



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Técnicas de remoción de cianuro en aguas residuales de la  
actividad minera**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTORAS:**

Davalos Carlos, Astley Geraldine ([orcid.org/0000-0003-2150-282X](https://orcid.org/0000-0003-2150-282X))

Herrada Ruesta, Alexandra Milena ([orcid.org/0000-0001-7792-228X](https://orcid.org/0000-0001-7792-228X))

**ASESOR:**

Dr. Cruz Monzon, Jose Alfredo ([orcid.org/0000-0001-9146-7615](https://orcid.org/0000-0001-9146-7615))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los recursos naturales

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO - PERÚ

2022

## DEDICATORIA

Dedicamos nuestra tesis en primer lugar a Dios por darnos la fortaleza y ser nuestro guía en todo nuestro proceso académico.

A nuestros padres, por su sacrificio y apoyo moral incondicional a lo largo de estos 5 años, gracias a ellos estamos aquí.

A nuestros hermanos (as) y amigos (as) gracias por acompañarnos y compartir con nosotros nuestros logros.

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestros padres por siempre guiarnos por el camino del bien, por impulsarnos y motivarnos frente a cualquier adversidad que se nos presentó a lo largo de la carrera.

A los profesores de la Escuela de Ingeniería Ambiental por su dedicación y amistad, en especial al Dr. Cruz Monzón José Alfredo, gracias por compartir sus conocimientos y ser nuestro apoyo en la presente tesis.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	v
RESUMEN .....	vi
ABSTRACT .....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA.....	9
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	9
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización.....	9
3.3. Escenario de estudio.....	9
3.4. Participantes .....	10
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	10
3.6. Procedimientos .....	10
3.7. Rigor científico .....	11
3.8. Método de análisis de datos.....	12
3.9. Aspectos éticos .....	12
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	10
V. CONCLUSIONES.....	20
VI. RECOMENDACIONES .....	21
REFERENCIAS	
ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N 1º.</b>	Términos en las bases de datos. ....	10
<b>Tabla N 2º.</b>	Criterios aplicados en la búsqueda de artículos.....	11
<b>Tabla N 3º.</b>	Tiempo y grado de remoción de cianuro de efluentes según el tipo de técnica aplicada.....	10
<b>Tabla N 4º.</b>	Mejores condiciones de remoción de cianuro de efluentes según el tipo de cianuro .....	13
<b>Tabla N 5º.</b>	Eficiencia de remoción de cianuro según el emisor del agua residual efluente de la actividad minera.....	17
<b>Tabla N 6º.</b>	Matriz de categorización.....	37
<b>Tabla N 7º.</b>	Matriz de recolección de datos. ....	39

## RESUMEN

En la actualidad el tratamiento de efluentes es una gran problemática que enfrentan industrias mineras. Existen diferentes tratamientos y métodos para la degradación de cianuro, sin embargo, en su mayoría el uso de reactivos, es de elevado costo y/o generan residuos también tóxicos que impactan negativamente en la salud y calidad de vida de los pobladores. En base a ello, se propuso evaluar las técnicas de remoción de cianuro en aguas residuales de la actividad minera mediante una revisión sistemática de artículos de acceso libre en las bases de datos Scielo, ProQuest, ScienceDirect, Scopus y Dialnet. Aplicando criterios de inclusión se retuvieron 25 artículos comprendidos entre los años 2015 – 2021. Según el análisis de la información los métodos físicos presentaron un alto porcentaje de remoción entre el 99.00% - 99.90% en un lapso de tiempo de 1 – 48 horas a diferencia de los métodos químicos y biológicos que lograron una degradación entre el 98% y 99% en un tiempo promedio mayor a 480 horas. Finalmente, las técnicas de adsorción e hidrodinámica son las que muestran mayor eficiencia de remoción de cianuro influyendo parámetros como el tiempo de reacción, pH y temperatura.

**Palabras claves:** Cianuro, aguas residuales, técnicas de remoción, metales pesados, tratamientos.

## ABSTRACT

Currently, the treatment of effluents is a major problem faced by mining industries. There are different treatments and methods for the degradation of cyanide, however, the majority of the use of reagents is of high cost and/or they also generate toxic residues that negatively impact the health and quality of life of the inhabitants. Based on this, it was proposed to evaluate cyanide removal techniques in wastewater from mining activities through a systematic review of free access articles in the Scielo, ProQuest, ScienceDirect, Scopus and Dialnet databases. Applying inclusion criteria, 25 articles were retained between the years 2015 - 2021. According to the analysis of the information, the physical methods presented a high percentage of removal between 99.00% - 99.90% in a time period of 1 - 48 hours, unlike of the chemical and biological methods that achieved a degradation between 98% and 99% in an average time greater than 480 hours. Finally, adsorption and hydrodynamic techniques are the ones that show the highest cyanide removal efficiency, influencing parameters such as reaction time, pH and temperature.

**Keywords:** Cyanide, wastewater, removal techniques, heavy metals., treatments.

## I. INTRODUCCIÓN

La minería ha evolucionado con los años volviéndose la principal fuente industrial para la economía de los países, generando impactos negativos en los recursos naturales, principalmente en el recurso hídrico (Correa et al., 2019, p. 1). Debido a la contaminación que produce la extracción de oro, se genera la necesidad de aplicar nuevos tratamientos para el proceso de la cianuración, a fin de reducir el alto grado de toxicidad que genera (Gordillo, 2018, p. 17).

Diversos estudios demostraron que aproximadamente el 18% del uso anual de cianuro se relaciona con actividades de la industria minera y de sus procesos. De igual modo, se estima que anualmente la cantidad total de efluentes que son vertidos al medio ambiente y que contienen cianuro es de 1 000 000 de toneladas. Por lo tanto, es necesario que se realicen tratamientos que ayuden a reducir las concentraciones en solución de acuerdo a las normas ambientales establecidas (Kohzadi et al., 2021, p. 3).

A nivel global, las técnicas de remoción de cianuro han ido evolucionando de manera progresiva. Frente al incontrolado arrojado de aguas contaminadas, por parte de las industrias, se generan grandes impactos negativos en la salud de los ciudadanos y sobre todo al medio ambiente, siendo necesario aplicar tratamientos a los efluentes a través de métodos físicos, químicos y biológicos que permitan eliminar los metales pesados presentes (Nariyan y Sillanpaa, 2017, p. 2).

Las mineras ilegales en nuestro país buscan emplear un tratamiento eficaz y rentable, como son los tratamientos de oxidación química utilizando materiales reciclables (cáscara de bagazo, cáscaras de coco) para obtener carbón activado y lograr la remoción del cianuro. Este tratamiento es más accesible para aplicar debido al bajo costo que se requiere (Anculle y Puma, 2015, p. 10).

Los tratamientos varían según el tipo de agua residual y los contaminantes presentes (Tahreen et al., 2020, p. 2) su propósito es transformar al cianuro en cuerpos de aguas menos tóxicos a través de tecnologías efectivas. Dentro de los procesos habituales que están relacionados con el

tratamiento de efluentes están incluidos procesos de oxidación avanzada (Grzegorz, 2017, p. 7) y adsorción (Kolade et al., 2016, p. 6).

El método de adsorción es el más adecuado para los casos en donde se requiere un mayor rendimiento, sin embargo, no es el más económico (Kolade et al., 2016, p. 11). Del mismo modo, el uso de métodos de filtración ha aumentado en diversos países gracias a la alta eficiencia que presenta y el uso de pocos equipos que requiere, no obstante, por sus altos costos operativos su desarrollo y expansión se ha visto obstaculizado (Darban et al., 2020, p. 6).

La adsorción y filtración mediante membranas por sí solas no pueden tratar eficazmente los efluentes a menos que se combinen con un minucioso pretratamiento. Por el contrario, los procesos se vuelven ineficaces debido a la obstrucción de los poros con diversos contaminantes (García, 2018, p. 44).

Las técnicas y los tratamientos tecnológicos antes mencionados representan una elevada inversión, además, requieren de un alto consumo de energía y excesivos reactivos químicos. Por otro lado, Apaza et al. (2021, p. 3) señalan que existen tecnologías limpias aplicando tratamientos biológicos mediante microorganismos degradadores de cianuro, las cuales son económicas, eficaces y eco amigables.

De acuerdo a la problemática antes descrita, se formuló la siguiente pregunta de investigación ¿Cuáles son las técnicas de mayor eficiencia de remoción de cianuro en aguas residuales de la actividad minera reportadas en artículos científicos indexados de acceso libre? Además, el desarrollo del proyecto de investigación estuvo guiado a evaluar dichas técnicas, porque a nivel mundial se ha elevado el índice de contaminación del recurso hídrico por efluentes cianurados.

De esta manera, el desarrollo de la investigación a nivel social se justificó porque posibilitará la reducción de impactos negativos en la salud y calidad de vida de los pobladores quienes hacen uso del recurso hídrico para diversas actividades cotidianamente. Además, la investigación servirá para reducir parámetros como turbidez, sólidos en suspensión presentes en

estas aguas contaminadas ya que presenta técnicas de ámbito físico, químico y biológico para la remoción de cianuro en efluentes mineros, siendo este un elemento dañino para el ambiente. De igual manera, será de gran aporte para futuras investigaciones que podrán acceder a datos que servirán para resolver problemáticas ambientales actuales.

Asimismo, considerando lo ya mencionado en la realidad problemática y justificación se propuso como objetivo principal: Evaluar las técnicas más eficientes de remoción de cianuro en aguas residuales de la actividad minera. Del mismo modo, se propusieron los siguientes objetivos específicos: Evaluar el tiempo y grado de remoción de cianuro de efluentes de la actividad minera según el tipo de técnica aplicada, evaluar las mejores condiciones de remoción de cianuro de efluentes mineros según el tipo de cianuro y por último evaluar la eficiencia de remoción de cianuro según el emisor del agua residual efluente de la actividad minera.

