



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

**Biorremediación para la Remoción de Metales Pesados en las
Aguas Acidas Mineras: Revisión Sistémica 2022**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Calizaya Jorge, Marcos Daniel (orcid.org/0000-0003-4601-243X)

Madueño Marca, Lizbeth Pamela (orcid.org/0000-0001-6024-1306)

ASESOR:

MSc. Quijano Pacheco, Wilber Samuel (orcid.org/0000-0001-7889-7928)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2023

Dedicatoria

A mis padres que fueron mi soporte incondicional a lo largo de mi carrera profesional y mi hermana que me estuvieron apoyando desde el primer día, para salir adelante en el transcurrir de los días.

“Madueño Marca, Lizbeth Pamela”

A Dios por darme salud para lograr mis objetivos y a mis padres Neri y Sabina que son mi motivación cada día.

A mi compañera de investigación y a todos quienes motivaron a seguir, muchas gracias

“Calizaya Jorge, Marcos Daniel”

Agradecimiento

Agradecemos a la Universidad César Vallejo por permitirnos cumplir nuestros sueños. Al MSc. Wilber Quijano y a nuestros jurados, asesores por compartir sus conocimientos para la realización de la presente Tesis.

“Madueño Marca, Lisbeth Pamela”.

“Calizaya Jorge, Marcos Daniel”

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA.....	13
3.1. Tipo y Diseño de Investigación.....	13
3.2. Categorías, sub categorías y matriz de categorización apriorística	13
3.3. Escenario de Estudio	16
3.4. Participantes	16
3.5. Técnicas e Instrumento de Recolección de datos	16
3.6. Procedimientos	17
3.7. Rigor Científico	19
3.8. Método de Análisis.....	19
3.9. Aspectos Éticos	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	21
V. CONCLUSIONES	33
VI. RECOMENDACIONES.....	34
REFERENCIAS	35
ANEXOS.....	43

Índice de tablas

Tabla 1: Matriz de categorización apriorística.....	14
Tabla 2: Características fisicoquímicas de aguas acidas de minería	21
Tabla 3: Tipos de metales pesados que se encuentran en aguas acidas de minería	23
Tabla 4: Tipos de microorganismos utilizadas para la remoción de metales pesados	25
Tabla 5: Porcentajes altas de remoción de metales pesados	27

Índice de figuras

Figura 1: Proceso de biorremediación.....	9
Figura 2: Aguas ácidas de minería.....	9
Figura 3: Acción de una bacteria.....	13
Figura 4: Diagrama de flujo de artículos utilizados en la investigación.....	18
Figura 5: Tiempo empleado para la remoción de metales pesados.....	30
Figura 6: Temperatura empleada para la remoción de metales pesados	31
Figura 7: pH empleado para la remoción de metales pesados.....	32

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la biorremediación para la remoción de metales pesados en las aguas acidas mineras. Fue de tipo y diseño narrativo con enfoque cualitativo, pues se hizo una recopilación bibliográfica de estudios y experiencias de investigadores a nivel internacional y nacional que estén relacionados con el tema de investigación y tengan una antigüedad de 5 años. Los resultados indicaron que las características fisicoquímicas adecuadas para la acción de un microorganismo fueron de un pH de 6.5 y temperatura de 75°C. Así mismo se identificó los principales metales pesados encontrados en aguas acidas de minería, estos son: cromo 75.8 %, cadmio 74.9 %, mercurio 61 %, zinc 86.5 %, etc. También se identificó los microorganismos más empleados según su eficiencia de remoción estos son: *Escherichia Coli* 1mg/ml, *Desulfovibrio desulfuricans* 3.75 mg/ml, *Stenotrophomonas rhizophila* (A323) 2.5 mg/ml y *Variovorax boronicumulans*. 1.2 mg/ml. Por último, se resaltó que *Stenotrophomonas rhizophila* (A323) y *Variovorax boronicumulans* (C113) lograron eliminar el 98,71 % de Pb, 97,15 % de Cd y 94,83 % de Zn en un tratamiento de 7 días. Se concluyó que el uso de microorganismos en la técnica de biorremediación es esencial para la remoción de metales pesados en aguas ácidas de minería.

Palabras Clave: Biorremediación, microorganismos, metales pesados, aguas acidas de minería.

Abstract

The objective of this research was to evaluate bioremediation for the removal of heavy metals in acid mining waters. It was of a narrative type and design with a qualitative approach, since a bibliographical compilation of studies and experiences of researchers at an international and national level that are related to the research topic and are 5 years old was made. The results indicated that the appropriate physicochemical characteristics for the action of a microorganism were a pH of 6.5 and a temperature of 75°C. Likewise, the main heavy metals found in acid mining waters were identified, these are: chromium 75.8 %, cadmium 74.9 %, mercury 61 %, zinc 86.5 %, etc. The most used microorganisms were also identified according to their removal efficiency, these are: *Escherichia Coli* 1mg/ml, *Desulfovibrio desulfuricans* 3.75 mg/ml, *Stenotrophomonas rhizophila* (A323) 2.5 mg/ml and *Variovorax boronicumulans*.1.2 mg/ml. Finally, it was highlighted that *Stenotrophomonas rhizophila* (A323) and *Variovorax boronicumulans* (C113) were able to remove 98.71 % of Pb, 97.15 % of Cd and 94.83 % of Zn in a 7-day treatment. It was concluded that the use of microorganisms in the essential bioremediation technique for the removal of heavy metals in acid mining waters.

Keywords: Bioremediation, microorganisms, heavy metals, acid mining waters.

I. INTRODUCCIÓN

La actividad minera representa una de las acciones realizadas por el hombre que ocasionan más daños al ambiente y todo ser vivo en el mundo, debido a la aparición de metales pesados, que transforman o alteran las propiedades del agua, dejándolo de una manera inadecuada para que un ser vivo pueda subsistir en un determinado medio (Ayangbero et al., 2018). La actividad minera representa uno de los factores de la economía de muchos países del mundo, claro ejemplo países como Brasil, Venezuela, Ecuador, Qatar, Nigeria, Irán (Coral et al., 2019), donde durante su extracción y transporte sino se maneja adecuadamente puede provocar relaves que contiene una gran carga de toxicidad por metales pesados que ponen el riesgo a la biodiversidad de especies acuáticas y terrestres entre ellos la salud de las personas (Li et al., 2018).

La minería en el Perú tiene un impacto de largo plazo en el medio ambiente debido a los residuos químicos, desechos, gases tóxicos, polvo, emisiones ácidas y la destrucción irreversible de los ecosistemas (Loayza, 2021). Entre ellos están La Oroya y Cerro de Pasco y las emisiones de plomo, Ticipampa y la contaminación por polimetales, Choropampa y el gran accidente de mercurio en Madre de Dios, así como la deforestación y las liberaciones de cianuro y mercurio (Rodríguez, 2020). Actualmente, en casi todas las zonas donde se ha desarrollado o se está desarrollando la minería, se puede observar el deterioro de la calidad de sus ecosistemas, lo que se manifiesta en diversos tipos y niveles de contaminación de aguas superficiales y subterráneos, suelo, aire, flora y fauna (Loayza, 2021).

Al realizar esta investigación debido a los diversos problemas ocurridos por las descargas de relaves mineros en cuerpos de agua superficiales transformándolos a ácidos en el cual se hace imposible que se desarrolle una vida acuática. Para informarnos y dar a conocer a la población, se realizó una revisión sistemática muy precisa para investigar sobre diversas técnicas de remediación en el cual resaltó la biorremediación como una técnica ecológica, económica y eficiente para limpiar el agua contaminada con hidrocarburos, agroquímicos y metales pesados.

Por lo tanto, la biorremediación es uno de los procesos que más se utiliza en cuanto a microorganismos vivos para impregnar, transformar o degradar los contaminantes y retirarlos, atenuar o inactivar su efecto en el agua que ponen en peligro la biodiversidad de especies acuáticas (Bernard et al., 2018). Así en un tiempo

determinado volver a mantener su estado natural, para que pueda ser utilizado en diversas actividades antropogénicas y diversas formas de vida puedan desarrollarse en los hábitats acuáticos.

Se formula el problema general: ¿Cómo es la biorremediación para la remoción de metales pesados en las aguas ácidas mineras?; Seguidamente se formula los problemas específicos: ¿Cuáles son las principales características fisicoquímicas para remover contaminantes de aguas ácidas de minería?; ¿Cuáles son los tipos de metales pesados que se encuentran en las aguas ácidas de minería?; ¿Cuáles son los tipos de microorganismos que son utilizadas para el proceso de remoción de los metales pesados en las aguas ácidas de minería?; ¿Cuáles son los porcentajes más altos de remoción de los metales pesados de las aguas ácidas de minería?

