, Macas EC140101, Grupo de Investigación de Recursos Mineros e Ingeniería - GIRMI, Ecuador.

Resumen

Esta investigación se enfoca en la recopilación de información relevante al proceso de lixiviación con reactivos alternos al cianuro de sodio en la extracción de oro mediante procesos hidrometalúrgicos. Para esto se ha ejecutada una exhaustiva revisión de la literatura, incluyendo fuentes como Scopus-Elsevier, Research Rabbit, Scielo, Latindex, Research Gate y repositorios universitarios permiten identificar alternativas globales como la tiourea, el tiosulfato y el tiocianato. La tiourea nos demuestra eficacia para disolver selectivamente oro en minerales refractarios; del mismo modo el tiosulfato, es utilizado en la minería de oro como un agente lixivante alternativo, su capacidad para disolver el oro y la plata lo hace útil en minerales refractarios, por último, el tiocianato se presenta como una alternativa sostenible y eficiente en la disolución de oro, con menor toxicidad, todos estos reactivos son aplicados en países como Chile, China y Australia. Las alternativas anteriormente mencionadas se van implementando relativamente en el país, como por ejemplo, en la mina Cristhian David en Pasaje, provincia de El Oro, Ecuador, donde se destaca la aplicación de tiourea-tiocianato y la técnica del disco giratorio con sulfato férrico como oxidante para minerales auríferos refractarios, esta combinación no solo acelera la disolución y mejora las recuperaciones, sino que también reduce el uso de cianuro de sodio, haciendo las prácticas menos contaminantes y más efectivas para complejas mineralizaciones auríferas. Es crucial continuar investigando y desarrollando estas tecnologías para asegurar su implementación efectiva y segura en la industria minera a nivel mundial.

Palabras Clave: Reactivos lixiviantes; Cianuro de sodio; Tiourea, Tiocianato; Minerales con asociaciones auríferas; Impacto ambiental.

Abstract

This research focuses on the collection of relevant information on the leaching process with alternative reagents to sodium cyanide in the extraction of gold through hydrometallurgical processes. For this purpose, an exhaustive review of the literature has been carried out, including sources such as Scopus-Elsevier, Research Rabbit, Scielo, Latindex, Research Gate and university repositories that allow us to identify global alternatives such as thiourea, thiosulfate and thiocyanate. Thiourea shows us its effectiveness in selectively dissolving gold in refractory minerals; in the same way, thiosulfate is used in gold mining as an alternative leaching agent, its

ability to dissolve gold and silver makes it useful in refractory minerals, finally, thiocyanate is presented as a sustainable and efficient alternative in the dissolution of gold, with lower toxicity, all these reagents are applied in countries such as Chile, China and Australia. The aforementioned alternatives are being implemented relatively in the country, such as in the Cristhian David mine in Pasaje, El Oro province, Ecuador, where the application of thiourea-thiocyanate and the rotating disk technique with ferric sulfate as an oxidant for refractory gold minerals stands out. This combination not only accelerates dissolution and improves recoveries, but also reduces the use of sodium cyanide, making the practices less polluting and more effective for complex gold mineralizations. It is crucial to continue researching and developing these technologies to ensure their effective and safe implementation in the mining industry worldwide.

Keywords: Leaching reagents; Sodium cyanide; Thiourea, Thiocyanate; Minerals with gold associations; Environmental impact.

Resumo

Esta investigação centra-se na recolha de informação relevante ao processo de lixiviação com reagentes alternativos ao cianeto de sódio na extração de ouro através de processos hidrometalúrgicos. Para tal, foi realizada uma revisão exaustiva da literatura, incluindo fontes como Scopus-Elsevier, Research Rabbit, Scielo, Latindex, Research Gate e repositórios universitários que nos permitem identificar alternativas globais como a tiourea, o tiosulfato e o tiocianato. A tiourea demonstra a sua eficácia na dissolução seletiva do ouro em minerais refratários; Da mesma forma, o tiosulfato é utilizado na mineração de ouro como agente alternativo de lixiviação. A sua capacidade de dissolver o ouro e a prata torna-o útil em minerais refratários. com menor toxicidade, todos estes. os reagentes são aplicados em países como o Chile, China e Austrália. As alternativas referidas estão a ser implementadas relativamente no país, como, por exemplo, na mina Cristhian David em Pasaje, província de El Oro, Equador, onde se destaca a aplicação de tiourea-tiocianato e a técnica de disco rotativo com sulfato férrico. minerais de ouro refratários, esta combinação não só acelera a dissolução e melhora as recuperações, como também reduz a utilização de cianeto de sódio, tornando as práticas menos poluentes e mais eficazes para mineralizações complexas de ouro. É crucial continuar a investigar e a desenvolver estas tecnologias para garantir a sua implementação eficaz e segura na indústria mineira em todo o mundo.

Palavras-chave: Reagentes de lixiviação; Cianeto de sódio; Tiouréia, Tiocianato; Minerais com associações de ouro; Impacto ambiental.

Introducción

La extracción de oro mediante procesos hidrometalúrgicos es ampliamente utilizada en la industria minera debido a su eficiencia y menor impacto ambiental en comparación con métodos tradicionales como la lixiviación con cianuro (Galvan Lira et al., 2023a). Sin embargo, el uso generalizado de cianuro en estos procesos plantea preocupaciones ambientales y de seguridad debido a su toxicidad y riesgo de contaminación de suelos y cuerpos de agua (Sousa et al., 2022). Los autores Hilario Mallma & Ramos Coronado en su artículo titulado “*Cinética Electroquímica de reactivos alternativos al cianuro en la lixiviación del oro en la planta de lixiviación de Laytaruma.*”, mencionan (Hilario Mallma & Ramos Coronado, 2020): el cianuro es un compuesto químico formado por un átomo de carbono (C) unido a un átomo de nitrógeno (N), como el cianuro de sodio (NaCN) y el cianuro de potasio (KCN), estos son utilizados para la extracción de oro y otros metales preciosos mediante un proceso de lixiviación con cianuro (Borda & Torres, 2022). En este proceso, el cianuro se disuelve en agua para formar una solución cianurada que luego se rocía sobre los minerales auríferos, disolviendo el oro en forma de complejos cianurados solubles en agua (Altinkaya et al., 2020a). Esta técnica ha sido fundamental en la extracción de oro a gran escala, pero también plantea preocupaciones ambientales y de seguridad debido a la toxicidad del cianuro y los riesgos asociados con su manejo y almacenamiento (Munive et al., 2020).