## II. MARCO TEÓRICO

Chegeni et al. (2021) en su investigación tuvieron como objetivo evaluar el método de electrocoagulación para eliminar HCN y los metales como Pb producidos por los efluentes de la minera de oro. La investigación fue aplicada, experimental y se manipularon variables como el pH, la intensidad de la corriente y el tiempo de reacción para la remoción de cianuro. Los resultados mostraron que por encima de los 300 mA, a pH 9 y a un tiempo de 40 minutos, se incrementa la eficiencia de remoción de cianuro y plomo al 97% y 81% respectivamente. Finalmente, se concluyó que el método de electrocoagulación es una técnica eficiente para la remoción de Pb y HCN en efluentes contaminados (p. 2).

Rivera et al. (2021) estudió un tratamiento biológico de sistemas de biomasa suspendidas para la eliminación de cianuro en residuos de relaves mineros, debido a esto obtuvieron como objetivo realizar un tratamiento rentable y eficaz utilizando estrategias biológicas. Empleó una metodología descriptiva. Como resultados se analizó que una muestra inicial de 50 - 1000 mg/L al aumentar los factores temperatura 40°C y pH <7 son alcalinos las concentraciones disminuyen. En conclusión, el grado de cianuro libre más bajo logrado fue 62 %, en un rango de tiempo de 24 horas (p. 2-7)

Vargas et al. (2021) investigó la reducción de HCN mediante hidrataza de *Bacillus pumilus* representada en *Escherichia coli*, por ello, se plantearon como objetivo general evaluar la capacidad de células para la biodegradación de HCN en aguas industriales contaminadas que discurren de la extracción de oro, asimismo, su diseño de investigación fue experimental y los resultados más importantes fueron la disminución de la concentración de HCN hasta 70%, en un pH de 9, a una temperatura de 50°C y en un tiempo 72 horas. A modo de conclusión, las células completas de *Escherichia coli* son adecuadas y tienen un alto porcentaje de eliminación del cianuro (p. 2-8).

L, Kariim et al. (2020) estudiaron el desarrollo de nanoadsorventes para la reducción de HCN en aguas residuales de una refinera, como objetivo obtuvieron evaluar la adsorción de la degradación del HCN. Su investigación aplicó un diseño experimental, empleando nanoadsorventes

de MWCNTs y TiO<sub>2</sub> dopado con gas acetileno en nanopartículas de ferritas de níquel. Entre los resultados principales, identificaron una eliminación de 98% con ayuda de un proceso de adsorción por lotes en un tiempo de 7 horas de reacción, pH de 7 y a una temperatura elevada de 80°C. Se concluye que la técnica adsorción de cianuro sobre los adsorbentes MWCNTs/TiO<sub>2</sub> son muy favorables porque al aumentar la temperatura el porcentaje de remoción en aguas residuales de refinería es más efectivo (p.16).

Yubo et al. (2019) evaluaron la eliminación de cianuro adsorbido en FeS<sub>2</sub> para ello se plantearon como objetivo evaluar el porcentaje de remoción de cianuro adsorbido en FeS<sub>2</sub> mediante H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a diferente pH y temperatura, su estudio se basó en un diseño experimental, mediante la oxidación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en condiciones alcalinas. Respecto a los resultados, la remoción de pH 5 a 12, el punto donde se logró que sea constante fue en un pH mayor a 12 la mejor eficiencia de remoción de HCN es 81,10% añadiendo un peso no menos de 0,6 % de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. En conclusión, la eliminación del HCN es eficiente mediante la adsorbido en FeS<sub>2</sub> por oxidación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en condiciones alcalinas debió a la oxidación de la pirita (p.1)

Maulana y Takahashi (2018) en su artículo evaluaron la zeolita sintética como adsorbente adecuado para la remoción de cianuro, su diseño es de carácter experimental, aplicando la técnica discontinua a diferente tiempo, pero a temperatura ambiente. Como resultados se obtuvo que la zeolita con ayuda de Fe absorbió un 20% más de HCN a través del pseudo segundo orden que una zeolita cruda emplea al primer orden. Por último, los autores concluyen que la remoción de HCN mediante zeolita de Fe tuvo una absorción de 33,978 mg/L (p. 1).

Machaca y Yana (2017) estudiaron los procesos de oxidación y fotocátalisis solar para la remoción de HCN, se plantearon como objetivo determinar la degradación de HCN en efluentes mineros metalúrgicos mediante el proceso de fotocátalisis solar y oxidación avanzada heterogénea. Se usó una metodología de diseño experimental a nivel de laboratorio y los resultados indicaron que se eliminó hasta 266.0 mg/L usando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> – FeSO<sub>4</sub> en un periodo de 2 horas, con el segundo método se removió hasta

1265.45 mg/L usando  $\text{FeSO}_4$ , y en la tercera prueba se removió hasta 1695.55 mg/L haciendo uso de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . A modo de conclusión, el primer método es el más eficaz en cuanto a la remoción de cianuro utilizando agente oxidante heterogénea de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (p. 10).

Song et al. (2015) investigaron la reducción de cianuro por el método de adsorción y adsorción eléctrica, propusieron como objetivo general evaluar la técnica de adsorción eléctrica de aguas residuales de una minera que presenta alto contenido de HCN, Fe y SCN. Aplicó un diseño experimental utilizando una celda con electrodos de carbono. Los residuos de cianuro total fueron de 92.69 %, zinc 71.49 %, hierro 83.28 % aplicando un voltaje de 2.0 V, en una dimensión de placas de 1 cm en un tiempo de 24 horas. Su conclusión fue que la técnica de adsorción es un tratamiento apropiado para la eliminación de oro con cianuro en los procesos mineros (p. 2).

Khamar et al. (2015) en su investigación plantearon como objetivo evaluar nueve cepas que muestran un nivel alto de tolerancia al cianuro, su estudio fue de diseño experimental e investigó la remediación de cianuro mediante co-cultivos microbianos. En sus resultados expresaron que la cepa BN1 tuvo 66% de remoción y DNB 50% a un pH 9.5, temperatura  $25^\circ\text{C}$ , con una concentración inicial de 50 ppm. En conclusión, el co-cultivo muestra una eficiencia del 75% de remoción de cianuro del estanque de relaves posteriormente de 96 horas (p. 1).

Los efluentes contaminados con cianuro son producto de los procesos minerales del oro, en la mayoría de los casos estos superan los límites máximos permisibles ocasionando daños al recurso hídrico y agravando la salud de la población (Diaz, 2016, p. 44). La presencia de este metal en cantidades mayores a su capacidad significa un grave desequilibrio en el ecosistema que afecta la salud y calidad de vida de los seres vivos. (Mekuto, 2016, p. 32).

El ácido cianhídrico se define como un gas incoloro, altamente dañino y corrosivo, que básicamente tiende a degradarse en contacto con agua (Cazar, 2015, p. 19). Existen varios tipos de cianuro, como es el cianuro de hidrógeno, cianuro de sodio (Mudarra, 2016, p. 16). La utilidad de este

elemento químico es aprovechada en el proceso de cianuración de minerales para restaurar oro, por lo cual se dispersan en los componentes solubles. El cianuro se define como un grupo de compuestos químicos inorgánicos que representan la presencia de 1 átomo de C unido a 1 de N por medio de un enlace triple (Cazar, 2015, p. 20). Además, el cianuro es la sustancia más explotada en la extracción de oro porque es simple de extraer y presenta una mayor efectividad en la recuperación de este metal. Por otro lado, cabe mencionar que tiene altos niveles de toxicidad por lo que su uso debe ser controlado (Cahuana, 2017, p. 26)

El cianuro libre es empleado para diferenciar cianuro de ion, este se separa en el agua del proceso con distintos cianuros de hidrógeno que terminan uniéndose a una solución (Correa y Neyra, 2019, p. 25). De igual manera, cianuro total se les llama a los grupos de compuestos de cianuro existentes en una solución acuosa, este incorpora al cianuro libre, complejos y simples (Mego, 2016, p. 46)

Las técnicas de remoción de cianuro se emplean debido a los altos niveles de contaminación a los efluentes por parte de la actividad minera, por esta razón, actualmente existen procesos que pretenden eliminar el cianuro de las aguas residuales mineras (Mego, 2016, p. 51). Las tecnologías para la remoción de cianuro se diseñaron inicialmente para la parte líquida de los residuos, estos procesos buscan disminuir un alto porcentaje de concentración obteniendo aguas alcalinas, haciendo uso de diferentes procesos los cuales han sido creados para tratar aguas residuales mineras e industriales (Gordillo, 2018, p. 35).

La degradación natural del cianuro se realiza para identificar desechos de efluentes contaminados, siendo el principal instrumento la volatilización con variaciones atmosféricas (Anculle y Puma, 2015, p. 27). Asimismo, la degradación natural o microbiana consiste básicamente en emplear bacterias aisladas que puedan reducir grandes porciones de cianuro de modo que resulte siendo efectiva y rentable. (Rivera et. al, 2021, p.2)

Distintos estudios interesados en la eliminación natural de cianuros, han concluido que la concentración de este químico se reduce con el tiempo

debido a fenómenos de volatilización, precipitación, adsorción y biodegradación (Mego, 2016, p.52). En ese sentido, existen procesos químicos por parte la oxidación química se basa en la eliminación de cianuro por procesos usando químicos como es el  $H_2O_2$ , proceso de tratamiento con  $O_3$ , proceso de cloración alcalina cuyos procesos son desarrollados por la empresa canadiense INCO (Gordillo, 2018, p. 36). Por otro lado, la precipitación de cianuro se define como procesos por el cual se obtienen cianuros estables con menor concentración de este compuesto químico, esto permite reducir cianuros libres además es capaz de reducir metales presentes en las soluciones (Mego, 2016, p. 73). Además, la coloración alcalina se basa en emplear un reactivo cloro para eliminar el cianuro, dicho proceso se enfoca en dos métodos en el primero se crean cianatos luego destruye estos cianatos para convertirlos en gas nitrógeno (Gordillo, 2018, p. 36).