La Justificación social, después de realizar una revisión sistemática de los artículos relacionados al tema de investigación, esta justificación busca dar a conocer a la población acerca de nuevas técnicas de remediación de superficies contaminadas con metales pesados, un claro ejemplo es la biorremediación que utiliza varios tipos de microorganismos para depurar contaminantes que alteran las propiedades del agua y el cual representa una alternativa ecológica frente a las tecnologías convencionales. La Justificación económica, de acuerdo a los tratamientos de las aguas contaminadas por relaves mineros, se sugiere usar microorganismos para que actúen frente a los altos índices de toxicidad de metales pesados ya que esta técnica será muy económica y eficiente en comparación con otros tratamientos convencionales que usan energía o procesos mecánicos, además que son perjudiciales para el medio ambiente. La Justificación metodológica, se da a conocer la técnica empleada en biorremediación, enfocada al uso de consorcios microbianos por medio de seres vivos que resolvieron los problemas ambientales de las aguas ácidas de minería. Donde bacterias y hongos constantemente degradan contaminantes, en este caso metales pesados, para obtener su propia energía, llevando a cabo la remoción de contaminantes y recuperando la calidad del agua. Justificación ambiental, después de recopilar información de ciertas revistas científicas en la cual recomiendan el uso de microorganismos para biorremediar aguas contaminadas con metales pesados procedentes de

actividades mineras, para así volverla a su estado natural de buena calidad y ser aprovechadas para la diversidad de actividades agrícolas.

Se determinó el objetivo general: Evaluar la biorremediación para la remoción de metales pesados en las aguas acidas mineras. Seguido de los objetivos específicos: Identificar las principales características fisicoquímicas para remover contaminantes de aguas ácidas de minería, Identificar los tipos de metales pesados que se encuentran en las aguas ácidas de minería; Identificar los diferentes tipos de microorganismos que son utilizadas para el proceso de remoción de los metales pesados en las aguas ácidas de minería, Identificar los porcentajes más altos de remoción de los metales pesados de las aguas ácidas de minería.

II. MARCO TEÓRICO

Ruehl & Hiibel (2020), tuvieron como objetivo evaluar el desempeño de la biorremediación de drenaje ácido de mina (AMD) en función de la fuente de carbono y el inóculo. El método que utilizaron fue sustratos orgánicos dos mezclas con el mismo perfil de carbono, pero procedentes de diferentes fuentes. Se utilizaron comunidades microbianas de dos tipos de suelo diferentes para inocular los biorreactores. Los resultados fueron que, mediante el uso de estiércol de vaca, mazorca de maíz y madera de pino como fuente de carbono y suelo de la orilla de un estanque local como inóculo dio como resultado la mayor eficiencia de biorremediación, con un aumento del pH de 2.85 a 6.80 y remociones de >82 % para el total de Fe^{2+} , >86 % para Cu^{2+} , >88 % para Zn^{2+} , y >65 % para SO_4^{2-} . Concluyeron que, la combinación de estiércol como fuente de carbono y suelo de la marina como inóculo resultó en la mayor eficiencia de biorremediación de aguas acidas.

Villegas [et al]. (2019), tuvieron como objetivo analizar específicamente de manera comparativa compuesta, la información de secuencia disponible y los metadatos asociados disponibles en las bases de datos públicas sobre las comunidades microbianas afectadas por AMD. El método usado mediante la comprensión de su composición y funciones, y proponiendo posibles mejoras genéticas para mejorar las estrategias de biorremediación. Como resultados determinaron que las comunidades microbianas de los biorreactores fueron las más diversas en cuanto a tipos bacterianos detectados. Concluyeron que las vías metabólicas predichas sugieren fuertemente el papel clave de las comunidades sin tróficas con desnitrificación, metanogénesis, reducción de manganeso, sulfato y hierro de las aguas contaminadas.

Magowo [et al] (2020), tuvieron como objetivo investigar las aguas residuales de Fischer Tropsch (FTWW) como una fuente orgánica potencial debido a su riqueza en ácidos orgánicos y alcoholes. El método usado fue mediante un reactor aeróbico en la eliminación de sulfuro de hidrógeno mediante oxidación biológica y el oxígeno entrante se reguló para evitar la conversión completa de sulfuro de hidrógeno en sulfato. Resultados, obtuvieron hasta un 92,63 % de remoción de sulfatos y casi un 100 % de remoción de DQO en el reactor anaeróbico reductor de sulfatos. El posterior reactor aerobio de oxidación de azufre pudo convertir hasta el 96,82 %

del sulfuro producido en el reactor anaerobio de reducción de sulfato en azufre. Concluyeron que los reactores aeróbicos fueron muy eficientes en la remoción en porcentajes de los contaminantes en mejorar la calidad del agua.

Días [et al] (2020), tuvieron como objetivo aislar levaduras de aguas mineras para evaluar su capacidad de eliminar iones Mn^{2+} para el desarrollo de nuevas aplicaciones biotecnológicas y de biorremediación, los aislados fueron caracterizados bioquímica y filogenéticamente. El método fue mediante el aislamiento de eliminar el ion Mn^{2+} mediante microscopía electrónica de barrido SEM junto con SEM/EDX. Los resultados mostraron un crecimiento de levadura de hasta 32 mM. No hubo aumento de pH a lo largo de las pruebas, lo que sugiere una eliminación biológica de Mn^{2+} . Concluyeron que los datos obtenidos el *R. mucilaginosa* tiene un importante papel en el período biogeoquímico del manganeso y presenta aplicaciones biotecnológicas potenciales para la biorremediación de aguas contaminadas con iones Mn^{2+} .

Gupta y Sar (2020), tuvieron como objetivo utilizar el potencial de un consorcio microbiano anaeróbico, tolerante a los ácidos, reductor de Fe^{3+} y SO_4^{2-} . El método usado fue mediante la remediación in situ de bacterias altamente ácidas (pH 3.21), ricas en SO_4^{2-} (6285 mg/L.) suelo afectado por el drenaje de la mina (AIS). Los resultados fueron que una combinación de bioaumentación (consorcio enriquecido) y bioestimulación (celulosa) permitió una reducción del 97 % en el sulfato disuelto y un aumento del pH hasta 7.5. Concluyeron que los AIS nativos albergaban actividades catabólicas limitadas requeridas para la remediación, pero la adición de poblaciones microbianas catabólicamente activas junto con la fuente de energía y carbono necesaria facilitan la biorremediación de AIS.

Coelho [et al] (2020), tuvieron como objetivo analizar la biomasa muerta de *P. piscarium* en la biosorción de uranio. El método usado fue por pruebas de biosorción a pH 3.5 y 5.5 en soluciones contaminadas con concentraciones de 1 a 100 mg/L de nitrato de uranio. Los resultados mostraron que la biomasa muerta de *P. piscarium* fue capaz de remover entre 93.2 % y 97.5 % de uranio de soluciones

a pH 3.5, al final del experimento, el pH de la solución aumentó a valores superiores a 5.6. Concluyeron que sus resultados fueron impresionantes y demuestran que la biomasa muerta de *P. piscarium* puede ser una importante alternativa a las técnicas convencionales para el manejo y control de aguas contaminadas con metales.

Corral [et al] (2019), tuvieron como objetivo evaluar el uso del sustrato de Hongo Gastado (SMS) de *Agaricus bisporus* cultivado como agente biorremediador para eliminar los metales pesados que están presentes en las aguas industriales. Estos metales incluyen cromo, plomo, hierro, cobalto, níquel, manganeso, zinc, cobre y aluminio. Al método usado en particular el estudio analizó el desempeño de biorreactores SMS con diferentes grupos de metales pesados en varias concentraciones. Los resultados mostraron que el 80 % y el 98 % de todos los contaminantes analizados se pudieron eliminar con 5 kg de SMS en tiempos de retención hidráulica de 10 y 100 días. Concluyeron que estos resultados sugieren que SMS puede tratar con éxito las aguas residuales contaminadas con metales pesados.

Chao [et al] (2018), tuvieron como objetivo evaluar la biorremediación de aguas contaminadas con Cu (II) con perlas de microalgas-bacterias sulfato-reductoras inmovilizadas en un sistema de tratamiento continuo y análisis de mecanismos. El método aplicado fue por perlas inmovilizadas de SRB -*Scenedesmus obliquus* empacadas en el biorreactor de flujo ascendente que fueron adecuadas para el tratamiento de aguas residuales de minas de cobre. Los resultados demuestran que la alta eficiencia de eliminación de su sulfato ($182.17 \text{ mg SO}_4^{2-} \cdot \text{g}^{-1} \text{ microalgas día}^{-1}$) e iones de cobre ($45,28 \text{ mg Cu}^{2+} \cdot \text{g}^{-1} \text{ microalga día}^{-1}$), y baja descarga de demanda química de oxígeno. Concluyeron que el biorreactor anaeróbico, lleno de perlas inmovilizadas de SRB- *Scenedesmus obliquus*, demostrando una excelente eficiencia de eliminación y una baja descarga de la DQO.

Newsome y Falagán. (2021), tuvieron como objetivo revisar la microbiología de los metales y metaloides más comúnmente asociados con los desechos mineros: cadmio, arsénico, cromo, cobre, mercurio, plomo, níquel y zinc. Usando un método de comunidades microbianas tolerantes a la contaminación por metales, particularmente cuando los metales contaminantes son elementos esenciales que están sujetos a homeostasis o tienen un análogo bioquímico cercano. Los resultados demostraron que es eficaz en condiciones de pH bajo, circumneutral y

pH alto en el laboratorio ya escala de campo piloto. Concluyeron que la actividad microbiana tiene el potencial de mitigar los impactos de los desechos de las minas de metales y, por lo tanto, disminuir el impacto de esta contaminación en la salud del planeta.