Por otro lado, los procesos hidrometalúrgicos son métodos utilizados en la industria minera para extraer metales de sus minerales utilizando soluciones acuosas (Terán-Bojorquez et al., 2022). A diferencia de los procesos pirometalúrgicos, que implican altas temperaturas, los procesos hidrometalúrgicos se llevan a cabo a temperatura ambiente o a temperaturas moderadas (Yang et al., 2011a). Estos procesos son especialmente útiles para minerales de baja ley o para minerales que contienen metales que son difíciles de recuperar mediante métodos convencionales (Casseres et al., 2008).

La extracción de oro a través de procesos hidrometalúrgicos ha sido históricamente vinculada al uso del cianuro (Cuesta Andrade, 2023), un reactivo eficaz pero controversial debido a sus riesgos ambientales y de seguridad (Ruiz Córdoba et al., 2019a). En respuesta a estas preocupaciones, se ha intensificado la búsqueda de alternativas al cianuro para el tratamiento de

minerales auríferos (Perea Solano, 2016). Estas alternativas buscan mantener la eficiencia del proceso de extracción mientras minimizan el impacto ambiental y reducen los riesgos para la salud humana (Ray et al., 2022). En esta investigación, exploraremos el panorama actual de las alternativas de reactivos al cianuro en los procesos hidrometalúrgicos para minerales con asociaciones auríferas (Lobanov et al., 2023).

Finalmente, el propósito principal de esta investigación es desarrollar un método sustituto al cianuro de sodio, el cual se emplea en los procesos de lixiviación para la hidrometalurgia en nuestra región, de esta manera, se pretende proporcionar una alternativa para reducir el impacto ambiental causado por su uso actual.

Métodos

Explorando Alternativas Globales al Uso de Cianuro: Un Análisis Bibliográfico

Se realiza revisión de la literatura científica y técnica que aborda alternativas al uso de cianuro en el proceso de lixiviación de minerales con contenido de oro. Se investigan diversos métodos y tecnologías utilizados en distintos países para el beneficio de minerales auríferos, centrándose en aquellos que buscan reducir o eliminar la dependencia del cianuro debido a sus potenciales impactos ambientales y riesgos para la salud humana. Se recopilan y analizan estudios, investigaciones, proyectos y experiencias relacionadas con la aplicación de otras sustancias y procesos de lixiviación, así como los resultados obtenidos y las implicaciones prácticas de su implementación en la industria minera a nivel mundial. El objetivo es identificar y evaluar alternativas sostenibles y eficientes que puedan contribuir a la mitigación de los impactos ambientales y sociales asociados con la extracción y procesamiento de minerales auríferos.

Selección de base de datos

Este proceso implica la búsqueda sistemática de estudios, artículos científicos y revisiones que hayan sido evaluados y aceptados por comunidades científicas y académicas a nivel nacional e internacional.

Identificación de palabras clave pertinentes para el tema en cuestión

Durante esta etapa, se procede a la identificación de palabras clave esenciales para la investigación. Entre estas palabras clave se encuentran: cianuro, hipoclorito, reactivos alternativos para

lixiviación, materiales auríferos, oxidación de cianuro, disolución y solvente orgánico. Estas palabras clave han sido seleccionadas por su relevancia y relación directa con el tema de estudio, con el objetivo de orientar la búsqueda y recopilación de información precisa y específica.

Seccionar documentos de las diversas bases de datos que resulten relevantes a la investigación

En esta etapa, se procede a la selección de documentos pertinentes provenientes de diversas bases de datos, empleando las palabras clave identificadas previamente. Se realiza una evaluación minuciosa de los contenidos disponibles en fuentes como Scopus-Elsevier, Research Rabbit, Scielo, Latindex, Research Gate, así como repositorios universitarios, entre otros recursos. Utilizando las palabras clave como criterio de búsqueda, se filtran los documentos que aborden aspectos relevantes para la investigación. Esta selección se fundamenta en la adecuación de los contenidos a los objetivos y el enfoque del estudio, garantizando así la calidad y pertinencia de la información recopilada.

Consolidación de información levantada sobre reactivos hasta la fecha actual

Este apartado implica investigar y examinar posibles sustitutos al cianuro utilizados en diversas regiones del mundo. Se busca detallar reactivos alternativos para la lixiviación de minerales auríferos que no dependan del cianuro, considerando prácticas y tecnologías empleadas en diferentes contextos geográficos.

Con el propósito de ampliar el conocimiento sobre las opciones disponibles y sus aplicaciones en la extracción de oro, promoviendo así prácticas más sostenibles y seguras en la industria minera a nivel global.

Propuesta de aplicabilidad en el contexto ecuatoriano

En esta fase, se desarrolla una propuesta de aplicabilidad del mineral en un yacimiento específico en Ecuador. Esta propuesta se basa en un análisis detallado de los hallazgos y resultados obtenidos durante la investigación previa. Se consideran factores como la composición del mineral, ocurrencia elemental, las características geológicas y ambientales del yacimiento, así como los aspectos económicos y tecnológicos relevantes, con lo que se busca generar recomendaciones

concretas y factibles para la explotación o aprovechamiento del mineral en el contexto ecuatoriano, teniendo en cuenta las condiciones particulares del yacimiento y las necesidades del mercado local e internacional.

Resultados

Alternativas Globales al Uso de Cianuro

El uso de tiourea en procesos de lixiviación en China ha sido explorado en varios contextos. Se han realizado investigaciones y ensayos a escala piloto y de laboratorio para evaluar la eficacia y la viabilidad económica de la tiourea como agente de lixiviación en la extracción de oro (Keskinen, 2013). Los resultados de estos estudios han mostrado promesa en términos de la capacidad de la tiourea para disolver el oro de manera efectiva y selectiva, especialmente en minerales refractarios o con alto contenido de impurezas. Además, China, con su capacidad de investigación y desarrollo en la industria minera, ha estado trabajando en la optimización de procesos de lixiviación con tiourea para mejorar la eficiencia y reducir los costos operativos (Manzila et al., 2022; Munganyinka et al., 2022). Esto incluye la exploración de nuevas tecnologías y métodos de recuperación de oro para maximizar el rendimiento y minimizar el impacto ambiental (Medina & Corby, 2020).