La adsorción presenta un notable desempeño gracias a su alto rendimiento y efectividad con bajas concentraciones de adsorbentes. (Kolade et al., 2016, p. 8). Este método consiste básicamente en remover cianuro utilizando carbón activado, sulfato ferroso haciendo un intercambio iónico, siendo estos procesos de alto valor (Mudarra, 2016, p.20).

Por último, se emplean tratamientos Biológicos debido a que sus propiedades de remoción emplean muchos microorganismos, tales como la oxidación de compuestos de cianuro y tiocianato producidos por *Pseudomonas paucimobilis*, utilizan estructuras simples de bajo costo y con gran eficiencia para tratar las formas del cianuro, las restricciones son por su escaso rendimiento con temperaturas frías, concentraciones elevadas de cianuro (Mego, 2016, p. 74).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación tuvo un desarrollo a nivel básico, ya que pretende apoyar el incremento de conocimientos científicos presentando un análisis de la revisión de distintas fuentes de información. Asimismo, según su nivel de profundidad se orientó a ser tipo descriptiva, de acuerdo a la naturaleza de los datos e información recolectada fue tipo cualitativa. Finalmente, según los métodos para adquirir información se atribuyó la revisión sistemática sin meta-análisis.

Por otra parte, la investigación utilizó un diseño no experimental ya que únicamente se realizó un análisis de la información encontrada en los artículos de investigación, por lo tanto, no hubo manipulación de variables.

#### 3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización

La investigación utilizó una matriz de categorización que incluye categorías (Tipo de efluente, tipo de cianuro, técnicas de remoción) y subcategorías (Minera de oro, planta de extracción de oro, refinería, cianuro libre, cianuro total, filtración, fotocatalizador, precipitación, adsorción, oxidación, electrocoagulación, coagulación) las cuales guardan relación con las preguntas de investigación específicas y los objetivos propuestos empleados en las áreas analizadas (Ver anexo 01).

#### 3.3. Escenario de estudio

El escenario estuvo formado por bases de datos que comprenden revistas indexadas en relación con el tema de investigación. En ese sentido, la búsqueda se verificó en las bases de datos como ScienceDirect, Scielo, ProQuest, Dialnet, Scopus. En particular la investigación fue alusiva a la aplicación del uso de técnicas para disminuir cianuro, cuyas revisiones fueron nacionales e internacionales.

### 3.4. Participantes

Los participantes fueron los distintos artículos recopilados de las plataformas digitales que corresponden a bases de datos, en las cuales se emplearon palabras claves con sus respectivos conectores booleanos, con la finalidad de especificar la búsqueda, y que, además, guardaron relación con el tema de investigación.

### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se utilizó la técnica de análisis documental ya que se basó en la compilación de información encontrada en los artículos de investigación con los cuales se realizó el respectivo análisis. Asimismo, el instrumento utilizado según la técnica aplicada fue la ficha de recolección de datos, esta fue de gran ayuda para obtener información relevante para nuestra investigación.

### 3.6. Procedimientos

Se llevó a cabo una indagación en distintas bases de datos en las cuales se encontraron artículos científicos indexados de acceso libre relacionados al tema de investigación, tal como se muestra en la Tabla N°01.

**Tabla N 1º.** Términos en las bases de datos.

<b>Nº</b>	<b>Base de datos</b>	<b>Palabras clave</b>
1	ScienceDirect	"Removal techniques" AND "heavy metals"; "Removal techniques" AND "mining wastewater"
2	Scielo	"Removal techniques" AND "wastewater" AND "cyanide"
3	Scopus	"Removal" and "cyanidation processes"; "Removal" AND "cyanhydric acid" AND "wastewater"

4	Dialnet	"Removal techniques" and "chemical adsorption"; "Wastewater treatment" AND "cyanide"
5	ProQuest	"Treatment" and "chemical"; "physical" AND "biological"

*Fuente: Elaboración propia*

De igual modo, con la finalidad de incluir artículos relevantes para la investigación se clasificaron los artículos usando criterios de inclusión acorde al tema de investigación, estos permitieron un análisis más específico para el diagnóstico de los artículos seleccionados.

**Tabla N 2º.** Criterios aplicados en la búsqueda de artículos.

Ítem	Criterios de búsqueda
Tipo de acceso	Acceso libre
Tipo de literatura	Artículos científicos indexados
Idioma	<i>Español - Inglés</i>
Periodo de publicación	2015 – 2021

*Fuente: Elaboración propia.*

Luego, se realizó un análisis y comparación de los resultados que permitió plasmar los resultados a través de tablas. Finalmente, se realizó la discusión de estos para establecer las conclusiones correspondientes y proponer recomendaciones para futuras investigaciones.

### 3.7. Rigor científico

En la investigación se emplearon artículos recolectados de base de datos de acceso libre, por ende, se garantiza la credibilidad y la veracidad de los datos. De igual modo, se precisa que solo se utilizaron artículos presentes en el primer y segundo cuartil lo que respalda la objetividad y claridad de la investigación.

### 3.8. Método de análisis de datos

Se realizó una evaluación preliminar para obtener particularidad en los datos empleados como el tipo y diseño utilizado, y el tipo de técnicas más eficientes para la remoción de cianuro. Asimismo, el análisis de recolección se basó en la ficha de recolección de datos. Además, se llevó un orden de la información recopilada haciendo uso del software Microsoft Office Excel. Posteriormente, se analizaron los factores que influyen en el tema de estudio para clasificar la información de cada artículo. De igual modo, se agruparon los datos según métodos, técnicas, condiciones, emisor de efluentes, y porcentaje de remoción para obtener una data específica. Finalmente, luego del análisis de la información recopilada, se identificaron las técnicas que presentan una alta cifra de degradación de cianuro

### 3.9. Aspectos éticos

Respecto al desarrollo de la investigación estuvo principalmente respaldado por los valores de honestidad y claridad en el procesamiento de datos, en ese sentido el análisis de las técnicas de remoción de cianuro se ejecutó de forma imparcial respetando la propiedad intelectual de cada una de las publicaciones que fueron referenciadas para garantizar la investigación.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se seleccionaron artículos de diferentes bases de datos descritas tomando en cuenta solo artículos de acceso libre. Para el primer objetivo específico se consideraron factores como el tiempo (h) y grado de remoción (%) que influyeron en una mayor degradación de cianuro tal como se puede observar en la tabla N°03.

**Tabla N 3°.** Tiempo y grado de remoción de cianuro de efluentes según el tipo de técnica aplicada

<b>Autor</b>	<b>Método</b>	<b>Técnica</b>	<b>Tipo de Cianuro</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Remoción (%)</b>
Correa et al. (2020)	Químico	Oxidación catalítica	Cianuro total	6	98.55
Tao et al. (2018)	Químico	Oxidación catalítica	Cianuro total	48	90.20
Barbosa et al. (2015)	Químico	Oxidación catalítica	Cianuro total	2	80.00
Feijoo et al. (2021)	Químico	Oxidación catalítica	Cianuro libre	4	96.30
Tae-Kyoung et al. (2018)	Químico	Oxidación avanzada	Cianuro libre	12	98.40
Chegeni et al. (2021)	Químico	Electrocoagulación	Cianuro total	1	99.00
Morillo et al. (2019)	Químico	Ozonificación-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Cianuro libre	0.05	97.00
Natacha et al. (2021)	Químico	Cristalización	Cianuro total	0.16	80.00
Estrada et al. (2020)	Físico	Adsorción	Cianuro libre	4	99.95

L Kariim et al. (2020)	Físico	Adsorción	Cianuro total	7	98.00
Yubo et al. (2019)	Físico	Adsorción	Cianuro total	2	95.60
Mebrahtom et al. (2017)	Físico	Adsorción	Cianuro libre	1	90.60
Maulana et al. (2018)	Físico	Adsorción	Cianuro total	12	90.00
Shadman et al. (2021)	Físico	Adsorción	Cianuro total	48	90.00
Montalvo et al. (2021)	Físico	Fotocatalítica	Cianuro total	2	99.00
Sundar et al. (2021)	Físico	Fotocatalítica	Cianuro total	2	75.00
Huda y Helmy (2021)	Físico	Precipitación	Cianuro total	2	92.40
Mingqing et al. (2020)	Físico	Flotación	Cianuro total	24	84.51
Sedova et al. (2021)	Biológico	Biorremediación	Cianuro libre	24	98.00
Wei-da et al. (2021)	Biológico	Biodegradación	Cianuro total	480	95.00
Jaramillo et al. (2016)	Biológico	Biorremediación	Cianuro total	96	86.00
Fariborz et al. (2021)	Biológico	Biorremediación	Cianuro total	48	77.00
Khamar et al. (2015)	Biológico	Biodegradación	Cianuro libre	96	75.00
Vargas et al. (2020)	Biológico	Biodegradación	Cianuro libre	52	70.00
Rivera et al. (2021)	Biológico	Biodegradación	Cianuro libre	72	62.00

---

*Fuente: Elaboración propia*

Las técnicas de adsorción en la tabla N°03 se ilustran con el mayor porcentaje de efectividad. El análisis de la investigación muestra que la adsorción por betún natural resultó con menor grado de remoción de cianuro con el 61,64%, debido al peso del adsorbente y tiempo de reacción. (Ataallah et al., 2020). Por otro lado, Estrada et al. (2019) en su investigación experimental pura obtuvo el mayor grado de degradación con el 99.95% gracias a la intervención de agentes adsorbentes por carbón activado y peróxido de hidrógeno en concentraciones de 60 g/L y 2 L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/kg en un lapso de tiempo de 2 horas lo que evidenció que el tiempo y la concentración influyen en su eficiencia, a medida que, si se aumentan las concentraciones de sólido/líquido la cantidad de cianuro adsorbido era mayor. Por otra parte, Mebrahtom et al. (2017) empleando adsorbentes procedentes de cáscaras de café a través de softwares matemáticos logró remover en 60 minutos el 90,60% de soluciones acuosas cianuradas, teniendo un alto porcentaje a comparación del estudio realizado por (Aranguri y Reyes., 2019) quienes utilizaron un potencial adsorbente de carbón activado a partir de residuos de café que permitió lograr en 180 minutos un intervalo de 55,68% y 67,65%, notándose una gran diferente debido a la cantidad de materiales absorbentes asimismo influyo las horas de adaptación para eliminar CN.