Sánchez [et al] (2021), tuvieron como objetivo estudiar la inmovilización de biomasa de Br8 en una matriz inorgánica se optimizó para brindar protección a las células y hacer que el proceso sea más conveniente para su utilización a escala real. Los resultados observados de las tasas de inmovilización de uranio de alrededor del 98 % después de un ciclo de 72 h. En términos de capacidad de eliminación de U en función de la biomasa, se determinó que las perlas de alginato dopadas con Br8 eliminaban hasta 1199,5 mg U/g de biomasa seca durante dos ciclos de tratamiento. Concluyeron que la cinética de acumulación de U y los análisis HAADF-STEM/ESEM revelaron que la eliminación de U por parte de las células inmovilizadas es un proceso bifásico que combina una primera sorción pasiva de U en las superficies de las perlas o las células y una segunda biomineralización activa lenta.

Silva [et al] (2021), tuvieron como objetivo utilizar la piedra caliza como pretratamiento en humedales de flujo de agua subterránea, también se evaluaron alternativas de biorremediación. Como método se evaluaron cuatro sistemas: 1) humedal con especies vegetales (H1), 2) yeso H1 (PC H1), 3) humedal sin especies vegetales (H2) y 4) yeso H2 (PC H2). Los resultados de todos los sistemas redujeron la acidez del agua de alimentación en un promedio de 31 % a 52 % y lograron una eficiencia de eliminación de hierro total promedio de 54 % a 67 %; sulfatos del 16 % al 35 %; níquel del 25 % al 50 %, aluminio del 0 % al 73 %. El manganeso no se puede eliminar. Concluyeron que el uso de piedra caliza como pretratamiento en humedales de flujo de agua subterránea fue muy eficiente sobre los contaminantes.

Agrada. (2018), Tuvieron como objetivo investigar un sistema de biorremediación de metales pesados que utiliza biomasa de basidiomicetos para retener metales como plomo, cadmio y cobre. Usaron un método de columna de lecho poroso que se empaquetó con biomasa seca de 4 basidiomicetos a nivel de laboratorio. Los resultados mostraron que se obtuvo la mayor capacidad de biorremediación, correspondiente a la biomasa de basidiomicetos del género *Gaileñi*, que retuvo los

porcentajes de cobre $100\pm 0,049$, plomo $100\pm 0,051$, cadmio $100\pm 1,197$, seguido de basidiomicetos. Ectomicorriza retuvo 56.56 ± 0.017 % cobre, 100.53 ± 0.005 % plomo y 87.53 ± 0.005 % cadmio, de igual manera *Hygrophorus* retuvo capacidad 65.41 ± 0.012 % cobre, 74.012 % retención. $\pm 0,60$ %, plomo $69,41\pm 0,001$ %, cadmio $1,65\pm 0,071$ %. Concluyeron que la biorremediación con una columna de lecho poroso fue muy efectivo frente a los contaminantes.

Vela [et al] (2020), Tuvieron como objetivo analizar la eficiencia de la remoción de mercurio, fosfatos, sulfatos y nitratos de aguas residuales mineras en proceso de biorremediación con microalgas *Pleurococcus* sp., *Chlorella* sp. Fue evaluado y *Scenedesmus* sp. Se caracterizaron los parámetros fisicoquímicos del agua residual y del agua tratada y se determinó que todos los tratamientos eran efectivos. Los resultados fueron que el género de microalgas con mayor porcentaje de remoción de mercurio fue *Pterococcus* con 86 %; las tasas de eliminación de contaminantes del complejo de microalgas superaron el 76 %, 93 % y 97 % para la eliminación de sulfato, fosfato y nitrato, respectivamente. Concluyeron que el uso de microalgas aisladas en sistemas lacustres en los Andes y la Amazonía ecuatoriana es una fuente prometedora de germoplasma para aplicaciones de biorremediación ambiental.

En cuanto a las bases teóricas la biorremediación es el proceso que emplea organismos vivos para impregnar, descomponer, transmutar, eliminar, inactivar o reducir sus efectos sobre el agua (Aravena et al., 2018). Los procesos de tratamiento biológico generalmente implican reacciones redox, en las que los contaminantes pequeños se corroen y los contaminantes oxidantes se reducen (Bernard et al., 2018). Hay diferentes tipos de contaminantes que se pueden eliminar con esta tecnología: HAP, metales pesados, pesticidas, clorofenoles, petróleo, colorantes, sulfatos y más (Agrada, 2018)

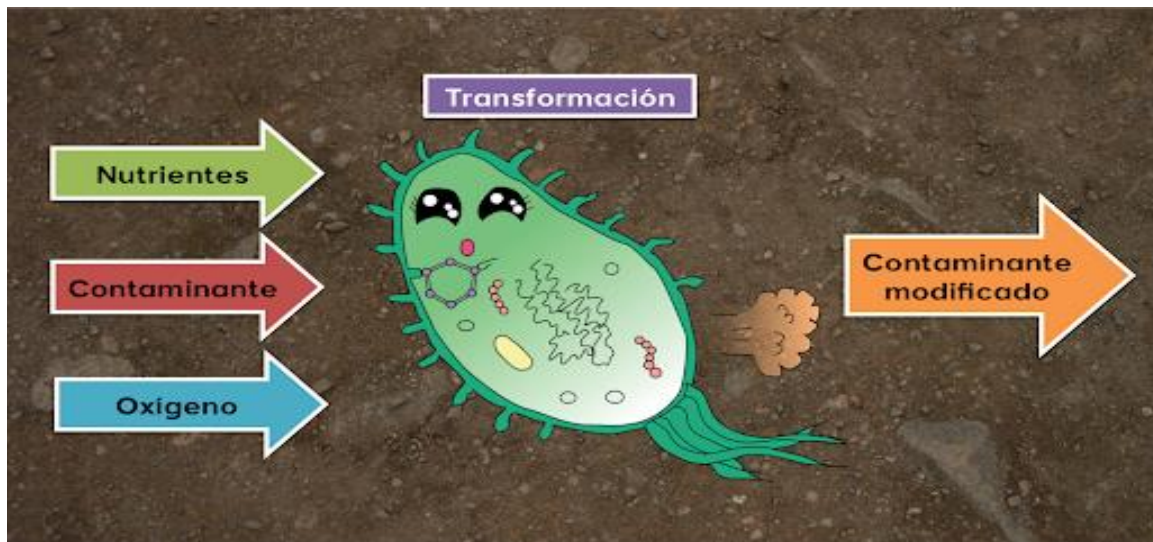


Figura 1: Proceso de biorremediación

El agua ácida de mina resulta de la oxidación biológica y química de la pirita (Chao et al., 2018). Este fenómeno ocurre cuando las rocas que contienen estos sulfuros se exponen al aire o al agua (Fernández et al., 2019). Cabe señalar que las rocas ácidas y el agua mineral también contienen muchos minerales en solución, que tienen un gran impacto en la toxicidad de las aguas residuales (Chao, 2018).

Por lo tanto, la lixiviación ácida que ocurre en las minas subterráneas y de superficie es una de las fuentes principales de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales en su entorno (Aduvire, 2018).



Figura 2: Aguas ácidas de minería

Fuente: Aduvire, 2018.

Para las características físicas del agua como la temperatura he instituye absorbiendo la radiación en las capas superiores del líquido. El cambio de temperatura afecta a la solubilidad de los gases y sales en el agua y en general a todas sus características, tanto químicas como microbiológicas (Kumar et al., 2021). El color se debe a las sustancias coloreadas contenidas en la suspensión o disueltas en ella: materia orgánica proveniente de la desintegración de las plantas, así como diferentes productos orgánicos y metabolitos comunes (color amarillo) (Ratush et al., 2018).

El olor y sabor del agua tiene dos fuentes: origen natural y origen sintético. El primero incluye sales, gases, compuestos inorgánicos, orgánicos y compuestos resultantes de las actividades vivas de los organismos acuáticos (Vela et al., 2020). Los compuestos de sabor/sabores sintéticos también pueden ser tanto orgánicos como inorgánicos y se pueden identificar mejor, ya que se puede identificar la fuente específica del problema (Vela et al., 2020).

La turbidez-transparencia es la presencia de sólidos en suspensión, arcilla, limo, plancton, coloides orgánicos y microorganismos causantes de turbidez. Estas partículas (que varían en tamaño de 10 nm a 0,1 mm) se pueden unir de tres tipos: partículas minerales, húmicas orgánicas y partículas fibrosas (Villegas et al., 2019). La conductividad es el componente de electrolitos solubles en agua y se ve afectado por: drenaje del suelo, composición mineral, gases disueltos, pH, tiempo de contacto y todo lo que afecta la solubilidad de la sal (Luo et al., 2020).

El pH es el balance de carbono y la actividad viva de los microorganismos acuáticos. Para el primero, la secuencia de equilibrio de la solubilidad del dióxido de carbono en agua, la solubilidad del dióxido de carbono y la insolubilidad del HCO_3^- determinan el pH del agua (Li et al., 2018).