El tiosulfato se ha utilizado en Australia como sustituto del cianuro en procesos de lixiviación de oro. Se ha demostrado que el compuesto es menos tóxico y dañino para el medio ambiente y la salud humana que el cianuro, lo que lo convierte en una opción atractiva para la industria minera cada vez más sostenible de Australia (Faraji et al., 2022). Se han realizado estudios de laboratorio y a escala piloto para evaluar la viabilidad técnica y económica de esta tecnología en diversos tipos de minerales de oro, incluidos aquellos que son refractarios o contienen impurezas (Altinkaya et al., 2020b).

Este país, ha invertido en la infraestructura necesaria para implementar la lixiviación de tiosulfato a escala comercial (Zupanc et al., 2022). Esto incluye el desarrollo de equipos de procesamiento específicamente adaptados al método y la capacitación del personal para operar y mantener el equipo de manera segura y eficiente.

En Chile, el tiocianato ha sido objeto de interés en la industria minera como un posible agente de lixiviación alternativo al cianuro en el proceso de extracción de oro y otros metales preciosos. La aplicación de tiocianato en procesos de lixiviación en Chile ha sido parte de la búsqueda constante

de soluciones más sostenibles y menos nocivas para el medio ambiente (Picazo-Rodríguez et al., 2022).

Los hallazgos de esta investigación han sido satisfactorios, se ha demostrado que el tiocianato puede disolver eficientemente el oro presente en minerales refractarios o con alto contenido de impurezas, ofreciendo una mayor selectividad y rendimiento en comparación con el cianuro (Noroña Alarcón et al., 2019). Este es menos tóxico para los seres humanos y los organismos acuáticos, lo que reduce los riesgos para la salud y el medio ambiente asociados con la lixiviación con cianuro (Rodríguez et al., 2022).

Selección de base de datos

La revisión de bases de datos internacionales como Scopus, Web of Science, y bases de datos nacionales como SciELO o Redalyc entre otras, asegura la calidad y validez de la información recopilada, proporcionando acceso a investigaciones que abordan aspectos clave como la eficiencia, selectividad, seguridad ambiental y costos asociados con el uso de nuevos reactivos lixiviantes. Esta revisión permite identificar y evaluar las mejores prácticas y avances tecnológicos en el campo de la hidrometalurgia aurífera, contribuyendo así a la formulación de recomendaciones y estrategias para mejorar los procesos industriales y promover prácticas más sostenibles y seguras en la extracción de oro, esta práctica es crucial para recopilar información relevante y actualizada sobre alternativas al cianuro de sodio en la lixiviación de minerales auríferos.

Identificación de palabras clave pertinentes para el tema en cuestión

Mediante la elección estratégica de palabras clave en diversas bases de datos, se logra obtener:

Fuente	Palabras Clave	Resultados
Scielo	Cianuro	<ul style="list-style-type: none"> • “Lixiviación y recuperación de oro del mineral en medios de glicina libres de cianuro”. • “Cinética Electroquímica de reactivos alternativos al cianuro en la lixiviación del oro en la planta de lixiviación de Laytaruma”. • “Evaluación de una metodología alternativa a la cianuración para la disolución de oro utilizando solventes orgánicos”.
ELSEVIER	Hipoclorito	<ul style="list-style-type: none"> • “Análisis de la exportación de los desechos electrónicos y su incidencia en el comercio exterior del Ecuador”.
ELSEVIER	Reactivos alternativos para lixiviación	<ul style="list-style-type: none"> • “Recuperación de oro y plata de los insolubles y productos de la lixiviación directa usando cianuración-glicina”. • “Lixiviación de tiourea: actualización sobre un enfoque sostenible para la recuperación de oro a partir de desechos electrónicos”.
Dialnet	Materiales auríferos	<ul style="list-style-type: none"> • “Perspectivas de la tiourea como agente de lixiviación en la pequeña minería de oro en Colombia: una revisión integral”. • “Una Comparación de Reactivos Alternos al Cianuro como Lixiviantes del Oro: Una revisión”.
Dialnet	Oxidación de cianuro	<ul style="list-style-type: none"> • “Selección de un sistema de lixiviación para la extracción de oro del mineral del depósito Byn'govskoye”.

		<ul style="list-style-type: none"> • “Agente Lixivante alternativo al cianuro para minerales refractarios de telururo de oro”.
Base de Datos Escuela Politécnica Nacional	Disolución	<ul style="list-style-type: none"> • “Optimización de los parámetros de disolución de oro en una solución de lixiviación de tiourea acidificada con peróxido de hidrógeno como oxidante: implicaciones de la tecnología de pretratamiento de tostación”.
	Solvente orgánico	<ul style="list-style-type: none"> • “Un estudio sobre la aplicabilidad de la lixiviación con cianuro agitado y la lixiviación con tiosulfato para la extracción de oro en la minería de oro artesanal y en pequeña escala”.

Seleccionar documentos de las diversas bases de datos que resulten relevantes a la investigación

En este apartado, se seleccionan los documentos mediante una comparación de cada una de las fuentes encontradas. Este enfoque permite identificar reactivos alternativos al cianuro que, aunque presenten características similares, ofrezcan mejoras significativas en la recuperación de minerales con asociaciones auríferas. La selección se enfoca en aquellos reactivos que no solo sean más eficaces desde el punto de vista técnico, sino que también promuevan una recuperación más sostenible y beneficiosa en términos sociales y económicos.

Por lo cual, se han seleccionado los siguientes:

- "Disolución de Oro y Plata con Tiosulfato de Amonio de un mineral refractario de Argentomanganeso con previo tratamiento ".
- “Thiourea–thiocyanate leaching system for gold”.
- "Implementación de procesos de destrucción de cianuro de los efluentes de la minería artesanal en la Rinconada – Puno”.
- "Effect of Stabilizer on Gold Leaching with Thiourea in Alkaline Solutions”.

Sin embargo, se busca ampliar la información y los datos proporcionados en las diversas fuentes relevantes al tema de investigación.

Consolidación de información levantada sobre reactivos

La tiourea puede alcanzar eficiencias de extracción de oro similares a las del cianuro, con porcentajes de recuperación entre el 70% y el 90% (Rodríguez et al., 2022). Sin embargo, la efectividad precisa depende de varios factores, incluidos el tipo de mineral, el pH de la solución, la concentración de tiourea, y la presencia de otros metales (Terán et al., 2021). El uso de tiourea ha sido explorado y adoptado en varios países, principalmente en contextos de investigación y proyectos piloto (Salinas et al., 2004).