Del mismo modo, para una investigación más transcendental se analizaron en qué condiciones se obtiene un mayor porcentaje de remoción de cianuro en aguas residuales mineras, obteniendo datos como que los pH varían entre un rango de 7 – 12, la temperatura circunda entre 25°C a más, y finalmente que el tiempo está en relación con el tipo de Cianuro y técnica empleada, esta data se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla N 4º.** Mejores condiciones de remoción de cianuro de efluentes según el tipo de cianuro

Autor	Técnica	Tipo de Cianuro	Condiciones			Remoción (%)
			pH	Temperatura (°C)	Tiempo (horas)	
Correa et al. (2020)	Oxidación catalítica	Cianuro total	6.8	25	6	98.55
Tao et al. (2018)	Oxidación catalítica	Cianuro total	7	25	48	90.20
Barbosa et al. (2015)	Oxidación catalítica	Cianuro total	9.5	25	2	80.00
Feijoo et al. (2021)	Oxidación catalítica	Cianuro libre	12.3	600	4	96.30
Tae-Kyoung et al. (2018)	Oxidación avanzada	Cianuro libre	11	25	12	98.40
Chegeni et al. (2021)	Electrocoagulación	Cianuro total	9	26	1	99.00
Morillo et al. (2019)	Ozonificación-H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Cianuro libre	11	30	0.05	97.00

Natacha et al. (2021)	Cristalización	Cianuro total	7	25	0.16	80.00
Estrada et al. (2020)	Adsorción	Cianuro libre	9	35	4	99.95
L Kariim et al. (2020)	Adsorción	Cianuro total	7	80	7	98.00
Yubo et al. (2019)	Adsorción	Cianuro total	12	85	2	95.60
Mebrahtom et al. (2017)	Adsorción	Cianuro libre	8	120	1	90.60
Maulana et al. (2018)	Adsorción	Cianuro total	11	25	12	90.00
Shadman et al. (2021)	Adsorción	Cianuro total	8	30	48	90.00
Montalvo et al. (2021)	Hidrodinámica	Cianuro total	9.5	25	2	99.90
Sundar et al. (2021)	Fotocatalítica	Cianuro total	8	35	2	75.00
Huda y Helmy (2021)	Precipitación	Cianuro total	10	25	2	92.40
Mingqing et al. (2020)	Flotación	Cianuro total	7	26	24	84.51

Sedova et al. (2021)	Biorremediación	Cianuro libre	9	20	24	98.00
Wei-da et al. (2021)	Biodegradación	Cianuro total	9	30	480	95.00
Jaramillo et al. (2016)	Biorremediación	Cianuro total	7	14	96	86.00
Fariborz et al. (2021)	Biorremediación	Cianuro total	10	25	48	77.00
Khamar et al. (2015)	Biodegradación	Cianuro libre	9.5	25	96	75.00
Vargas et al. (2020)	Biodegradación	Cianuro libre	8	35	52	70.00
Rivera et al. (2021)	Biodegradación	Cianuro libre	7.5	37	72	62.00

---

*Fuente: Elaboración propia*

De la Tabla N°04 se reportan estudios los cuales muestran que los factores influyentes para lograr que el tratamiento sea eficaz y viable dependerá también del tipo de método, además, de los agentes adsorbentes que empleen para lograr altas cantidades de disminución. Las mejores condiciones tal como se mostró trabajan a un pH alcalino y como tal la temperatura varía según el método y/o técnica, en algunos casos recomiendan aumentar la temperatura para lograr mejores resultados.

(Estrada et al. 2020) en su investigación experimental utilizando la técnica de adsorción y empleando carbón activado con peróxido de hidrógeno, obtuvo una remoción del 99.95% logrando una concentración final de 0,56 mg/L reportando que las condiciones más eficaces fueron a temperatura 35°C, con un tiempo de reacción de 4 h y pH 9.0. Sin embargo, Halet et al. (2015) en su análisis a nivel laboratorio obtuvo una concentración final de 20,04 mg CN-/g a 20°C empleando también carbón activo; con un tiempo de reacción de 2 h y un pH de 10,8 a 11,0 refiriendo que la baja capacidad de adsorción se debería a un débil mecanismo de adsorción entre carbón y cianuro. De igual manera, los valores cuyas tendencias concuerdan con los presentados por Aliprandini et al. (2020) quien evaluó aguas residuales cianuradas logrando porcentajes de remoción entre el 93% y 98% aplicando un pH de 12, temperatura 25°C y un tiempo de reacción de 3 h. Por otra parte, Yubo et al. (2019) empleando temperaturas mayores 85°C, pH 10 en un tiempo de contacto de 2 horas alcanzó en su estudio una degradación del 95,60% empleando adsorbentes de pirita (10g) en condiciones alcalinas logrando reducir concentraciones de cianuro total en los primeros 40 minutos sosteniendo que al elevar los niveles de temperatura se destruyen los escudos de hidratación y el CN- es absorbido por mayor energía.

Por otro lado, dentro de las 25 investigaciones estudiadas más del 80% de tratamientos se aplicaron en aguas procedentes de mineras de oro, seguidamente el 15% fueron recolectadas de refinerías y finalmente el 5% se trató en aguas recogidas de una planta de fundición alúmina tal como se evidencia en la Tabla N°05:

**Tabla N 5º.** Eficiencia de remoción de cianuro según el emisor del agua residual efluente de la actividad minera

<b>Autor</b>	<b>Técnica</b>	<b>Tipo de Cianuro</b>	<b>Nivel de inversión de tratamiento</b>	<b>Emisor de efluente</b>	<b>Remoción (%)</b>
Tao et al. (2018)	Fotoelectrocatalítica	Cianuro total	Medio	Minera de oro	90.2
Chegeni et al. (2021)	Electrocoagulación	Cianuro total	Alto	Minera de oro	99.00
Natacha et al. (2021)	Cristalización Electroquímica	Cianuro total	Medio	Minera de oro	80.00
Barbosa et al. (2015)	Fotocatalítica	Cianuro total	Alto	Minera de oro	80.00
Tae-Kyoung et al. (2018)	Oxidación avanzada	Cianuro libre	Alto	Minera de oro	98.40
Feijoo et al. (2021)	Oxidación catalítica	Cianuro libre	Medio	Minera de oro	96.30
Mebrahtom et al. (2017)	Adsorción	Cianuro libre	Bajo	Minera de oro	90.60
Yubo et al. (2019)	Adsorción	Cianuro total	Medio	Minera de oro	95.60
Maulana et al. (2018)	Adsorción	Cianuro total	Medio	Minera de oro	90.00
Mingqing et al. (2020)	Flotación	Cianuro total	Medio	Minera de oro	84.51
Khamar et al. (2015)	Biodegradación	Cianuro libre	Bajo	Minera de oro	75.00

Jaramillo et al. (2016)	Biorremediación	Cianuro Total	Bajo	Minera de oro	86.00
Correa et al. (2020)	Oxidación fotocatalítica	Cianuro total	Bajo	Minera de oro	98.55
Estrada et al. (2020)	Adsorción	Cianuro libre	Medio	Minera de oro	99.95
Shadman et al. (2021)	Adsorción	Cianuro total	Medio	Minera de oro	90.00
Rivera et al. (2021)	Biodegradación	Cianuro libre	Bajo	Minera de oro	62.00
Wei-da et al. (2021)	Biodegradación	Cianuro total	Bajo	Minera de oro	95.00
Vargas et al. (2020)	Biodegradación	Cianuro libre	Bajo	Minera de oro	70.00
Fariborz et al. (2021)	Biorremediación	Cianuro total	Medio	Minera de oro	77.00
Sedova et al. (2021)	Biorremediación	Cianuro libre	Medio	Minera de oro	98.00
(Montalvo et al. (2021)	Fotocatalítica	Cianuro total	Alto	Refinería	99.00
(Morillo et al. 2019)	Ozonificación con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Cianuro libre	Medio	Refinería	97.00
L Kariim et al. (2020)	Adsorción	Cianuro total	Medio	Refinería	98.00
Sundar et al. (2021)	Fotocatalítica	Cianuro total	Medio	Refinería	75.00
Huda y Helmy (2021)	Precipitación y Filtración	Cianuro total	Alto	Planta de fundición alumina	92.40

---

*Fuente: Elaboración propia*

De la Tabla N°05 se observa que para las aguas residuales de la industria minera las técnicas más eficaces reportadas son por adsorción e hidrodinámica que alcanzaron valores de remoción de cianuro máximos de 99,95 y 99,90% respectivamente. Montalvo et al. (2021) empleando la técnica hidrodinámica logró el 99.9% de remoción, utilizando un método combinado con cavitación hidrodinámica y peróxido de hidrógeno, siendo su emisor efluentes mineras de oro, asimismo, presenta un costo medio convirtiéndola en una técnica viable para la degradación de cianuro total, estos valores presentan coincidencia con los datos reportados por Rajashree et al. (2019) quien en su investigación mostró el proceso de la factibilidad de los tratamientos por cavitación hidrodinámica obteniendo un 95,60% de eliminación de cianuro presentes en la extracción de oro, utilizando a escala piloto tratamientos óptimos para lograr depurar compuestos cianurados. Asimismo, los métodos físicos también presentan una alta optimización de remoción siendo la técnica de adsorción la más eficiente y práctica para disminuir altas concentraciones de cianuro presentes en efluentes provenientes de emisores de la minería de oro, mostrándose económicamente factible para eliminar residuos cianurados (Yingjie et al., 2019). A diferencia de Quingyun et.al. (2019) quien en su investigación logró remover cianuro libre en concentraciones considerables, sin embargo, la inversión del tratamiento resulto tener un costo elevado debido al uso de altas temperaturas que implica obtener carbón activado, asimismo, indica la existencia de métodos eficaces y rentables para obtener altas remociones de CN tales como los tratamientos combinados por adsorción y biodegradación pero que requieren un mayor tiempo de reacción.