Las características químicas del agua en cuanto al nitratos que provienen de la disolución de minerales y rocas, la desintegración de plantas y animales, y la polución por aguas residuales industriales y agrícolas (Li et al., 2018).

Los sulfuros son de tipos de azufre en el agua son S^{2-} , HS^- y H_2S . en agua con nivel de acidez. Los sulfuros son insolubles con metales diferentes, lo que evita una mayor oxidación. En agua oxigenada, no hay H_2S libre, común en aguas residuales

y en aguas profundas desoxigenadas de lagos y lagunas, en concentraciones de hasta 0,5 mg/L (Goswami et al., 2021).

Los compuestos fosforados son esenciales elementos para la vida, participa en un ciclo bioquímico complejo que involucra el transporte del elemento en base a una variedad de estados orgánicos e inorgánicos, y su transformación a través de rutas microbianas (Días et al., 2020).

Los metales en aguas señalan los más relevantes desde el punto de vista biológico y ambiental, los cuales están contemplados casi en su totalidad en la normativa española de agua potable vigente (Corral et al., 2019).

Los metales pesados son un conjunto elementos químicos de densidad alta. Generalmente son nocivos para el ser humano, y entre los que con mayor probabilidad se dan en el agua resaltamos el mercurio, cobre, níquel, cromo, plomo (Gupta y Sar, 2021)

Los metaloides son un conjunto específico de elementos químicos que representan un comportamiento intermedio entre elementos no metálicos y metálicos, con respecto a las propiedades de ionización y enlace. Son elementos que operan como metales en unos casos y como metales en otros (Silva, 2021)

Los tipos de metales pesados son una serie de metales pesados más acreditados por su predisposición a personificar serios problemas medioambientales el mercurio (Hg), el cadmio (Cd), el plomo (Pb), y el talio (Tl), así como el cobre (Cu), cromo (Cr) y zinc (Zn) (Ayangbero et al., 2018).

En cuanto al mercurio (Hg). El mercurio ingresa al agua a través de las emisiones volcánicas y, lo que es más importante, a través de los desechos residuales de la producción de cemento, la combustión de combustibles, la fabricación de baterías, la producción de soda y cloro (Ayangbero et al., 2018).

El plomo (Pb) es un mineral es muy utilizado por el hombre como agregado para los combustibles (petróleo), aunque su empleo está en constante disminución debido al aumento del medio ambiente en él (Espadas et al., 2020).

El cadmio (Cd) es un metal zinc y es muy utilizado en la elaboración de pilas de botón, aunque cada vez menos debido a su extrema toxicidad. El cadmio consiste en muchos complejos con aniones y contiene muchas sales que son moderadamente o incluso completamente solubles en agua (Gupta, 2020).

El talio (Tl). Se logra principalmente a partir de plomo fundido, partículas de vapores de zinc y lodos de la producción de ácido sulfúrico. El metal se consigue por electrólisis de una solución acuosa que contiene sus sales (Kavehei et al., 2021).

El cobre (Cu) se encuentran en la naturaleza de forma fundamental, o forman diversos compuestos como sulfatos complejos, óxidos y carbonatos, que suelen ser muy solubles (Magowo et al., 2020).

El zinc (Zn) es un metal gris, maleable y dúctil. Se conocen 15 isótopos, 5 de los cuales son constantes y tienen masas atómicas 64, 66, 67, 68 y 70. Aproximadamente la mitad del zinc habitual se halla como un isótopo con una masa atómica de 64 (Pushkar et al., 2021).

El cromo (Cr) es un mineral se presenta naturalmente en la forma de la mineral cromita y en el agua forma complejos de amina y cianuro (Cr^{2+}), que es relativamente estable con cloruros, sulfatos, fluoruros, sales de amonio, cianuros, oxalatos, sulfocianuros y citratos (Cr^{3+}), así como como cromatos (Cr^{6+}) de otros minerales (Raj et al., 2018).

Las bacterias son organismo vivo unicelular más pequeño que hay, son esenciales para la vida en la Tierra y se encuentran en diferentes ambientes, además en aquellos que tienen situaciones no favorables para la existencia de otro organismo, cualquier otro organismo (Sánchez et al., 2021). Se reproducen por división celular. La bacteria produce 2, luego 4, luego 8, 16, 32. Su tasa de crecimiento es exponencial. La mayoría de las bacterias son inofensivas y beneficiosas, y solo el 1 % causa enfermedades y patógenos (Singh 2021). Hay más de 400 tipos diferentes de bacterias en el sistema digestivo humano que ayudan con la digestión, la absorción de nutrientes, la prevención de enfermedades y más. (Vela, 2020)

Se considera aeróbico para tipos de bacterias que requieren oxígeno disuelto para sobrevivir y reproducirse. Un facultativo puede funcionar con o sin oxígeno disuelto (Silva et al., 2021). Estas bacterias utilizan sulfatos (SO_4), nitratos (NO_3), etc. como fuentes alternativas de oxígeno en ausencia de oxígeno disuelto (Singh y chakraborty, 2021) y los anaerobios sobreviven sin oxígeno disuelto. Las verdaderas bacterias anaerobias no sobreviven en presencia de oxígeno disuelto. Las bacterias dañinas (patógenas) suelen ser bacterias anaerobias (Silva et al., 2021).

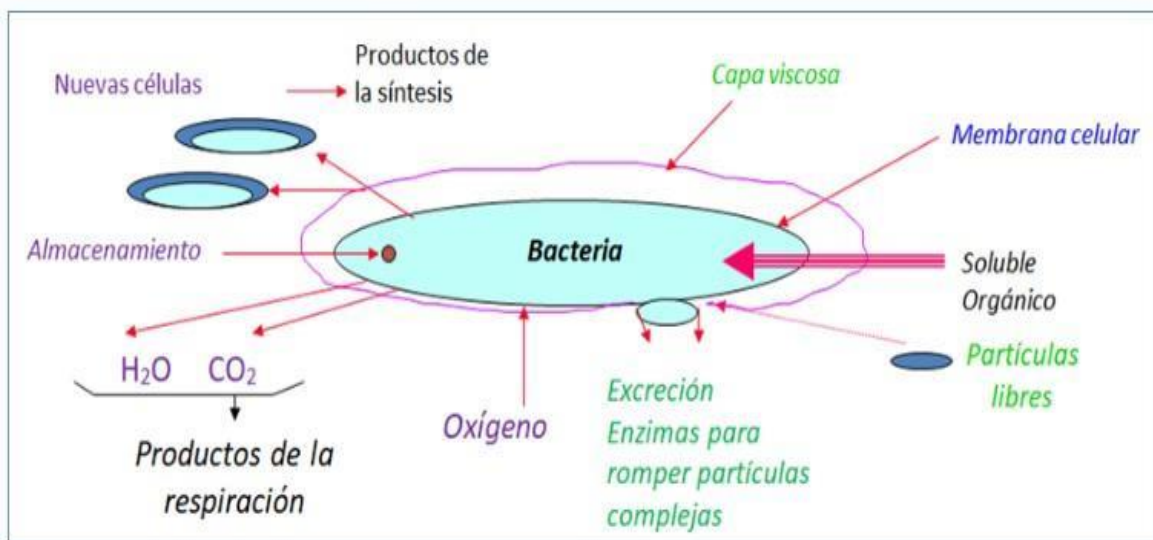


Figura 3: Acción de una bacteria

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y Diseño de Investigación

La investigación es de tipo aplicada por que, según Lozada (2014) busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo. Esta se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose del proceso de enlace entre la teoría y el producto.

Tiene un enfoque cualitativo con diseño narrativo que forman parte del paradigma científico, que según (Barrantes, 2014) se denomina humanista naturalista o interpretativo y cuyo interés se centra en el estudio del comportamiento humano y el sentido de la vida en sociedad. Permite al investigador registrar y construir un relato sobre lo observado, discutido o logrado, para su posterior reflexión y decisión, con el objetivo de enriquecer a futuras investigación (Silva, 2017).

Además, según (Creswell, 2005) señala que el diseño narrativo es un protocolo de investigación, pero también es una forma de intervención porque la narración ayuda a abordar cuestiones ambiguas.