País	Título Artículo	Información recopilada	Año
China	"Effect of Stabilizer on Gold Leaching with Thiourea in Alkaline Solutions".	El estudio detalló cómo la presencia de tiourea en solución alcalina afecta la voltametría cíclica del oro, destacando un pico de oxidación alrededor de 0,2 V y la supresión de otro pico a 0,8 V con el exceso de tiourea(Li et al., 2022). La adición de silicato de sodio resultó crucial: comparado con el sulfato de sodio, el silicato mostró ser un estabilizador más efectivo al minimizar la descomposición de tiourea y facilitar la disolución del oro, como se observó en los estudios de QCM-D y AFM. Además, se demostró que el silicato de sodio reduce significativamente la energía de activación superficial de la disolución del oro, haciendo más eficiente el proceso de disolución a diferentes temperaturas. Ayuda el silicato de sodio a mitigar la descomposición de la tiourea y facilita la disolución del oro, reduciendo la energía de activación	2022

		superficial del proceso de disolución. Esto lo hace una opción favorable en términos de seguridad y eficiencia en aplicaciones electroquímicas y de corrosión del oro (Romero Baylón et al., 2014).	
Rusia	"Leaching of Gold and Silver from Crushed Au-Ag Wastes with a Solution Containing Thiourea".	El estudio sobre la lixiviación de oro y plata desde residuos triturados de Au-Ag utilizando una solución de tiourea arrojó resultados significativos. Se encontró que la tiourea en una solución ácida logró extraer hasta un 90% de oro y un 85% de plata de los residuos, destacando su eficacia como agente lixivante alternativo (Ficeriová et al., 2008). Además, se observó que la velocidad de lixiviación aumentó con la concentración de tiourea y la temperatura, indicando condiciones óptimas para la recuperación de estos metales preciosos. Estos hallazgos subrayan el potencial de la tiourea como una alternativa viable en el proceso de recuperación de oro y plata desde desechos de Au-Ag triturados (Huamaní B. et al., 2019).	2007
Sudáfrica	"Gold Dissolution in Non-Ammoniacal Thiourea Solutions".	Según los datos presentados, se encontró que la velocidad de disolución del oro aumenta con la concentración de tiourea y la temperatura, pero disminuye con el pH más ácido de la solución. Además, se observó que la adición de agentes oxidantes como el peróxido de hidrógeno puede acelerar significativamente la disolución del oro. Estas conclusiones sugieren que las soluciones de tiourea no amoniacaes	2015

		pueden ser efectivas alternativas para la lixiviación de oro, especialmente en condiciones controladas de pH y temperatura, optimizando así los procesos de hidrometalurgia(Sitando et al., 2015).	
--	--	--	--

La efectividad del tiosulfato varía dependiendo de las condiciones específicas de la operación minera, pero se ha demostrado que puede ser efectivo para la extracción de oro en ciertas circunstancias (Romero Baylón et al., 2014). En comparación con el cianuro, el tiosulfato suele tener menos eficiencia en cuanto a velocidad de disolución y recuperación del oro (Romero Bonilla et al., 2017). Algunos de los países que han realizado estudios son los siguientes:

País	Título artículo	Información recopilada	Año
México	"Disolución de Oro y Plata con Tiosulfato de Amonio de un mineral refractario de Argentomanganso con previo tratamiento ".	El estudio detalló cómo la presencia de tiourea en solución alcalina afecta la voltametría cíclica del oro, destacando un pico de oxidación alrededor de 0,2 V y la supresión de otro pico a 0,8 V con el exceso de tiourea. La adición de silicato de sodio resultó crucial: comparado con el sulfato de sodio, el silicato mostró ser un estabilizador más efectivo al minimizar la descomposición de tiourea y facilitar la disolución del oro, como se observó en los estudios de QCM-D y AFM(Cordoba Andrade, 2016). Además, se demostró que el silicato de sodio reduce significativamente la energía de activación superficial de la disolución del oro, haciendo más eficiente el proceso de disolución a diferentes temperaturas. Ayuda el silicato de sodio a mitigar la descomposición de la tiourea y facilita la disolución del oro, reduciendo la energía de activación superficial del proceso de disolución. Esto lo hace una opción favorable en términos de seguridad y eficiencia en aplicaciones electroquímicas y de corrosión del oro (Ruiz Córdoba et al., 2019b).	2016

Colombia	"Mineralogía del proceso de lixiviación de oro en minerales refractarios con soluciones de Tiosulfato".	El estudio sobre la lixiviación de oro y plata desde residuos triturados de Au-Ag utilizando una solución de tiourea arrojó resultados significativos. Se encontró que la tiourea en una solución ácida logró extraer hasta un 90% de oro y un 85% de plata de los residuos, destacando su eficacia como agente lixivante alternativo (Ospina Correa et al., 2016). Además, se observó que la velocidad de lixiviación aumentó con la concentración de tiourea y la temperatura, indicando condiciones óptimas para la recuperación de estos metales preciosos. Estos hallazgos subrayan el potencial de la tiourea como una alternativa viable en el proceso de recuperación de oro y plata desde desechos de Au-Ag triturados (Terán-Bojórquez, 2021).	2016
Perú	"Lixiviación de minerales de oro en la Mina Gaparina con Tiosulfato: Una Alternativa Ecológica al uso del Cianuro".	Según los datos presentados, se encontró que la velocidad de disolución del oro aumenta con la concentración de tiourea y la temperatura, pero disminuye con el pH más ácido de la solución. Además, se observó que la adición de agentes oxidantes como el peróxido de hidrógeno puede acelerar significativamente la disolución del oro (Carrión, 2017). Estas conclusiones sugieren que las soluciones de tiourea no amoniacales pueden ser efectivas alternativas para la lixiviación de oro, especialmente en condiciones controladas de pH y temperatura, optimizando así los procesos de hidrometalurgia (Romero Baylón et al., 2014).	2017

El tiocianato es una alternativa potencial al cianuro en varios procesos industriales, especialmente en la minería y la metalurgia, por su menor toxicidad y posible gestión más segura. La efectividad del tiocianato en comparación con el cianuro depende de varios factores, incluyendo la eficiencia de la lixiviación y la facilidad de degradación. Estudios han demostrado que la lixiviación con

tiocianato alcanza eficiencias de extracción de oro del 85-90%, en comparación con el 95-98% obtenido con cianuro, lo que indica una ligera disminución en la efectividad, pero con mejoras significativas en seguridad y manejo ambiental.