## V. CONCLUSIONES

- Las técnicas de adsorción e hidrodinámica alcanzaron el mayor porcentaje de remoción de cianuro, posicionándose como las más eficaces a comparación de los métodos químicos y biológicos.
- Las técnicas de adsorción, electrocoagulación, y biorremediación lograron grados de remoción del 99.95%, 99% y 98% en lapsos de tiempo de 1, 2 y 24 horas respectivamente.
- Las mejores condiciones para lograr un alto grado de remoción de cianuro libre y cianuro total dentro de los métodos químicos y físicos se evaluaron a un pH de neutro a alcalino (7 - 12), a una temperatura promedio (25°C - 50°C) finalmente obteniendo un % de degradación de cianuro entre 1 a 24 horas. A diferencia de las técnicas biológicas que requieren un tiempo promedio mayor a 480 horas.
- El 80% de artículos recopilados presentan como emisor de efluentes a mineras de oro, en las cuales, se removieron altos porcentajes de CN<sup>-</sup>.

## VI. RECOMENDACIONES

- Elaborar sistemas que empleen nuevas y eficientes tecnologías que ayuden a las pequeñas mineras en la mitigación de los problemas ambientales causados por procesos de cianuración.
- Realizar un análisis a profundidad en bases de datos confiables que contengan artículos científicos indexados de acceso cerrado para obtener mayor información relevante sobre el tema en estudio.
- Realizar estudios donde las técnicas físicas, químicas y biológicas sean aplicadas en industrias de diferentes rubros como mineros, textiles y/o rubros de salud a nivel experimental.
- Se muestran diversos aportes de la literatura los cuales informan sobre la puesta en práctica de técnicas de remoción de cianuro que permiten reducir niveles de concentración presentes en aguas residuales, sin embargo, deben tenerse en cuenta las ventajas y desventajas que presentan este tipo de tratamientos a través de su aplicabilidad.

## REFERENCIAS

- ALIPRANDINI, Paula, et al., 2020. Investigation of mercury cyanide adsorption from synthetic wastewater aqueous solution on granular activated carbón. Journal of Water Process Engineering. [en línea]. vol. 34. [Fecha de consulta: 10 de julio del 2022] DOI: 10.1016/j.jwpe.2020.101154. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714420300337>
- ANCULLE, Flor y PUMA, Silvia, 2015. Aplicación del método de oxidación química con peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) para la reducción de cianuro presente en los efluentes de la planta de beneficio Sotrami S.A. Tesis (para optar el Título de Ingeniero Químico). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín [en línea], Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/9712/IQanqufm%26puviss.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- APAZA Aquino, Hugo, et al., 2021. Microorganismos empleados para la biorremediación de efluentes mineros con cianuro. Revista Aporte Santiaguino [en línea]. vol. 14, pp. 120–137. [Fecha de consulta: 23 de Septiembre del 2021] DOI 10.32911/as.2021.v14.n1.711. Disponible en: [http://revistas.unasam.edu.pe/index.php/Aporte\\_Santiaguino/article/view/711/943](http://revistas.unasam.edu.pe/index.php/Aporte_Santiaguino/article/view/711/943)
- ATAALLAH, Bahrami, et al., 2020. Isolation and removal of cyanide from tailing dams in gold processing plant using natural bitumen. Journal of Environmental Management. [en línea]. vol. 262. [Fecha de consulta: 05 de julio del 2022]. DOI 10.1016/j.jenvman.2020.110286. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720302218> ISSN 0301-4797
- BARBOSA, Aida; CASTRO, Isel, 2015. Remoción fotocatalítica de cianuro empleando catalizadores tio<sub>2</sub>, FEMoo4/tio<sub>2</sub>, HPMocu/tio<sub>2</sub> con

radiación solar simulada y reactor colector cilíndrico parabólico. Avances en Ciencias e Ingeniería [en línea]. 3(4), 69-79 [Fecha de consulta: 3 de mayo del 2022]. Disponible en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323627688006>

ISSN: 0718-8706

- CAHUANA, Edwin, 2017. Manejo ambiental de efluentes del proceso de cianuración de oro en la planta de beneficio de la corporación minera Ananea S.A. Tesis (para optar el Título de Ingeniero Metalurgista). Puno: Universidad Nacional del Altiplano [en línea], Disponible en: [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4191/Cahuana\\_Hancco\\_Edwin\\_Jacinto.pdf?sequence=1&id Allowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4191/Cahuana_Hancco_Edwin_Jacinto.pdf?sequence=1&id Allowed=y)
- CAZAR, Andrea, 2015. Recuperación de compuestos de cianuro de aguas residuales proveniente de la extracción del oro utilizadas como aguas de riego en la zona minera Zaruma - Portovelo. Tesis (para optar el Título de Ingeniera Química de Alimentos). Quito: Universidad Central del Ecuador. [en línea], Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6424/1/T-UCE-0008094.pdf>
- CORREA Marín, Haydi y NEYRA Medina, Pedro, 2019. Cinética de oxidación del cianuro libre en agua por aplicación de ozono. Tesis (para optar el Título de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos). Cajamarca: Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo [en línea], Disponible en: <http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/967/CIN%C3%89TICA%20DE%20OXIDACION%20DEL%20CIANURO%20LIBRE%20EN%20AGUA%20POR%20APLICACION%20DE%20OZONO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- CORREA, Turizo; MARTINEZ, Mestre; MARRUGO, Pautt; NAVARRO, Baldiris; SEVERICHE, Carlos, 2020. Kinetic Study of Cyanide Degradation from Gold mining wastewater Using Photocatalysis. IOP

conference series. Materials science and engineering, [en línea]. vol. 10. [Fecha de consulta: 3 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757899X/844/1/012011/pdf> ISSN: 1757-8981.

- CHEGENI, Meysam, et al., 2021. Simultaneous removal of lead and cyanide from the synthetic solution and effluents of gold processing plants using electrochemical method. Journal of water process engineering. Irán: Tarbiat Modares University, [en línea]. vol. 43. [Fecha de consulta: 3 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714421003718> ISSN: 2214-7144.
- CHOUDHARY, Monika, et al., 2020. Capítulo 1- Producción de biocombustible a partir de biomasa lignocelulósica: Introducción e ingeniería metabólica para el escalado de fermentación. Genetic and Metabolic Engineering for Improved Biofuel Production from Lignocellulosic Biomass [en línea]. vol. 1, pp. 1–12. [Fecha de consulta: 2 de Octubre del 2021] DOI 10.1016/B978-0-12-817953-6.00001-4. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B97801281795360014>. ISSN: 9780128179536.
- DARBAN, A., 2020. A review on industrial wastewater treatment via electrocoagulation processes. Current Opinion in Electroche [en línea]. vol. 22, pp. 154–169. [Fecha de consulta: 19 de Septiembre del 2021] DOI 10.1016/j.coelec.2020.05.009. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451910320301095>. ISSN: 2451-9103.
- DIAZ, Mauricio., et al., 2016. Experimentación para la destrucción de cianuro en pulpa y solución de lavado del espesador de relave minera inmaculada. Tesis (para optar el Título de Ingeniero Metalurgista). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín [en línea]. Disponible

en:[http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3357/IMdive\\_mm07.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3357/IMdive_mm07.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- DWIVEDI, Naveen; BALOMAJUMDER, Chandrajit; MONDAL, Prasenjit. 2016. Comparative investigation on the removal of cyanide from aqueous solution using two different bioadsorbents. *Water Resources and Industry*. [en línea]. vol. 15, pp. 28-40. [Fecha de consulta: 10 de julio del 2022]. DOI: 10.1016/j.wri.2016.06.002. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212371716300543> ISSN 2212-3717.
- ESTRADA, Claudia; GALEANO, Narmer; RESTREPO, Gloria. 2020. Evaluation of cyanide and heavy metals removal in liquid effluents from small mining's gold benefit, by adsorption with activated carbon and hydrogen peroxide in Segovia, Antioquia. *Dyna rev.fac.nac.minas* [en línea]. vol.87, 09-17. [Fecha de consulta: 3 de mayo del 2022]. DOI: 10.15446/dyna.v87n212.79716 . Disponible en:[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S001273532020000100009&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S001273532020000100009&lng=en&nrm=iso) ISSN: 0012-7353.
- FARIBORZ, Faraji; HARSHIT, Mahandra; AHMAD, Ghahreman. 2021. An investigation for biogenic cyanide distillation for gold recovery and cyanide bioremediation by *Bacillus megaterium*. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea]. vol. 9. [Fecha de consulta: 8 de mayo del 2022]. DOI: 10.1016/j.jece.2021.106030. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721010071> ISSN: 2213-3437
- FARID, Halet, et al., 2015. Eliminación de cianuro de soluciones acuosas por adsorción en carbón activado preparado a partir de subproductos lignocelulósicos, *Journal of Dispersion Science and*