3.2. Categorías, sub categorías y matriz de categorización apriorística

Tabla 1: Matriz de categorización apriorística

Título: Biorremediación para la Remoción de Metales Pesados en las Aguas Acidas Mineras: Revisión Sistémica 2022						
Ámbito de estudio	Problemas específicos	Objetivos específicos	Categorías	Criterios	Fuente	
Aguas ácidas de minería con metales pesados	¿Cuáles son las características fisicoquímicas de las aguas ácidas de minería?	Identificar las principales características fisicoquímicas de las aguas ácidas de minería	Características fisicoquímicas de las aguas ácidas	pH	<ul style="list-style-type: none"> - Aravena et al. 2018 - Corral et al. 2019 - Dicenzo et al. 2018 - Gupta & Saar. 2020 - Ayangbero et al. 2018 - Bhupinder et al. 2018 	
				Conductividad eléctrica		
				Color		
				Olor		
				Temperatura		
				Concentraciones de metales		
				Tipo de metales		
				Sulfuros		
	Nitratos					
	Fosfatos					
	¿Cuáles son los tipos de metales pesados que se encuentran en las aguas ácidas de minería?	Identificar los tipos de metales pesados que se encuentran en las aguas ácidas de minería	Tipo de metales pesados y metaloides de aguas ácidas de minería.	Plomo		<ul style="list-style-type: none"> - Agrada, 2018 - Li et al. 2020 - Magowo et al. 2020 - Newsome & Falagán, 2021 - Pushkar et al. 2021 - Kumar et al. 2021
				Cadmio		
				Mercurio		
				Cobre		
Silicio						
Arsénico						
Boro						
				Telurio		

<p>¿Cuáles son los tipos de microorganismos que son utilizadas para el proceso de remoción de los metales pesados en las aguas ácidas de minería?</p>	<p>Identificar los diferentes tipos de microorganismos que son utilizadas para el proceso de remoción de los metales pesados en las aguas ácidas de minería</p>	<p>Tipos de microorganismos</p>	<p><i>Virus</i></p> <p><i>Algas</i> <i>Cianofíceas</i></p> <p><i>Hongos</i></p> <p><i>Protozoos</i></p> <p><i>Arqueas y Bacterias</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Goswami et al. 2021 - Jin et al. 2018 - Kavehei et al. 2021 - Laroche et al. 2018 - Pacwa et al. 2018 - Pratush et al. 2018
<p>¿Cuáles son los porcentajes más altos de remoción de los metales pesados de las aguas ácidas de minería?</p>	<p>Identificar los porcentajes más altos de remoción de los metales pesados de las aguas ácidas de minería</p>	<p>Porcentajes de remoción de los metales pesados y metaloides de las aguas ácidas de minería</p>	<p>% Plomo</p> <p>% Cadmio</p> <p>% Mercurio</p> <p>% Cobre</p> <p>% Silicio</p> <p>% Arsénico</p> <p>% Boro</p> <p>% Telurio</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Saranya et al. 2018 - Silva et al. 2021 - Raj et al. 2018 - Li et al. 2018 - Villegas et al. 2019 - Yan t al. 2022

3.3. Escenario de Estudio

Puesto que es una investigación de diseño narrativo, no cuenta con escenario de estudio, se realizó la compilación de información de diversas revistas y artículos científicos de gran relevancia a nivel internacional y los cuales estén estrechamente relacionados con el tema de investigación. Se ha tomado como escenario de estudio los laboratorios o lugar de estudio en la que los autores han llevado a cabo su investigación.

Según Taylor y Bogdan (1987, p.23), el escenario de la investigación es el lugar donde se llevará a cabo la investigación, así como el enfoque de la misma, las características de los participantes y los recursos disponibles. También se identifican e incluyen los laboratorios que preparan o realizan procedimientos de prueba (López, 1999).

3.4. Participantes

La investigación no tiene participantes, por esto para la ejecución de la investigación los participantes serán las páginas webs de donde se recopilaron las diferentes informaciones de diversas literaturas del mundo científico relacionadas a nuestro tema de investigación; de tal forma las páginas que fueron usadas durante la obtención de los artículos, revistas entre otros son: ScienceDirect (<https://www.sciencedirect.com/>), MDPI (<https://www.mdpi.com/>) y Springer Link (<https://link.springer.com/>).

3.5. Técnicas e Instrumento de Recolección de datos

Tuvo como técnica la observación indirecta pues se adquirió conocimiento del hecho o fenómeno observando a través de las investigaciones realizadas anteriormente por otras personas. Para ellos se adquirió información de artículos científicos de gran relevancia a nivel internacional (Loredo, 2018).

El estudio se basó en una búsqueda absoluta de la bibliografía relevante al tema de investigación utilizando palabras clave relacionadas con el uso de microorganismos para la remoción de metales pesados (metales y/o metaloides) en aguas ácidas de mina para evaluar la efectividad, biorremediación, incluido el uso de biosorbentes de metales pesados.

Los formularios de recolección de datos de acuerdo con las categorías definidas fueron considerados como herramientas de recolección para este estudio, y la evaluación de todos los artículos científicos puede ser

considerada como una referencia para la evaluación y recolección de datos cualitativos. Al proporcionar respuestas imparciales a la investigación (Hernández et al., 2018), la herramienta se define como un programa que puede generar evaluaciones y leer artículos científicos para obtener información sobre la biorremediación de metales. Con la aplicación de bacterias.

3.6. Procedimientos

El procedimiento de investigación se lleva a cabo en 3 fases, las cuales son fundamentales para la recolección de información, donde la información se obtiene de forma secuencial, objetiva y sistemática. Se utilizaron las siguientes fuentes: ScienceDirect, MDPI, Springer Link. Para ello, cada base de datos utiliza palabras clave en español e inglés. Demostrado en el siguiente diagrama.

Etapa 1: Se realizó la búsqueda de información con palabras clave como: Acidiefd mining water, heavy metals, contaminant removal, bioremediation, microorganisms, removal efficiency, type of bacteria, metalloids. Para ello se utilizó las revistas científicas ScienceDirect, MDPI y SpringerLink, teniendo un total de 262 artículos recopilados.

Etapa 2: Se hizo la selección de artículos, para ello se consideró el año e idioma, eligiendo artículos con antigüedad de 5 años, entre 2018 – 2022, teniendo 131 artículos, después se descartó por calidad de investigación seleccionando 65 artículos.

Etapa 3: Se realizó el análisis final de artículos correspondientes al tema investigado quedando solo con 46 artículos, por último, solo se utilizó 40 artículos, los cuales estén estrechamente relacionados y tengan mayor concordancia con la tesis.

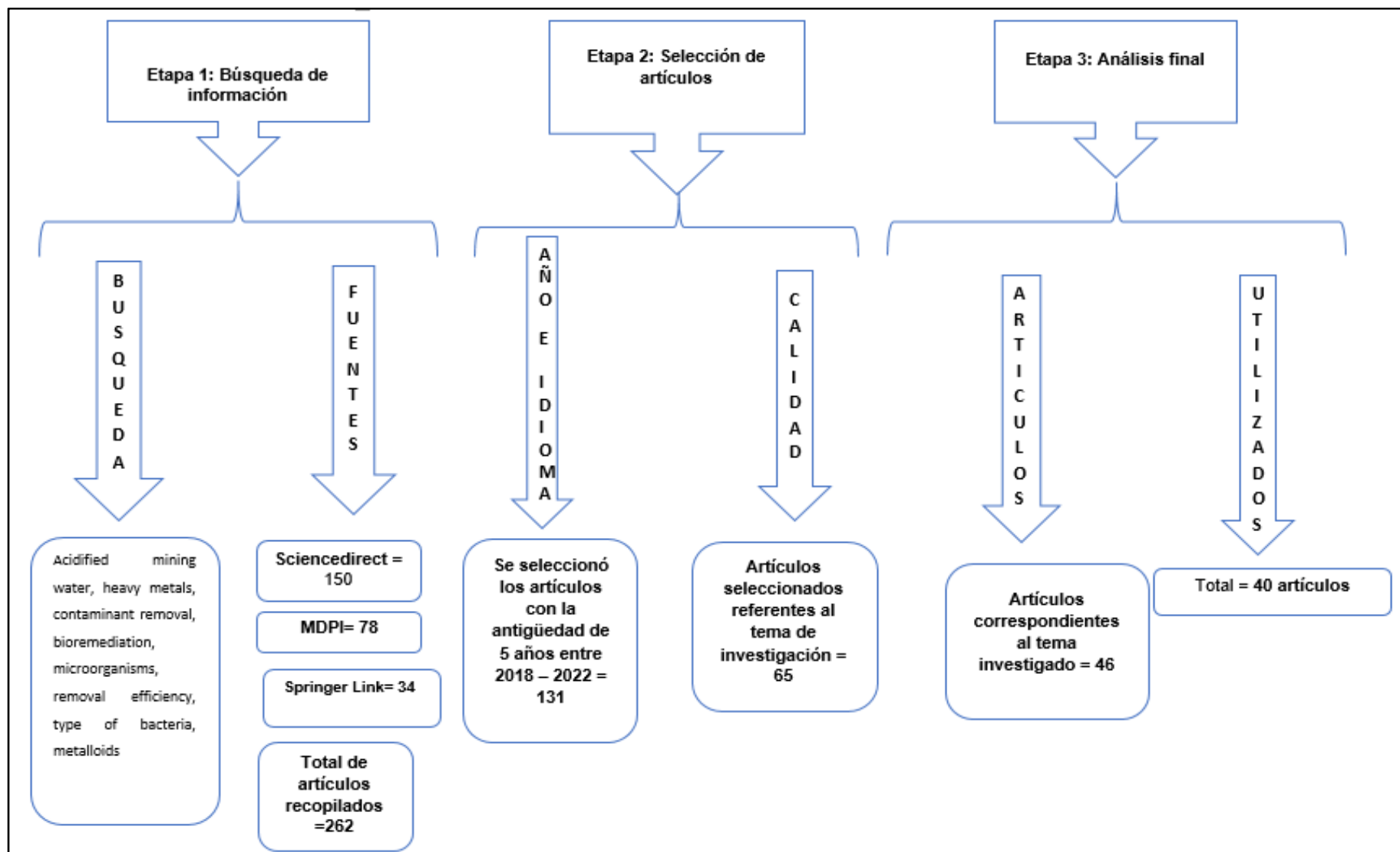


Figura 4: Diagrama de flujo de artículos utilizados en la investigación.