País	Título artículo	Información recopilada	Año
Perú	"Implementación de procesos de destrucción de cianuro de los efluentes de la minería artesanal en la Rinconada – Puno".	En el proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno, la reacción está altamente influenciada por la concentración de peróxido, mientras que el cobre actúa como catalizador solo hasta una concentración moderada. El pH no tiene un efecto significativo en este proceso. Comparativamente, el hipoclorito de sodio es un oxidante ligeramente menos efectivo que el peróxido de hidrógeno, pero inicia una reacción rápida en los primeros minutos (Berlanga, 2014). Sin embargo, un aumento en la concentración de hipoclorito incrementa la concentración de cloro libre residual y disminuye el pH, limitando su versatilidad como tratamiento. En cuanto al tiocianato, su oxidación también puede ser promovida con estos agentes, aunque con diferentes eficiencias y necesidades de condiciones específicas. Por otro lado, el proceso con sulfato ferroso forma complejos con el cianuro libre, aunque algunos complejos disociables pueden liberar cianuro libre, que es luego acomplejado a ferrocianuros insolubles, con el pH determinado por el sulfato ferroso. En cada proceso se requiere una consideración adicional por sus propiedades químicas particulares, el tratamiento del tiocianato requiere más consideración.	2014
Colombia	"Análisis de alternativas para	Los efluentes sólidos y líquidos generados por el beneficio de minerales en los entables mineros de Segovia y Remedios presentan concentraciones de cianuro muy superiores a los límites permisibles, así como la presencia significativa de tiocianato, un	2006

	<p>la degradación del cianuro en efluentes líquidos y sólidos del Municipio de Segovia, Antioquia y en la instalación de procesamiento de la empresa mineros Nacionales en Marmato, Caldas".</p>	<p>subproducto común en estos procesos. Estos hallazgos destacan la necesidad de implementar métodos eficaces de degradación de cianuro y tiocianato para mejorar la calidad del agua y los suelos en la región (Gaviria & Meza, 2006). Para tratar los efluentes sólidos, hay que lavar las arenas y solucionar el lavado de forma similar a los líquidos, permitiendo un uso más eficiente de los reactivos y una evaluación precisa del contenido de cianuro y tiocianato. Se ha demostrado que el cianuro residual puede ser degradado hasta alcanzar los límites permisibles utilizando métodos como el tratamiento con hipoclorito de sodio, peróxido de hidrógeno o una combinación de ambos. Entre estos métodos, la combinación de H₂O₂ y NaOCl y el uso exclusivo de peróxido de hidrógeno se presentan como las alternativas más viables desde el punto de vista económico y ambiental. El peróxido de hidrógeno, en particular, es preferido ambientalmente, ya que degrada todas las formas de cianuro, incluyendo los hexacianoferratos, y su exceso se descompone en agua y oxígeno, evitando la formación de compuestos tóxicos como el cloro libre residual y las cloraminas (Gaviria & Meza, 2006). Además, para evitar la formación de ácido cianhídrico, es crucial mantener un pH superior a 10.5 durante el proceso de degradación. Por tanto, la implementación de estas metodologías es esencial no solo para el tratamiento del cianuro, sino también del tiocianato, asegurando así una gestión más segura y sostenible de los efluentes mineros.</p>	
--	--	---	--

Propuesta de aplicabilidad en el contexto ecuatoriano

El estudio titulado "Aplicación de pre-aireación en la lixiviación con cianuro de sodio del análisis del mineral de mena en la mina Cristhian David, ubicada en Pasaje provincia de El Oro", llevado

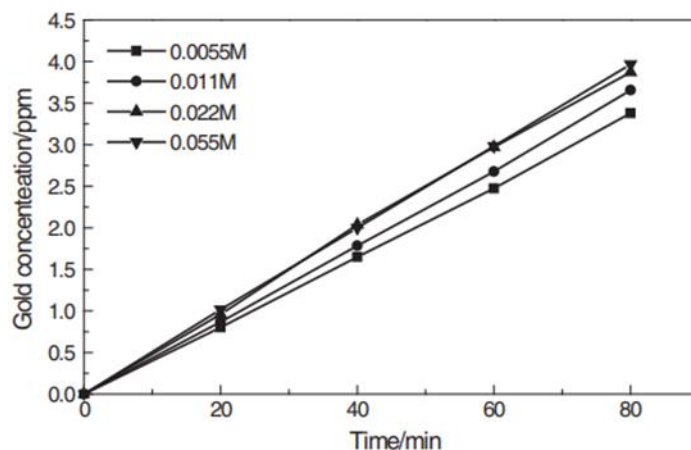
a cabo por Bryan Danny Aguilar Alvarado (Alvarado A., 2021), investiga el efecto del aire en la lixiviación con cianuro de sodio de minerales específicos de dicha mina. Durante el proceso, se observó una reducción significativa del tamaño de partícula inicial, de entre 5 mm y 250 mm, a un rango de entre 10 μm y 300 μm . Se identificó que el aire atmosférico actúa como el principal agente oxidante en la cianuración, alcanzando una concentración de equilibrio de oxígeno ideal de 8.2 ppm bajo condiciones óptimas de aireación y agitación (Daniel Rodrigo, 2014).

Se estableció una relación crítica entre las concentraciones de CN^- y O_2 en solución, optimizando la tasa de disolución con una razón entre 4.6 y 7.6. La velocidad de lixiviación depende de diversas propiedades del mineral, como su porosidad, tamaño de partícula y composición mineralógica. Se demostró que mantener un caudal de aire inyectado de 0.14 m^3/h incrementa la recuperación de oro hasta un 4.004%, evitando una reducción en la recuperación al evitar altos caudales que incrementan el número de Reynolds (Escalera, 2016). Esto subraya la importancia del oxígeno atmosférico como componente crucial en las reacciones químicas durante el proceso de recuperación de oro, desempeñando un papel fundamental en la metalurgia (Pizzorni, 2020).

El modelo de representación matemática desarrollado para el proceso de pre-aireación, donde se utiliza un diseño hexagonal, señala que el pH es la variable que mayor influencia ejerce (Gaviria & Meza, 2006). Sin embargo, mantener un pH elevado no es recomendable debido a que la velocidad de lixiviación disminuye considerablemente al formarse una película de óxidos sobre la superficie del oro, retardando el proceso de lixiviación (Galvan Lira et al., 2023b). El uso de altas concentraciones de cianuro tampoco es aconsejable, ya que afecta el pH de la disolución.