Technology. Vol. 36: 12. [Fecha de consulta: 10 de julio del 2022].  
DOI: 10.1080/01932691.2015.1005311. Disponible en:  
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01932691.2015.1005311>  
ISSN: 1736-1741

- FEIJOO, C Y; DE LA TORRE, E; NARVÁEZ, R. 2021. Cyanide ion oxidation by catalytic effect of nickel ferrites activated carbon composites. Global Journal of Environmental Science and Management. [en línea]. pp. 239-258. [Fecha de consulta: 3 de mayo del 2022]. DOI: 10.22034/gjesm.2021.02.07. Disponible en:  
<https://www.proquest.com/docview/2519446005/2CD57E2BC3948CDPQ/1>  
ISSN: 23833572
- GARCÍA TEVA, Fernando. 2018. Aplicación de tecnologías de filtración mediante membranas en la depuración de aguas residuales urbanas para su reutilización [en línea]. Tesis (para optar el Título de Ingeniero Químico) Extremadura: Universidad de Extremadura. Disponible en:  
[https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/8639/1/TDUEX\\_2018\\_Teva\\_Garcia.pdf](https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/8639/1/TDUEX_2018_Teva_Garcia.pdf)
- GORDILLO Gonzáles, Maria Camila. 2018. Biodegradación de cianuro en aguas y suelos contaminados por la minería de oro. Tesis (Especialista en Gestión Ambiental). Bogotá: Universidad de las Américas [en línea]. Disponible en:  
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7134/1/083531-2018%20I-GA.pdf>
- GRZEGORZ, Boczkaj y FERNANDES, André. 2017. Wastewater treatment by means of advanced oxidation processes at basic pH conditions: A review. Chemical Engineering Journal [en línea]. vol. 320, no. 2017, pp. 608–633. [Fecha de consulta: 23 de septiembre del 2021] DOI 10.1016/j.cej.2017.03.084. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138589471730443>

6.

ISSN: 1385-8947

- HALET, Farid, et al., 2015. Eliminación de cianuro de soluciones acuosas por adsorción en carbón activado preparado a partir de subproductos lignocelulósicos. Revista de ciencia y tecnología de dispersión. [en línea]. vol. 35. (12). pp. 1736-1741. [Fecha de consulta: 12 de julio del 2022]. DOI: 10.1080/01932691.2015.1005311. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01932691.2015.1005311>
  - HUDA, M; HELMY, Q. 2021. Removal of cyanide from alumina smelter wastewater using precipitation and filtration technique. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science [en línea]. vol. 1. [Fecha de consulta: 5 de mayo del 2022]. DOI: 10.1088/1755-1315/896/1/012075. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2597838935/742FCE4C8148402BPQ/18>
  - JARAMILLO, Marco; et al., 2016. Management of aquatic macrophyte in accumulation and transformation of cyanide resulting from gold procesing in the mine “La Coqueta”. Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas [en línea]. vol. 20 (1): 63-77. [Fecha de consulta: 8 de mayo del 2022]. DOI: 10.17151/bccm.2016.20.1.6 Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S012330682016000100006&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012330682016000100006&lang=es)
- ISSN: 0123-3068
- KHAMAR, Z; MAKHDOUMI-KAKHKI, A; MAHMUDY GHARAIE, M.H. 2015. Remediation of cyanide from the gold mine tailing pond by a novel bacterial co-culture. International Biodeterioration & Biodegradation [en línea]. vol. 99, pp. 123-128. [Fecha de consulta: 5 de mayo del 2022]. DOI: 10.1016/j.ibiod.2015.01.009. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096483051500020>

7

ISSN 0964-8305

- KOLADE, Mutiu, et al., 2016. Estudios sobre el mecanismo de bloqueo de poros y la viabilidad técnica de un proceso híbrido PAC-MF para la recuperación de agua de riego a partir de POME biotratado. Ciencia y tecnología de la separación [en línea]. vol. 51, no. 2016, pp. 2047–2061. [Fecha de consulta: 22 de Septiembre del 2021] DOI: 10.1080/01496395.2016.1192192. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01496395.2016.1192192>

2.

- L. Kariim; A.S, et al., 2020. Development of MWCNTs/TiO<sub>2</sub> nanoadsorbent for simultaneous removal of phenol and cyanide from refinery wastewater. Scientific African [en línea]. vol. 10. [Fecha de consulta: 3 de mayo del 2022]. DOI: 10.1016/j.sciaf.2020.e00593. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S246822762030331>

8

ISSN: 2468-2276

- MACHACA, David y YANA, Pedro, 2017. Remoción de cianuro de aguas residuales minero metalúrgico por proceso de oxidación avanzada y fotocátalisis solar. Tesis (para optar el Título de Ingeniero Químico). Puno: Universidad Nacional del Altiplano [en línea]. Disponible en: [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/8803/Machaca\\_Machacca\\_David\\_Eloy\\_Yana\\_Hanco\\_Pedro.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/8803/Machaca_Machacca_David_Eloy_Yana_Hanco_Pedro.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- MAMELKINA, María y HERRAIZ, Miguel. 2020. Tratamiento de aguas residuales mineras contaminadas con cianuro por procesos de coagulación: un estudio mecanicista. Separation and purification technology [en línea]. vol. 237. [Fecha de consulta: 5 de octubre del 2021] DOI 10.1016/j.seppur.2019.116345. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138358661934774>

4. ISSN: 1383-5866.

- MANUCHI, MM; SUKDEO N; STINNER W. 2022. Potencial para eliminar metales pesados y cianuro de aguas residuales de minería de oro usando biocarbón. Física y Química de la Tierra. [en línea]. vol. 126. [Fecha de consulta: 05 de julio del 2022]. DOI: 10.1016/j.pce.2022.103110. Disponible en: [https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2s2.085123244828&origin=resultslist&sort=plff&src=s&st1=Removal+of+Cyanide+by+Adsorption&sid=6bc2d9ee662dec725cbd3fdf5be9a45e&sot=b&sdt=b&sl=47&s=TITLEABSKEY%28Removal+of+Cyanide+by+Adsorption%29&relpos=1&citeCnt=1&searchTerm=&featureToggles=FEATURE\\_NEW\\_DOC\\_DETAILS\\_EXPORT:1](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2s2.085123244828&origin=resultslist&sort=plff&src=s&st1=Removal+of+Cyanide+by+Adsorption&sid=6bc2d9ee662dec725cbd3fdf5be9a45e&sot=b&sdt=b&sl=47&s=TITLEABSKEY%28Removal+of+Cyanide+by+Adsorption%29&relpos=1&citeCnt=1&searchTerm=&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1) ISSN: 14747065
- MAULANA, Irwin; TAKAHASHI, Fumitake. 2018. Cyanide removal study by raw and iron-modified synthetic zeolites in batch adsorption experiments. Journal of Water Process Engineering [en línea]. vol. 22, pp. 80-86. [Fecha de consulta: 3 de mayo del 2022]. DOI: 10.1016/j.jwpe.2018.01.013. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714417306232?via%3Dihub> ISSN: 2214-7144
- MAYORCA Clemente, Sadi. 2018. Reducción de cianuro del agua industrial contaminada mediante biopelícula microbiana Chala - Arequipa. Tesis (para optar el Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo [en línea]. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/24435/Mayorca\\_C\\_S.pdf?sequence=7&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/24435/Mayorca_C_S.pdf?sequence=7&isAllowed=y)
- MEBRAHTOM Gebresemati, NIGUS Gabbiye, OMPRAKASH Sahu. 2017. Sorption of cyanide from aqueous medium by coffee husk: Response surface methodology. Journal of Applied Research and Technology. [en línea]. vol. 15, pp. 27-35. [Fecha de consulta: 3 de

mayo del 2022]. DOI: 10.1016/j.jart.2016.11.002. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1665642317300032>

ISSN: 1665-6423

- MEGO Estela, Enrique. 2016. Evaluación de la oxidación química con peróxido de hidrógeno y ósmosis inversa en el tratamiento de efluentes de minera Coimolache. Maestría (Desarrollo y Medio Ambiente). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca [en línea]. Disponible en:  
[https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1301/TESIS%20MAESTRIA%20ENRIQUE%20MEGO%20Rev.3%20%28LDE%29.pdf?sequence=1&isAllow\\_ed=y](https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1301/TESIS%20MAESTRIA%20ENRIQUE%20MEGO%20Rev.3%20%28LDE%29.pdf?sequence=1&isAllow_ed=y)
- MEYSAM, Chegeni, et al., 2021. Simultaneous removal of lead and cyanide from the synthetic solution and effluents of gold processing plants using electrochemical method. Journal of Water Process Engineering [en línea]. vol 43. [Fecha de consulta: 2 de mayo del 2022] DOI: 10.1016/j.jwpe.2021.102284. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714421003718>
- MINGQING, Zhang, et al., 2020. Removal of copper cyanide by precipitate flotation with ammonium salts. Process Safety and Environmental Protection [en línea]. pp. 82-87. [Fecha de consulta: 5 de mayo del 2022]. DOI: 10.1016/j.psep.2019.10.031. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582019311991>
- MONTALVO, Javier, et al., 2021. Combined treatment based on synergism between hydrodynamic cavitation and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> for degradation of cyanide in effluents. Minerals Engineering [en línea]. vol. 171. [Fecha de consulta: 5 de mayo del 2022]. DOI:

10.1016/j.mineng.2021.107119. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089268752100348>

[4](#)

ISSN 0892-6875

- MORILLO, Jefferson, et al., 2019. Tratamiento combinado con ozono para la eliminación de cianuro de aguas residuales: una comparación. Rev. Int. Contam. Ambient [online]. vol. 05. [Fecha de consulta: 2 de mayo del 2022] DOI: 10.20937/rica.2019.35.02.16. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S018849992019000200459&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018849992019000200459&lng=es&nrm=iso)
- MUDARRA, Jhonatan, 2016. Efectos del carbón activado de la cáscara de coco, reforzado con iones cúpricos, en la remoción de soluciones cianuradas. Tesis (para optar el Título de Ingeniero Ambiental). Trujillo: Universidad Cesar Vallejo [en línea], Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/6880/mudarra\\_vj.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/6880/mudarra_vj.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- NARIYAN, Elham, SILLANPAA, Mika y WOLKERSDORFER, Christian, 2017. Tratamiento de electrocoagulación del agua de la mina de metal europea en explotación más profunda - Estudios de rendimiento, isoterma y cinética. Separation and Purification Technology [en línea]. pp. 363–373. [Fecha de consulta: 2 de octubre del 2021] DOI 10.1016/j.seppur.2016.12.042. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586616306165>. ISSN: 1383-5866.
- NATACHA, Martin, et al., 2021. Eliminación y recuperación de cianuro por proceso de cristalización electroquímica. Agua [en línea]. vol. 13 (19), 2704. [Fecha de consulta: 2 de mayo del 2022] DOI: 10.3390/w13192704. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/19/2704>  
ISSN: 0188-4999.