3.7. Rigor Científico

Este estudio busca el rigor científico, definido por la reconstrucción teórica y sus criterios de rigor (Fernández, 2019). Mientras revisa la bibliografía resultante, organice lo que encuentre y analícelo para lograr su objetivo. Primero, busque fuentes confiables de información para comparar y contrastar conceptos para encontrar similitudes y garantizar un concepto que generalmente se ajuste a su propósito.

- Credibilidad: Incluye la evaluación de posiciones en que la investigación pueda considerarse confiable, por ello hay que buscar argumentos creíbles y comprobables en los resultados de la investigación realizada.
- Transferibilidad: Los resultados de este estudio no son transferibles ni aplicables a otros argumentos y/o campos de trabajo, que es nuestro estándar de absoluta corrección respecto a la personalidad social.
- Dependencia: Este criterio se relaciona con la consistencia o estabilidad de los resultados y los resultados del aprendizaje.
- Conformabilidad: El alcance de la participación del investigador en el estudio no se excluye de ninguna manera. Tiene garantía suficiente del proceso de investigación, producto de la información emitida por los instrumentos aplicables, cuando no existan datos sesgados a ningún tipo de manipulación personal.

3.8. Método de Análisis

Utilice estadísticas descriptivas como método para recopilar, almacenar, clasificar y refinar conjuntos de datos tabulares, numéricos y computacionales de parámetros clave obtenidos mediante el uso de bacterias para eliminar metales pesados del agua ácida de la mina, para ello se utilizó los programas de Microsoft Excel para la elaboración de tablas y figuras y el programa Microsoft Word para plasmar la información recolectada, elaborar la tesis y posteriormente presentar dicha tesis.

3.9. Aspectos Éticos

Este estudio tiene resultados de métodos investigados que muestran autenticidad, que a su vez tiene en cuenta valores morales y éticos, por lo que el estudio se recopila de fuentes confiables, que a su vez tiene en cuenta citas correctas, lo que garantiza la autenticidad del género del estudio. Además, la

investigación se basa en normas éticas diseñadas para garantizar la objetividad, validez y calidad del trabajo de investigación. Se siguen referencias correctas y referencias según la norma ISO-690. La medida en que un instrumento proporciona resultados consistentes y consistentes en una muestra o caso (Hernández y Mendoza, 2018).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. características fisicoquímicas de aguas ácidas de minería

De acuerdo al objetivo específico 1, se elaboró la tabla en donde da a conocer las principales características de aguas ácidas de minería, estas se detallan a continuación:

Tabla 2: Características fisicoquímicas de aguas acidas de minería

Físicas	Químicas	País	Fuente
pH: 6.3 Temperatura: 60°C	Metales: Cobre, plomo y cadmio	Perú	Agrada, 2018
pH: 7 Temperatura: 67°C	Bisfenol, alquilfenoles, ftalatos	India	Kumar et al. 2021
pH: 6.4 Conductividad Eléctrica: 4.1	Metales: Aluminio, Cadmio, Cobre, Manganeso, Pb y Cromo	Australia	Li et al. 2019
pH: 10	Metales: Cromo (VI), Pb (II), Zinc y Níquel.	Chile	Torres et al. 2018
pH:4	Metales: Cd, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn.	Sudáfrica	Ayang bero et al. 2018
pH:5.6	Metales: Cu, Fe, Ni, Mn, Zn y Ba.	Sudáfrica	Atangana y Oberholster 2020
pH: 4	Alto contenido de iones metálicos tóxicos (Fe, Zn, Cd, Al, Cu, Pb), aniones disueltos (sulfatos, nitratos, cloruros, arseniatos, etc.), dureza y sólidos en suspensión.	India	Dhir 2018
pH: 2.5 Temperatura: 25°C	Metales: Hierro (III), el níquel, el cobalto, aluminio y Zinc.	España	Corral et al. 2019

pH: 5.5 Temperatura: 25°C	Metal: Uranio	Brasil	Coelho et al. 2020
Temperatura: 80°C pH: 7.6	Metal: Manganeso	Brasil	Ruas et al. 2020
pH: 3.21 Temperatura: 95°C	Fe ³⁺ y SO ₄ ²⁻	India	Gupta y Sar 2020
pH: 6.6 Temperatura: 95°C	SO ₄ ²⁻ y Fe	India	Gupta et al. 2018
Temperatura: 72°C	Metales base (cobre (Cu), zinc (Zn), plomo (Pb))	Australia	Kavehei et al. 2021
Temperatura: 180°C	Lignina y Fenoles	India	Singh et al. 2021
pH: 5.5. Temperatura: 30°C Humedad: 75 %	Cu (II) y Sulfato	China	Li et al. 2018

De acuerdo a la tabla 2 en el cual se detalla las características fisicoquímicas del agua contaminada encontrada en cada estudio por investigador. Kumar et al. 2021 indica que en las características físicas encontradas pH 7 y temperatura de 67°C y químicas la presencia de bisfenol, alquifenoles y ftalatos. A diferencia de los estudios realizados por Li et al. 2019, Torres et al. 2018, Ayangbero et al. 2018 y Atangana y Oberholster 2020 que el área de estudio tuvo altas presencia y concentración de metales pesado tales como (cadmio, zinc, hierro, plomo, cromo, manganeso y cobre), además que los pH de cada investigador variaban de acuerdo al medio en el cual se encontraban, cada pH oscilaba entre 4 a 10 y fueron realizados en diversos países.

Dhir 2018 y Corral et al. 2019 señalan que también encontraron metales pesados, aniones disueltos, nitratos, sulfatos y cloruros. A comparación de Coelho et al. 2020 que solo encontró uranio en una temperatura de 25°C y aun pH de 5.5.

Ruas et al. 2020 en su estudio realizado en Brasil, señala que encontró manganeso a una temperatura de 80°C y de pH 7.6. Gupta y Sar 2020 y Li et al. 2018 en las investigaciones que realizaron encontraron sulfatos y otros metales pesados a altas

temperaturas como 180°C, una gran diferencia en nivel de temperatura con el estudio anterior.

Kavehei et al. 2021 indica que realizó su estudio en base a una temperatura de 72°C para remover metales base (cobre (Cu), zinc (Zn), plomo (Pb)) presentes en aguas ácidas, también según la investigación a nivel de laboratorio realizada por Agrada, 2018, indica que el pH y temperatura encontrada en aguas ácidas de minería, fueron de 6.3 y 60°C, estos fueron usados para remover plomo, cadmio y cobre. A comparación del estudio realizado por Singh et al. 2021 que empleo temperaturas más altas como 180°C para tener una alta eficiencia de remoción derivados de hidrocarburos como lignina y fenoles.

4.2. Tipos de metales pesados en aguas ácidas de minería

De acuerdo al segundo objetivo específico en el que busca identificar los tipos de metales pesados presentes en aguas de minería, se encontró 15 artículos que detallan su hallazgo. Estos son:

Tabla 3: Tipos de metales pesados que se encuentran en aguas acidas de minería

Metales pesados	Tipo de agua	Fuente
Fe 89 %, Al 53 % y Zn 95 %	Drenaje ácido de mina	Bhupinder, 2018
Cu (II) 45 %	Aguas residuales industriales	Chao et al. 2018
Mn 76 %	Aguas de Mina	Dias et al. 2020
Cd 78.8 %, Fe 89.1 % y Ni 65.5 %	Aguas residuales industriales	El-Azim y Mourad, 2018
As 62 %, Co 83 %, Cr 70 %, Cu 43,5 %, Hg 47.6 %	Drenaje ácido de mina	Goswami et al. 2021
As 33 %, Cd 86 %, Pb 79 % y Zn 87 %	Drenaje ácido de mina	Luo et al. 2020
Azufre 87 %	Drenaje ácido de mina	Magowo et al. 2020
Pb ²⁺ 58 %, Cd ²⁺ 60 %, Zn ²⁺ 50 %, Ni ²⁺ 76 %, Cr (VI) 80 % y Hg ²⁺ 56 %	Aguas Residuales Industriales	Mallikarjunaiah et al. 2020

Fe ²⁺ 86 %, Cu ²⁺ 88 %, Zn ²⁺ 65 %, SO ₄ ²⁻ 83 %	Drenaje ácido de mina	Ruehl y Hiibel 2020
Uranio 98%	Aguas mineras	Castro et al. 2021
Fe 92 %, Al 97.6 %, Zn 83.8 %, Co 86.5 %, Ni 94.9 % y Cr 77.3 %.	Drenaje ácido de mina	Singh et al. 2021
Hierro 98 %, Plomo 78 % y Zinc 83.2 %	Drenaje ácido de mina	Allende et al. 2018
Mercurio 87 %, Plomo 96 % y Cobre 93 %	Aguas Residuales	Sun et al. 2020
Mercurio 86 %, fosfatos 76 %, sulfatos 93 % y nitratos 56 %	Drenaje ácido de mina	Vela et al. 2019
Mercurio 54 %, Plomo 60 % y Arsénico 80 %.	Aguas Residuales Municipales	Znad et al. 2022

De acuerdo a la Tabla 3 en el cual indica los tipos de metales encontrados en aguas ácidas de minería, se da a conocer los estudios realizados por diversos investigadores alrededor del mundo. Luo et al. 2020 señala que durante el estudio que realizó encontró As, Cd, Pb y Zn en drenajes procedentes de minería. En el mismo tipo de agua Magowo et al. 2020 encontró azufre, sobrepasando los límites máximos. A diferencia de Mallikarjunaiah et al. 2020 que en aguas residuales industriales encontró metales pesados tales como (Pb²⁺, Cd²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺ Cr (VI) y Hg²⁺).