Se preparó una muestra al 20% de sólidos y se procedió a agitarla manualmente. Antes de esto, se tomó 100 ml de agua destilada y se midió un pH inicial de 7; mientras que la muestra preparada mostró un pH de 6. Para mejorar la recuperación, se propone el uso de tiourea-tiocianato como lixivante, técnicamente viable para el oro, operando la lixiviación en un rango de pH entre 1 y 2. Esto permite emplear sulfato férrico como agente oxidante, aplicado mediante la técnica del disco giratorio en cada experimento y dejado expuesto a la atmósfera durante su ejecución. Aumentar la concentración de sulfato férrico a 0.055 M tiene solo un efecto menor en la velocidad de disolución del oro (Yang et al., 2011b).

Ilustración 1: Efecto de la concentración de sulfato férrico en la tasa de lixiviación de oro. **Condiciones:** Tiourea 0.005 M, tiocianato 0.02M, pH 1.5, temperatura 25°C, 200 rpm.



Fuente: (Yang et al., 2011b)

La disolución del tiocianato en solución es notablemente lenta, lo que indica que este compuesto no contribuye significativamente a la disolución del oro. Más bien, el tiocianato debería potenciar la velocidad de disolución junto con la tiourea, lo que sugiere una posible sinergia entre ambos compuestos.

A continuación, se presenta en la

Tabla 1 la tasa de recuperación tanto para la tiourea como para el tiocianato, tanto de forma individual como en combinación:

Tabla 1: Gold leaching rate at various concentrations of thiourea and thiocyanate. (Tasa de lixiviación de oro a varias concentraciones de tiourea y tiocianato).

Tu, M	Thiocyanate	Tu/Thiocyanate	Rate, J, mol cm ⁻² s ⁻¹ (Jx10 ⁹)
0.005	0.005	1/1	4.30
0.005	0.02	¼	2.79
0.005	0.05	1/10	2.22
0.001	0.01	1/10	0.93
0.005	0.01	½	3.44
0.01	0.01	1/1	4.21
0.005	0	-	2.50
0	0.01	0	0.22

Fuente: (Yang et al., 2011b)

Los autores creen que la adición de pequeñas cantidades de tiourea-tiocianato está activando el oro superficie aliviando parte de la pasivación superficial posiblemente causada por $[\text{Au}(\text{Tu})_2]_2\text{SO}_4$ (Munive et al., 2020).

Tabla 2: Gold leaching rates observed at several disc rotating speeds.

Rotation speed, ω , rpm	$\omega^{1/2}$	Rate, J, mol $\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-2}$ (Jx109)
100	10	2.43
200	14.1	3.44
400	20	3.51

Fuente: (Yang et al., 2011b)

Se sugiere que para el mineral de interés de la mina Cristhian David, ubicada en Pasaje, provincia de El Oro, donde se encuentra oro pirítico, se observa la presencia de partículas de oro, incluso dentro de la pirita, con tamaños inferiores a 200 nanómetros. Además, se identifican partículas de telururo de oro y plata entrelazadas con electrum, con tamaños menores a 2 micras. Estas características hacen que el concentrado sea refractario al tratamiento convencional mediante cianuración, lo cual representa un desafío significativo debido al alto consumo de cianuro de sodio y a las recuperaciones limitadas.

Por lo tanto, la aplicación de tiourea-tiocianato y la técnica del disco giratorio utilizando sulfato férrico como oxidante se destacan como excelentes alternativas para estas complejas asociaciones auríferas. En soluciones de tiourea-tiocianato, la tasa de lixiviación de oro se mantiene constante con el tiempo, mostrando un comportamiento similar a las soluciones de tiourea pura. Incrementar la concentración de sulfato férrico de 0.0055 M a 0.022 M resulta en un ligero aumento en la tasa de lixiviación de oro, sin superar los 0.022 M, lo cual minimiza el impacto ambiental y reduce el riesgo para la salud humana y los organismos acuáticos en comparación con el uso de cianuro de sodio. Además, este proceso consume menos reactivo y ofrece una mayor estabilidad en diversos medios, lo que contribuye a la reducción de costos operativos.

Conclusiones y Recomendaciones

Basado en la revisión de literatura, se identifican varias alternativas a nivel global, para el uso de cianuro en el proceso de lixiviación de minerales auríferos, entre ellas: Tiourea: Utilizada en China, ha mostrado la capacidad para disolver oro de manera efectiva y selectiva, especialmente en minerales refractarios o con alto contenido de impurezas. Tiosulfato: Adoptado en Australia, el tiosulfato es menos tóxico y dañino para el medio ambiente y la salud humana en comparación con el cianuro. Tiocianato: Investigado en Chile, el tiocianato se presenta como una alternativa sostenible al cianuro. Se ha demostrado que disuelve eficientemente oro en minerales refractarios y tiene menor toxicidad para humanos y organismos acuáticos. Estas alternativas muestran promesa en términos de eficacia técnica y reducción de impactos ambientales y para la salud, representando pasos significativos hacia una minería más responsable y sostenible a nivel global. Es esencial continuar investigando y desarrollando estas tecnologías para asegurar su implementación efectiva y segura en la industria minera.

La diversidad de fuentes consultadas, desde Scopus-Elsevier hasta repositorios universitarios y plataformas especializadas como Research Gate, garantiza una cobertura actualizada, eficaz de la literatura científica y técnica disponible. La elección estratégica de palabras clave como “cianuro”, “hipoclorito”, y “reactivos alternativos para lixiviación de minerales auríferos” “materiales auríferos” asegura una búsqueda enfocada y precisa, facilitando la recopilación de información relevante. Para optimizar esta fase, es recomendable mantener una actualización continua de las palabras clave conforme avanza la investigación, incorporando nuevos términos emergentes y adaptándose a los diferentes contextos de estudio que puedan surgir.

En la selección de documentos se ha identificado una variedad de reactivos alternativos al cianuro que muestran potencial para mejorar significativamente la recuperación de minerales auríferos. La comparación entre diversas fuentes ha permitido enfocarse en aquellos reactivos que no solo ofrecen mejoras técnicas en la eficacia de la lixiviación, sino que también promueven prácticas más sostenibles y beneficiosas en términos sociales y económicos, entre ellos "Disolución de Oro y Plata con Tiosulfato de Amonio de un mineral refractario de Argentomanganeso con previo tratamiento "; "Thiourea–thiocyanate leaching system for gold"; "Implementación de procesos de destrucción de cianuro de los efluentes de la minería artesanal en la Rinconada – Puno"; "Effect of Stabilizer on Gold Leaching with Thiourea in Alkaline Solutions".Se recomienda ampliar el conocimiento mediante la exploración y análisis de nuevas investigaciones y datos relevantes para fortalecer aún más las bases teóricas y prácticas de estas alternativas prometedoras.