- OSORIO Rivera, Miguel, et al., 2020. Biorremediation of effluents of the mining industry contaminated with cyanide. Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional [en línea]. vol. 5, pp. 181-190. [Fecha de consulta: 23 de septiembre del 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7398398>  
ISSN 2550-682X.
  
- QUINGYUN, Li, et al., 2019. Synergic effect of adsorption and biodegradation enhance cyanide removal by immobilized *Alcaligenes* sp. strain DN25. Journal of Hazardous Materials. [en línea]. vol. 364, pp. 367-375. [Fecha de consulta: 10 de julio del 2022]. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2018.10.007. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389418308975> ISSN 0304-3894.
  
- RAJASHREE, Jawale; PARAG, Gogate. 2019. Novel approaches based on hydrodynamic cavitation for treatment of wastewater containing potassium thiocyanate. Ultrasonics Sonochemistry. . [en línea]. vol. 52, pp. 214-223. [Fecha de consulta: 5 de mayo del 2022]. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2018.11.019. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417718305248> ISSN 1350-4177.
  
- RIVERA, Angélica, et al., 2021. Biological treatment for the degradation of cyanide: A review. Journal of Materials Research and Technology [en línea]. vol. 12, pp. 1418-1433. [Fecha de consulta: 5 de mayo del 2022]. DOI: 10.1016/j.jmrt.2021.03.030. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785421002568>  
ISSN 2238-7854
  
- R.R, Correa, et al., 2020. Kinetic Study of Cyanide Degradation from Gold mining wastewater Using Photocatalysis. Materials Science and Engineering [en línea]. vol. 844. [Fecha de consulta: 2 de mayo del 2022] DOI: 10.1088/1757-899X/844/1/012011. Disponible en:

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/844/1/012011>

- SEDOVA, Anastasia; RUCKÁ, Lenka; BOJAROVÁ, Pavla. 2021. Application Potential of Cyanide Hydratase from *Exidia glandulosa*: Free Cyanide Removal from Simulated Industrial Effluents. *Catalysts*; Basel [en línea]. vol. 11 (11). [Fecha de consulta: 8 de mayo del 2022]. DOI: 10.3390/catal11111410. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2602018125/742FCE4C8148402BPQ/10>  
ISSN: 20734344
- SHADMAN, S; MASSINAEI, M; ZERAATKAR, A. 2021. Removal of cyanide from the gold cyanidation plant tailings using graphene-based magnetic nanocomposites. *Chemical Papers* [en línea]. vol. 75(10), pp. 5543–5560. [Fecha de consulta: 3 de mayo del 2022]. DOI: 10.1007/s11696-021-01678-9. Disponible en: <https://sci-hub.se/https://link.springer.com/article/10.1007/s11696-021-01678-9>
- SONG, Yoghui, et al., 2015. Removal of heavy metals and cyanide from gold mine waste-water by adsorption and electric adsorption: Treatment cyanide waste-water by electric adsorption. *Journal of chemical technology and biotechnology*. [en línea]. vol. 91. [Fecha de consulta: 5 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jctb.4859>  
ISSN: 0268-2575.
- SUNDAR, Pattanayak, et al., 2021. Photocatalytic degradation of cyanide using polyurethane foam immobilized Fe-TCPP-S-TiO<sub>2</sub>-rGO nano-composite. *Journal of Environmental Management* [en línea]. vol. 297. [Fecha de consulta: 5 de mayo del 2022]. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113312. Disponible en; <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721013748>  
ISSN: 0301-4797
- TAE-KYOUNG, Kim, et al., 2018. Degradation mechanism of cyanide

in water using a UV-LED/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Cu<sup>2+</sup>. *Chemosphere* [en línea]. pp. 441-449. [Fecha de consulta: 3 de mayo del 2022]. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.05.198. Disponible en:

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004565351831071](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653518310713)

[3](#)

ISSN: 0045-6535

- TAHREEN, Amina, SAEDI Jami, Mohammed. y ALI, Fathilah. 2020. Role of electrocoagulation in wastewater treatment: A developmental review. *Journal of Water Process Engineering* [en línea]. vol. 37, no. 2020. [Fecha de consulta: 23 de septiembre del 2021] DOI 10.1016/j.jwpe.2020.101440. Disponible en: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221471442030318](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714420303184)  
[4](#). ISSN: 2214-7144
- TAO, Guo, et al., 2018. Persulfate enhanced photoelectrocatalytic degradation of cyanide using a CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> modified graphite felt cathode. *Chemical Engineering Journal* [en línea]. pp. 535-542. [Fecha de consulta: 2 de mayo del 2022] DOI 10.1016/j.cej.2018.04.143. Disponible en: [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S138589471830](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894718307162)  
[7162](#) ISSN: 1385-8947
- TU, Yubo, et al., 2019. Removal of cyanide adsorbed on pyrite by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oxidation under alkaline conditions. *China: Journal of environmental sciences*. [en línea]. vol. 78. [Fecha de consulta: 4 de octubre del 2021]. Disponible en: [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S100107421830](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001074218308039)  
[8039](#) ISSN 1001-0742
- VARGAS, C; PANAY, A; CARMONA, M. 2020. Biodegradation of cyanide using recombinant *Escherichia coli* expressing *Bacillus pumilus* cyanide dihydratase. *Revista Colombiana de Biotecnología* [en línea]. vol. 22(1), pp. 27–35. [Fecha de consulta: 8 de mayo del 2022]. DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v22n1.79559. Disponible en:

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/7955>

9

- VIÑA Mediavilla, Juan, 2019. Oxidación química y fotoquímica de especies cianuradas presentes en aguas residuales de origen industrial. España: Universidad de Oviedo [en línea], [Fecha de consulta: 6 de octubre del 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=261230>
  
- WEI-DA, Wang, et al., 2021. Harmless treatment of cyanide tailings by a bifunctional strain JK-1 based on biodegradation and biomineralization. Journal of Cleaner Production [en línea]. vol. 313. [Fecha de consulta: 5 de mayo del 2022]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127757. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621019752>  
ISSN: 0959-6526
  
- XIONG, Qiao, et al., 2021. An environmental-friendly approach to remove cyanide in gold smelting pulp by chlorination aided and corncob biochar: Performance and mechanisms. Journal of Hazardous Materials. [en línea]. vol. 408. [Fecha de consulta: 10 de julio del 2022]. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.124465. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389420324559>  
9 ISSN: 0304-3894
  
- YINGJIE, Dai, et al., 2019. The adsorption, regeneration and engineering applications of biochar for removal organic pollutants: A review. Chemosphere. [en línea]. vol. 223, pp. 12-27. [Fecha de consulta: 10 de julio del 2022]. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.01.161. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653519301778>

8

- YUBO, Tu, et al., 2019. Removal of cyanide adsorbed on pyrite by

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oxidation under alkaline conditions. Journal of Environmental Sciences [en línea]. pp. 287-292. [Fecha de consulta: 3 de mayo del 2022]. DOI: 10.1016/j.jes.2018.10.013. Disponible en: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S100107421830803](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074218308039)

[9](#)

ISSN: 1001-0742

ANEXOS

Tabla N 6º. Matriz de categorización.

AMBITO TEMÁTICO	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CATEGORÍAS	SUBCATEGORÍAS
Técnicas de remoción de cianuro en aguas residuales de la actividad minera	¿Cuáles son las técnicas de mayor eficiencia de remoción de cianuro en aguas residuales de la actividad minera reportadas en artículos científicos indexados de acceso libre?	¿Qué técnica presenta mayor porcentaje de remoción de cianuro?	Evaluar las técnicas más eficientes de remoción de cianuro en aguas residuales de la actividad minera.	Evaluar el tiempo y grado de remoción de cianuro de efluentes de la actividad minera según el tipo de técnica aplicada.	Físicos	Adsorción
						Fotocalizador
						Precipitación
						hidrodinámica
					Químicos	Oxidación
						Electrocoagulación
						Coagulación
					Biológicos	Biorremediación
Biodegradación						

		¿Cuáles son las mejores condiciones de remoción de cianuro según el tipo de cianuro?		Evaluar las mejores condiciones de remoción de cianuro de efluentes mineros según el tipo de cianuro	Tipo de Cianuro	Cianuro Libre
						Cianuro Total
		¿Cuál es la eficiencia de remoción según el tipo de efluente tratado en la actividad minera?		Evaluar la eficiencia de remoción de cianuro según el emisor del agua residual efluente de la actividad minera.	Tipo de efluente	Minera de oro
						Planta de fundición de oro
						Refinería

**Tabla N 7º.** Matriz de recolección de datos.

N°	Año	Autor	Título	Tipo de Diseño	Técnica aplicada	Tipo de Cianuro	Condiciones	% Remoción	Conclusiones
1	2021	Chegeni et.al.	Eliminación simultánea de plomo y cianuro de la solución sintética y efluentes de plantas procesadoras de oro mediante método electroquímico	Experimental puro	Electrocoagulación	Cianuro total	Ph:9 T (°C): 26 T(horas): 1	99.0	El método de electrocoagulación es una técnica eficaz para la eliminación simultánea de plomo y cianuro de efluentes contaminados.
2	2018	Tao et.al.	Degradación fotoelectrocatalítica de cianuro mejorada con persulfato utilizando un cátodo de fieltro de grafito modificado con CuFe 2 O 4	Experimental puro	Fotoelectrocatalítica	Cianuro total	Ph: 7 T (°C): 25 T(horas): 48	90.2	La técnica fotocatalítica mostró alta eficiencia y estabilidad para la remoción de CN.