En la investigación de Bhupinder, 2018 y Goswami et al. 2021 señalan que los drenajes ácidos de mina tienen alta presencia de metales y metaloides como Fe, Al, Zn, As, Co, Cr, Cu, Hg. Existe una similitud en el estudio de El-Azim y Mourad, 2018 y Chao et al. 2018 que en aguas residuales industriales encontraron Cu (II), Cd, Fe y Ni. A diferencia de Dias et al. 2020 que en la muestra de agua de mina que llevó al laboratorio, sólo presentó Mn en alto contenido.

Ruehl y Hiibel 2020 identificó un grupo de metales pesados como (Fe²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺, SO₄²⁻, mercurio, fosfatos, sulfatos y nitratos) en drenaje ácido de minería, al igual que Singh et al. 2021, Allende et al. 2018 y Vela et al. 2019.

Castro et al. 2021 señala que en aguas ácidas de mina logró identificar uranio en gran cantidad, a diferencia de Sun et al. 2020 que en aguas residuales logró encontrar mercurio, plomo y cobre. Y Znad et al. 2022 en aguas residuales municipales encontró mercurio, plomo y arsénico.

4.3. Tipos de microorganismos utilizados para el proceso de remoción de los metales pesados en las aguas ácidas de minería

Según el tercer objetivo específico en el que busca identificar los tipos de microorganismos empleados para la remoción de metales, se detalla los siguientes:

Tabla 4: Tipos de microorganismos utilizadas para la remoción de metales pesados

Microorganismos	Concentración	Fuente
<i>Feritrophicum</i>	250 mg L ⁻¹	Laroche et al. 2018
<i>Desulfovibrio desulfuricans</i>	76 mgHM/L	Hwang et al. 2018
<i>Desulfovibrio desulfuricans</i> y <i>Desulfomicrobium baculatum</i>	0.75 y 3.75 mgHM/L	Ayangbenro et al. 2018
<i>Escherichia Coli JM 109</i>	0.58 mgHM/L	Diep et al. 2018
<i>Escherichia Coli</i>	1 mg mL ⁻¹	Rajapaksha et al. 2018
<i>Escherichia Coli</i>	1,067 μmol/g	Jin et al. 2018
<i>Rhodobacter sp.</i>	50–200 μg/L.	Singh et al. 2018
<i>Bacillus sp</i>	2 g/L	Hurtado et al. 2018
<i>Cellulomonas</i> y <i>Desulfobulbus</i>	0.48 m ² g ⁻¹ y 4.26 m ² g ⁻¹	Chen et al. 2021
<i>Gallionella</i>	0.45 mm	Park et al. 2018
<i>Chlorella vulgaris</i>	0,56 g/L-día	Zhou et al. 2018
<i>Ensifer sp. M14</i>	5 g L ⁻¹	DiCenzo et al. 2018
<i>Bacillus Cereus</i>	5 g L ⁻¹	Nayak et al. 2018
<i>Scenedesmus obliquus</i>	20 mL	Li et al. 2018
<i>Scenedesmus obliquus</i>	20 mL	Li et al. 2021

De acuerdo a la tabla 4 el cual da a conocer los tipos de microorganismos y la concentración utilizada para la remoción de metales pesados. Cada una de las investigaciones se diferencia por la cantidad de concentración y microorganismos. Hwang et al. 2018 empleó *Desulfovibrio desulfuricans* a una concentración de 76 mgHM/L, a diferencia de Diep et al. 2018, Rajapaksha et al. 2018 y Jin et al. 2018 que empleó *Escherichia Coli* JM 109 a una concentración de 0.58 mgHM/L y 1 mg mL⁻¹ y 1,067 µmol/g, respectivamente. Otro microorganismo diferente fue el empleado por Laroche et al. 2018, utilizó *Ferritrophicum* para degradar hierro presente en aguas residuales.

Ayangbenro et al. 2018 durante su investigación señala que utilizó *Desulfovibrio desulfuricans* y *Desulfomicrobium baculatum* a una concentración de 0.75 y 3.75 mgHM/L, respectivamente, todos estos aplicados en medio acuático contaminado. En el estudio que realizó Singh et al. 2018 utilizó el microorganismo *Rhodobacter* sp. a una concentración de 50 – 200 µg/L, de acuerdo a la magnitud de daño generado por las aguas ácidas de minería.

Chen et al. 2021 manipuló dos microorganismos como la *Cellulomonas* y *Desulfobulbus* a concentraciones de 0.48 m² g⁻¹ y 4.26 m² g⁻¹, respectivamente. Y

Hurtado et al. 2018 *Bacillus* sp que utilizó concentraciones de 2 g/L, por cada reactor.

Park et al. 2018 empleó *Gallionella* a una cantidad mínima de 0.45 mm por cada medio de cultivo y Zhou et al. 2018 que en base al microorganismo *Chlorella vulgaris* y a una concentración de 0,56 g/L-día, logró remover hasta el 86 % de metales pesados presentes en drenaje ácido de minería. DiCenzo et al. 2018 y Nayak et al. 2018 empleó *Ensifer* sp. M14 y *Bacillus Cereus* a una concentración de 5 g L⁻¹ cada uno.

Li et al. 2018 y Li et al. 2021 empleó el mismo microorganismo de *Scenedesmus obliquus* en una concentración de 20 mL, con la única diferencia de años y lugar en el que se realizó cada estudio.

4.4. . Porcentajes más altos de remoción de los metales pesados de las aguas ácidas de minería.

Tabla 5: Porcentajes altas de remoción de metales pesados

Microorganismos	Metales pesados	Temperatura	pH	Tiempo	% de remoción	Fuente
<i>Silene Vulgaris</i>	Cadmio	105°C	6.84	5 días	Remoción del 86 % de Cadmio presente en agua.	Płociniczak et al. 2018
<i>Robinia Pseudocacia</i>	Plomo	80°C	6.7	14 días	Eliminaron el 97 % de plomo y otros metales pesados.	Fan et al. 2018
<i>Robinia Pseudocacia</i>	Plomo y Zinc	80°C	7.8	14 días	Removieron el 72 % de plomo y 89 % de Zinc.	Fan et al. 2018
<i>Gallionella ferruginea</i>	SO ₄ ²⁻	25°C	4	500 días	Lograron la eliminación de sulfato el 79, 64 y 50 %	Ayangbenro et al. 2018
<i>Cronobacter muytjensii</i>	Cd, Cr, Cu y Zn.	100°C	7.2	2 días	Los porcentajes de remoción de metal por bacterias fueron 55,23 % de Cd, 72,45 % de Cr, 76,51 % de Cu y 61,51 % de Zn,	Saranya et al. 2018
<i>Pseudomona Fluorescens</i>	Cu, Zn y Cr	21°C	7.68	90 días	La mayor eliminación de Cu 17,62 %, para Zn 31,16 % y para Cr el 10,53 %	Gómez et al. 2018

<i>Pseudomona Aeruginosa</i>	Arsénico y Hierro.	70°C	3.7	1 día	Los resultados mostraron una remoción de 80 % de As y Fe por absorción de <i>Pseudomona Aeruginosa</i> .	Leiva et al. 2018
<i>Bacillus Cereus</i>	Cd, Fe, y N.	90°C	6.0	60 días	La eficiencia de eliminación fue del 78.8 %, 89.1 % y 65.5 % de Cd, Fe y N.	Azim 2018
<i>Gallionella, Ferrofum,</i> <i>Leptospirillum,</i> <i>Acidithiobacillus,</i> <i>Ferritrophicum</i>	Arsénico	80°C	5.3	194 días	Lograron una remoción del 86 % sobre el arsénico.	Laroche et al. 2018
<i>Blastococcus,</i> <i>Arthrobacter, Marmoricola,</i> <i>Kocuria, Truepera, y</i> <i>Sphingomonadaceae</i>	Pb, Mn, As, Cd	95°C	4	65 días	Redujeron el 57.1 %, 21.1 %, 67.8 % y 46.5 %, de los metales pesados Pb, Mn, As, Cd.	Li et al. 2020
<i>Bacillus Cereus</i>	Pb, Cu, zn y Cd.	500°C	6.5	14 días	Los contenidos de Pb, Zn, Cu, Cd y As disminuyeron en un 63,9–89,5 %, 46,9–66,0 %, 32,7–62,4 %, 40,4–76,4 % y 54,9–77,5 %.	Huang et al. 2018