Lixiviante como la tiourea ha demostrado ser una alternativa viable al cianuro en la extracción de oro, con eficiencias de recuperación que pueden alcanzar entre el 70% y el 90%. Sin embargo, su efectividad depende de varios factores cruciales como el tipo de mineral, el pH de la solución, la concentración de tiourea y la presencia de otros metales. Estudios en diferentes países como China, Rusia, Sudáfrica y varios en América Latina han explorado y validado el uso de tiourea en diversos contextos, destacando su potencial en la recuperación de oro y plata desde minerales refractarios. Aunque el tiosulfato y el tiocianato también han surgido como alternativas al cianuro, ofrecen eficiencias ligeramente menores, pero presentan ventajas significativas en términos de seguridad y manejo ambiental. La investigación continua y la aplicación en proyectos piloto reflejan un interés creciente en mejorar las prácticas de extracción de metales preciosos, buscando métodos más sostenibles y menos contaminantes para la industria minera global.

En el contexto de la mina Cristhian David en Pasaje, provincia de El Oro, Ecuador, la aplicación de tiourea-tiocianato y la técnica del disco giratorio con sulfato férrico como oxidante emergen como soluciones destacadas para las complejas asociaciones auríferas presentes. La presencia de oro pirítico con partículas de oro de tamaño inferior a 200 nanómetros, junto con telururos de oro y plata entrelazados con electrum, caracteriza el concentrado como refractario, lo cual representa un desafío significativo. El uso de tiourea-tiocianato no solo aumenta la velocidad de disolución del mineral de interés, sino que también reduce el consumo de cianuro de sodio y mejora las recuperaciones, haciendo las prácticas menos contaminantes y más eficientes para esta compleja mineralización aurífera.

Referencias

1. Altinkaya, P., Wang, Z., Korolev, I., Hamuyuni, J., Haapalainen, M., Kolehmainen, E., Yliniemi, K., & Lundström, M. (2020a). Leaching and recovery of gold from ore in cyanide-free glycine media. *Minerals Engineering*, 158(August), 106610. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106610>
2. Alvarado A. (2021). Aplicación de pre-aireación en lixiviación con cianuro de sodio en el mineral de interés de la mina Cristhian David, Pasaje-El Oro Trabajo de graduación previo a la obtención del título de: INGENIERO EN MINAS.

3. Borda, J., & Torres, R. (2022). Prospects for Thiourea as a Leaching Agent in Colombian Gold Small-Scale Mining: A Comprehensive Review. *Journal of Sustainable Mining*, 21(4), 298–308. <https://doi.org/10.46873/2300-3960.1364>
4. Carrión, R. W. (2017). “Lixiviación de Minerales de oro de la Mina Gaparina con Tiosulfato: Una Alternativa Ecológica al Uso del Cianuro. [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4563/Carrón C..pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4563/Carrón%20C..pdf?sequence=1&isAllowed=y)
5. Casseres, S., Mesa, S., & Escalante, H. (2008). E estabilización / S olidificación , U na A lternativa P ara L a D eposición S ecura D e L odos S aturados C on M etales P esados. *Uis*, 7(2), 169–170.
6. Cordoba Andrade, M. J. (2016). Disolución De Oro Y Plata Con Tiosulfato De Amonio De Un Mineral Refractario De Argentomanganeso Con Previo Tratamiento.
7. Cuesta Andrade, G. G. et al. (2023). Gold Recovery By a Proposed Heap Leaching Method, Case Study Pique Mine, Portovelo – Ecuador. *Russian Law Journal*, 11(7s), 22–30. <https://doi.org/10.52783/rlj.v11i7s.1072>
8. Daniel Rodrigo. (2014). Propuesta de Mejora para la Recuperación Aurífera en la zona “LA BELLA” de la Concesión Bella Rica, ubicada en el distrito Ponce Enríquez. *Lincoln Arsyad*, 3(2), 1–46.
9. Escalera, S. J. (2016). La importancia de producción de Tiourea en Bolivia. 27–28.
10. Faraji, F., Mahandra, H., & Ghahreman, A. (2022). Evaluation of Different Amino Acids on Growth and Cyanide Production by *Bacillus megaterium* for Gold Recovery. *Sustainability (Switzerland)*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/su14159639>
11. Ficeriová, J., Baláz, P., Dutková, E., & Gock, E. (2008). Leaching of Gold and Silver from Crushed Au-Ag Wastes. *The Open Chemical Engineering Journal*, 2(1), 6–9. <https://doi.org/10.2174/1874123100802010006>
12. Galvan Lira, J. M., Soria Aguilar, Ma. de J., Carrillo Pedroza, F. R., & Aguilera González, E. N. (2023a). 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
13. Gaviria, A., & Meza, L. (2006). Analysis of Alternatives for the Degradation of the Cyanide in Liquids and Solids Efluentes of the County of Segovia , Antioquia and in the Ore

- Dressing Mill of the Mineros Nacionales, County of Marmato, Caldas. *Revista Dyna*, 31–44.
14. Hilario Mallma, C. M., & Ramos Coronado, J. J. (2020). “Cinética Electroquímica de reactivos alternativos al cianuro en la lixiviación del oro en la planta de lixiviación de Laytaruma.” 1–116.
 15. Huamaní B., R. P., Suero R., A. F., Mamani C., P. L., Huanca Z., P. K., Ascuña R., V. B., Cruz P., S., Ochoa Q., Y. L., & Vega V., E. V. (2019). Contribución Al Conocimiento Sobre La Minimización Del Consumo De Cianuro En La Minería Del Oro; Sales Oxidantes, Aireación Y Sobremolienda Para Minerales Cianicidas. *Revista Boliviana de Química*, 36(5). <https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.5.1>
 16. Keskinen, S. (2013). Comparison of cyanide and thiosulphate leaching for gold production (a literature review). Lutpub.Lut.Fi. [https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/94208/Comparison of Cyanide and Thiosulphate Leaching for Gold Production.pdf?sequence=2](https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/94208/Comparison_of_Cyanide_and_Thiosulphate_Leaching_for_Gold_Production.pdf?sequence=2)
 17. Li, W., Shang, H., Zhou, H., Song, Y., Zheng, S., & Yang, X. (2022). Effect of Stabilizer on Gold Leaching with Thiourea in Alkaline Solutions. *Minerals*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/min12010089>
 18. Lobanov, V. G., Khabibulina, R. E., Kolmachikhina, O. B., & Makovskaia, O. Yu. (2023). Selection of a leaching system for the extraction of gold from the ore of the Byn’govskoye deposit. *IPolytech Journal*, 26(4), 688–696. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-4-688-696>
 19. Manzila, A. N., Moyo, T., & Petersen, J. (2022). A Study on the Applicability of Agitated Cyanide Leaching and Thiosulphate Leaching for Gold Extraction in Artisanal and Small-Scale Gold Mining. *Minerals*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/min12101291>
 20. Medina, D., & Corby, G. (2020). A Review of the Cyanidation Treatment of Copper-Gold Ores and Concentrates. *Icmm*, 1–11.
 21. 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). <https://doi.org/10.3390/met12101567>