3	2020	Correa et.al.	Estudio cinético de la degradación del cianuro de las aguas residuales de la minería del oro mediante fotocatalisis	Experimental puro	Oxidación Fotocatalítica	Cianuro total	Ph: 6.8 T (°C): 25 T(horas): 6	98.55	La mayoría de los ensayos mostraron que la cinética del compuesto degradado puede ajustarse a un modelo de pseudo primer orden.
4	2021	Natacha et.al.	Eliminación y recuperación de cianuro por proceso de cristalización electroquímica	Experimental puro	Cristalización Electroquímica	Cianuro Total	Ph: 7 T (°C): 25 T(horas): 0.16	80.0	Técnica eficaz para remover alto porcentaje de cianuro.

5	2019	Morillo et.al.	Tratamiento combinado con ozono para la eliminación de cianuro de aguas residuales: una comparación	Experimental puro	Ozonificación con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Cianuro libre	Ph: 11 T (°C): 30 T(horas): 0.05	97.0	En este caso, se requirieron 3 min de tratamiento para la remoción total del cianuro libre.
6	2015	Barbosa et.al.	Remoción Fotocatalítica de cianuro empleando catalizadores TiO <sub>2</sub>	Experimental puro	Fotocatalítica	Cianuro total	Ph: 9.5 T (°C): 25 T(horas): 2	80.0	Esto mostró que la actividad del TiO <sub>2</sub> con Fe y Cu, depende de la absorción de la radiación visible y no del cianuro adsorbido.

7	2018	Tae-Kyoung et al.	Mecanismo de degradación del cianuro en agua usando un UV-LED/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Cu <sup>2+</sup> +sistema	Experimental puro	Oxidación avanzada	Cianuro libre	Ph: 11 T (°C): 25 T(horas): 12	98.40	Es un método alternativo para eliminar el cianuro de las aguas residuales.
8	2021	Feijoo et al	Oxidación de iones cianuro por efecto catalítico de carbón activado con ferritas de níquel composición	Experimental puro	Oxidación catalítica	Cianuro libre	Ph: 12.3 T (°C): 600 T(horas): 4	96.30	Es un método combinado eficaz para la remoción de cianuro en agua residuales.
9	2017	Mebrahtom et al	Adsorción de cianuro de medio acuoso por cascarilla de café: Metodología de superficie de respuesta	Experimental puro	Adsorción	Cianuro libre	Ph: 10 T (°C): 120 T(horas): 1	90.60	Biosorbente (cáscara de café) puede ser útil para la adsorción de cianuro de efluentes vertidos a baja concentración.
10	2020	Estrada et.al.	Evaluación de la remoción de cianuro y metales pesados en efluentes líquidos de beneficio aurífero de	Experimental puro	Adsorción	Cianuro libre	Ph: 12 T (°C): 35 T(horas): 4	99.95	Es un tratamiento eficaz y rentable para obtener altos porcentajes de eliminación.

			pequeña minería en Segovia, Antioquia"						
11	2020	L Kariim et al.	Desarrollo de nanoadsorbente MWCNTs/TiO <sub>2</sub> para la eliminación simultánea de fenol y cianuro de aguas residuales de refinería	Experimental puro	Adsorción	Cianuro libre	Ph: 7 T (°C): 80 T(horas): 7	98.0	La capacidad de adsorción máxima más alta se logró en la remoción de cianuro con un Q <sub>0</sub> de 98,03922 mg/g.
12	2019	Yubo et.al.	Eliminación de cianuro adsorbido en pirita por H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> oxidación en condiciones alcalinas	Experimental puro	Adsorción	Cianuro total	Ph: 12 T (°C): 85 T(horas): 2	95.60	La eliminación del cianuro adsorbido en la pirita por oxidación con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en condiciones alcalinas son eficientes la remoción de cianuro.

13	2018	Maulana et.al.	Estudio de eliminación de cianuro mediante zeolitas sintéticas crudas y modificadas con hierro en experimentos de adsorción por lotes	Experimental puro	Adsorción	Cianuro total	Ph: 11 T (°C): 25 T(horas): 12	90.0	El modelo de Langmuir fue mejor para describir el comportamiento de adsorción del cianuro en la zeolita sintética.
14	2021	Shadman et.al.	Eliminación de cianuro de los relaves de la planta de cianuración de oro utilizando nanocompuestos magnéticos basados en grafeno	Experimental puro	Adsorción	Cianuro total	Ph: 8 T (°C): 30 T(horas): 48	90.0	Los adsorbentes desarrollados fueron capaces de eliminar más del 90% del cianuro de la muestra real.
15	2021	Sundar et.al.	Degradación fotocatalítica de cianuro utilizando espuma de poliuretano inmovilizada Fe-TCPP-S-TiO <sub>2</sub> -rGO nanocompuesto	Experimental puro	Fotocatalítica	Cianuro total	Ph: 8 T (°C): 35 T(horas): 2	75.0	Sistema fotocatalítico de TiO <sub>2</sub> puro podría ser una técnica eficiente para degradar el cianuro de los efluentes industriales

16	2021	Huda y Helmy	Eliminación de cianuro de aguas residuales de fundición de alúmina utilizando técnicas de precipitación y filtración	Experimental puro	Precipitación y Filtración	Cianuro total	Ph: 10 T (°C): 25 T(horas): 2	92.40	El método de precipitación y filtración es un eficiente para lograr remover el 92.40%.
17	2021	Montalvo et.al.	Tratamiento combinado basado en sinergismo entre cavitación hidrodinámica y H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> para degradación de cianuro en efluentes	Experimental puro	Fotocatalítica	Cianuro total	Ph: 9.5 T (°C): 25 T(horas): 2	99.0	El tratamiento combinado es una forma rápido y muy eficaz de las aguas residuales que contienen cianuro
18	2021	Rivera et.al.	Tratamiento biológico para la degradación del cianuro	Experimental puro	Biodegradación	Cianuro libre	Ph: 7.5 T (°C): 37 T(horas): 72	62.0	Se utilizaron tratamientos naturales para lograr la eficacia del tratamiento.

19	2021	Wei-da et.al.	Tratamiento inocuo de relaves de cianuro por una cepa bifuncional JK-1 basada en biodegradación y biomineralización	Experimental puro	Biodegradación	Cianuro total	Ph: 9 T (°C): 30 T(horas): 480	95.0	Es una técnica eficiente y ecológica para degradar cianuro.
20	2015	Khamar et.al.	Remediación del cianuro del estanque de relaves de la mina de oro mediante un nuevo cocultivo bacteriano	Experimental puro	Biorremediación	Cianuro libre	Ph: 9.5 T (°C): 25 T(horas): 96	75.0	Es una técnica eficiente y biológica para eliminar cianuro en relaves mineros.
21	2020	Vargas et.al.	Biodegradación de cianuro a través de cianuro deshidratasa recombinante de <i>Bacillus pumilus</i> expresado	Experimental puro	Biorremediación	Cianuro libre	Ph: 8 T (°C): 35 T(horas): 52	70.0	Es una técnica adecuada para eliminar cianuro a temperaturas elevadas.

			heterológamente en Escherichia coli						
22	2016	Jaramillo et.al.	Manejo de macrófitas acuáticas en la acumulación y transformación de cianuro producto del beneficio del oro en la mina la coqueta	Experimental puro	Biorremediación	Cianuro total	Ph: 7 T (°C): 14 T(horas): 96	86.0	Es un tratamiento natural, ambientalmente seguro y económicamente viable que permita descontaminar el agua cianurada.
23	2021	Fariborz et al.	Una investigación para la destilación de cianuro biogénico para la recuperación de oro y biorremediación de cianuro por Bacillus megaterium	Experimental puro	Biorremediación	Cianuro total	Ph: 10 T (°C): 25 T(horas): 48	77.0	Las vías de sustitución/hidrolíticas son responsables de la biorremediación del cianuro.
24	2021	Sedova et.al	Potencial de aplicación del cianuro hidratasa de Exidia glandulosa: Eliminación libre de cianuro de efluentes industriales simulados	Experimental puro	Biorremediación	Cianuro libre	Ph: 9 T (°C): 20 T(horas): 24	98.0	Es un tratamiento eficiente y natural para obtener altos porcentajes de remoción de cianuro.

25	2020	Mingqing et al	Eliminación de cianuro de cobre por flotación de precipitados con sales de amonio	Experimental puro	Flotación	Cianuro total	Ph: 7 T (°C): 26 T(horas): 24	84.51	Los adsorbentes desarrollados fueron capaces de eliminar más del 90% del cianuro de la muestra real.
----	------	----------------	---	-------------------	-----------	---------------	-------------------------------------	-------	--