22. Munive, G. T., Encinas, M. A., Salazar Campoy, M. M., Álvarez, V. E., Vazquez, V. M., & Choque, D. C. (2020). Leaching Gold and Silver with an Alternative System: Glycine and Thiosulfate from Mineral Tailings. *Jom*, 72(2), 918–924. <https://doi.org/10.1007/s11837-019-03652-z>
23. Noroña Alarcón, C., Noroña Alarcón, J., & Paladines Rodríguez, J. (2019). Análisis de la exportación de los desechos electrónicos y su incidencia en el comercio exterior del ecuador. *Espiraes Revista Multidisciplinaria de Investigación*, 3(26), 40–49. <https://doi.org/10.31876/re.v3i26.458>
24. Ospina Correa, J. D., Osorio Cachaya, J. G., Serna Zuluaga, C. M., Mejía Restrepo, E., Giraldo Vélez, C. E., & Posada Montoya, J. A. (2016). Mineralogía del proceso de lixiviación de oro en minerales refractarios con soluciones de tiosulfato. *Informador Técnico*, 80(2), 128. <https://doi.org/10.23850/22565035.482>
25. Perea Solano, C. G. (2016). Evaluación de una metodología alternativa a la cianuración para la disolución de oro utilizando solventes orgánicos. 78. <http://www.bdigital.unal.edu.co/55035/>
26. Picazo-Rodríguez, N., Carrillo-Pedroza, F., Martínez-Luévanos, A., Soria-Aguilar, M., Almaguer-Guzmán, I., & Garza-Roman, M. (2022). Recuperación de oro y plata de los insolubles y productos de la lixiviación directa usando cianuración-glicina. XX Encuentro Sobre Procesamiento de Minerales, 1–16. <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/8028/PonenciaIM.2022.Recuperación.Carrillo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
27. Pizzorni, B. (2020). Uso del Cianuro en la Minería de Oro Panorama Global.
28. Ray, D. A., Baniyasi, M., Graves, J. E., Greenwood, A., & Farnaud, S. (2022). Thiourea Leaching: An Update on a Sustainable Approach for Gold Recovery from E-waste. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 8(2), 597–612. <https://doi.org/10.1007/s40831-022-00499-8>
29. Rodriguez, C., Salas, G., Baltazar, J., Valtierra, J., & Alonso, O. (2022). Consumo De Cianuro De Concentrado De Pirita Aurifera, Empleando Ozono Como Pretratamiento . *Epistemus* , 15(31).
30. Romero Baylón, A., Flores Chávez, S., & Medina Sandoval, R. (2014). Obtención de metales preciosos a partir de residuos sólidos mineros o relave. *Industrial Data*, 12(1), 041. <https://doi.org/10.15381/idata.v12i1.6086>

31. Romero Bonilla, H. Í., Tello Román, D. C., Vega Quezada, C. A., & Castillo Sánchez, A. E. (2017). Costos por corrosión de hierro ASTM A36 en procesos hidrometalúrgicos auríferos. Comparación entre cianuro y tiourea. *Industrial Data*, 20(1), 37. <https://doi.org/10.15381/idata.v20i1.13506>
32. Ruiz Córdoba, J. A., López Cañas, C. A., Carmona Arango, M. E., & Bolívar Gómez, W. (2019a). Modelamiento estadístico de la lixiviación con cianuro de un mineral del municipio de Andes, Colombia, como alternativa al proceso de amalgamación. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 11(2), 126–137. <https://doi.org/10.22335/rfct.v11i2.826>
33. Salinas, E., Rivera, I., Carrillo, R., Patiño, F., Hernández, J., & Hernández, L. (2004). Mejora del proceso de cianuración de oro y plata, mediante la preoxidación de minerales sulfurosos con ozono. *Rev. Soc. Quím. Méx*, 48, 315–320.
34. Sitando, O., Dai, X., Senanayake, G., & Breuer, P. L. (2015). Gold dissolution in non-ammoniacal thiosulphate solutions: comparison of fundamentals and leaching studies Gold leaching in thiosulfate-oxygen solutions View project Ion Exchange Recovery of Platinum-Group Metals View project. November. <https://www.researchgate.net/publication/284725714>
35. Sousa, R., Regufe, M. J., Fiúza, A., Leite, M. M., & Futuro, A. (2022). A systematic review of sustainable gold extraction from raw ores using alternative leaching reagents. *Extractive Industries and Society*, 9(December 2020), 101018. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.101018>
36. Terán, D., Alonso, O., Munguía, P., Elizondo, M., & Bello, S. (2021). Alternative cyanide leaching agent for gold teluride refractory minerals.
37. Terán-Bojorquez, D. G., Alonso-Gonzales, O., Santos-Munguía, P. C., Elizondo-Álvarez, M. A., & Bello Teodoro, S. (2022). Agente Lixiviante alterno al cianuro para minerales refractarios de telururo de oro. *Epistemus*, 15(31), 7–14. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v15i31.196>
38. Yang, X., Moats, M. S., Miller, J. D., Wang, X., Shi, X., & Xu, H. (2011a). Thiourea-thiocyanate leaching system for gold. *Hydrometallurgy*, 106(1–2), 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2010.11.018>

39. Yang, X., Moats, M. S., Miller, J. D., Wang, X., Shi, X., & Xu, H. (2011b). Thiourea-thiocyanate leaching system for gold. *Hydrometallurgy*, 106(1–2), 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2010.11.018>
40. Zupanc, A., Heliövaara, E., Moslova, K., Eronen, A., Kemell, M., Podlipnik, Č., Jereb, M., & Repo, T. (2022). Iodine-Catalysed Dissolution of Elemental Gold in Ethanol. *Angewandte Chemie - International Edition*, 61(14). <https://doi.org/10.1002/anie.202117587>

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).