<i>Firmicutes, Proteobacteria</i> y <i>Pseudomonas plecoglossicida</i>	Hg y Pb	95°C	5	3 días	Las concentraciones totales de Hg y Pb fueron removidas en 46,73 % y 39,19 %.	Hongbing et al. 2018
<i>Rhodococcus</i>	Pb y Zn	105°C	4.8	100 días	Después de operar por 100 días, las eficiencias de remoción de Pb y Zn fueron 37.2 % y 15.1 %.	Song et al. 2018
<i>Stenotrophomonas rhizophila</i> (A323) y <i>Variovorax boronicumulans</i> (C113).	Zn, Pb y Cd.	50°C	8.6	7 días	Eliminaron el 98,71 % de Pb, 97,15 % de Cd y 94,83 % de Zn.	Jalilvand et al. 2019
<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> , <i>Acidithiobacillus thiooxidans</i> , <i>Thiobacillus thioparus</i> , <i>Leptospirillum ferrooxidans</i> , <i>Thiobacillus thioparus</i>	Níquel, Cobre y zinc	121°C	7.29	30 días	Lograron eliminar por la aplicación de microorganismos en cuanto al Ni 35,35 %, Cu 74,27 %, Zn 69,92 %).	Wu et al. 2020

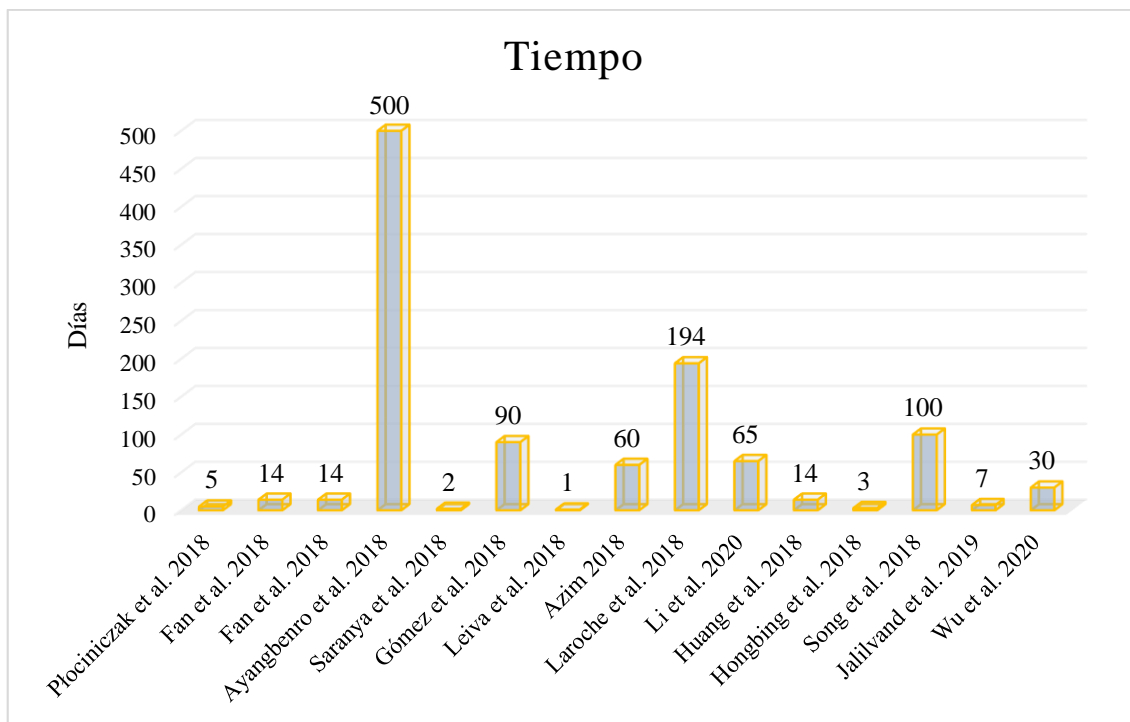


Figura 5: Tiempo empleado para la remoción de metales pesados

De acuerdo a la figura 5 en el que da a conocer el tiempo empleado por cada investigador durante su estudio, se explica la varianza que existe entre cada uno de ellos. El mayor tiempo utilizado fue por Ayangbenro et al. 2018, que en base a 500 días logró una eliminación de sulfato del 79, 64 y 50 % utilizando como microorganismo a *Gallionella ferruginea*. Una gran diferencia en días está la investigación de Leiva et al. 2018, que solo en un día logró tener una gran respuesta de remoción del 80 % de As y Fe, ello depende en gran parte de los factores ambientales en el cual se desarrolla el tratamiento in situ.

Así mismo Laroche et al. 2018 realizó un tratamiento de 194 días en base a una temperatura de 80°C y utilizando como agente microbiano a *Gallionella*, *Ferrovum*, *Leptospirillum*, *Acidithiobacillus*, *Ferritrophicum*, demostrando una remoción del 86 % de arsénico. Un estudio diferente fue el de Saranya et al. 2018 que solo tuvo una duración de 2 días logrando porcentajes de remoción de metal por bacterias *Cronobacter muytjensii* fueron 55,23 % de Cd, 72,45 % de Cr, 76,51 % de Cu y 61,51 % de Zn, respectivamente.

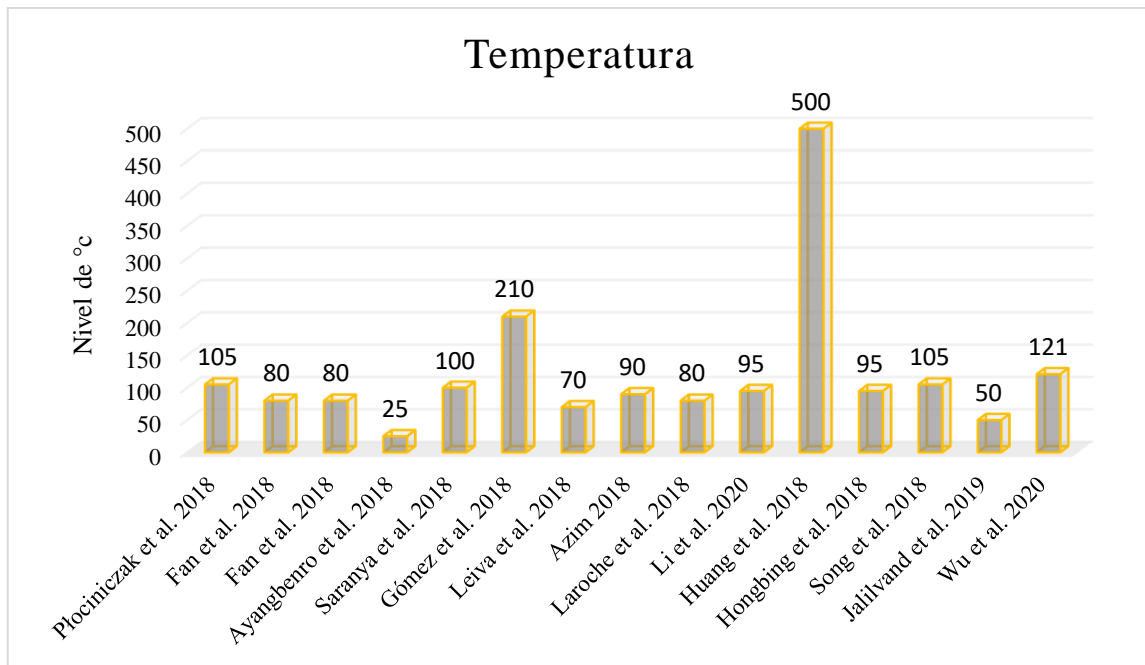


Figura 6: Temperatura empleada para la remoción de metales pesados

En base a la figura 6 señala las temperaturas empleadas por cada investigador durante su investigación y la efectividad que tuvo con cada uno de los microorganismos. En la investigación de Huang et al. 2018 indica que empleo una temperatura muy alta de 500°C para que los contenidos de Pb, Zn, Cu, Cd y As en el brote disminuyeran en un 63,9–89,5 %, 46,9–66,0 %, 32,7–62,4 %, 40,4–76,4 % y 54,9–77,5 %, respectivamente, esto con influencia de *Bacillus Cereus*. A diferencia del estudio realizado por Ayangbenro et al. 2018 que solo empleo dos días para eliminar sulfato del 79, 64 y 50 % utilizando *Gallionella ferruginea*.

Temperaturas similares son las que emplearon Laroche et al. 2018 y Fan et al. 2018 que en base a 80°C lograron remover el 72 % de plomo, 86 % de arsenico y 89 % de Zinc, utilizando como microorganismos *Gallionella*, *Ferrovum*, *Leptospirillum*, *Acidithiobacillus*, *Ferritrophicum*. Al igual que Li et al. 2020 y Hongbing et al. 2018 realizaron la aplicación de Firmicutes, Proteobacteria, *Pseudomonas plecoglossida*, *Blastococcus*, *Arthrobacter*, *Marmoricola*, *Kocuria*, *Truepera*, y *Sphingomonadaceae* a una temperatura de 95°C, logrando tener una reducción del 57.1 % Pb, 21.1 % Mn, 67.8 %As y 46.5 %Cd, respectivamente.

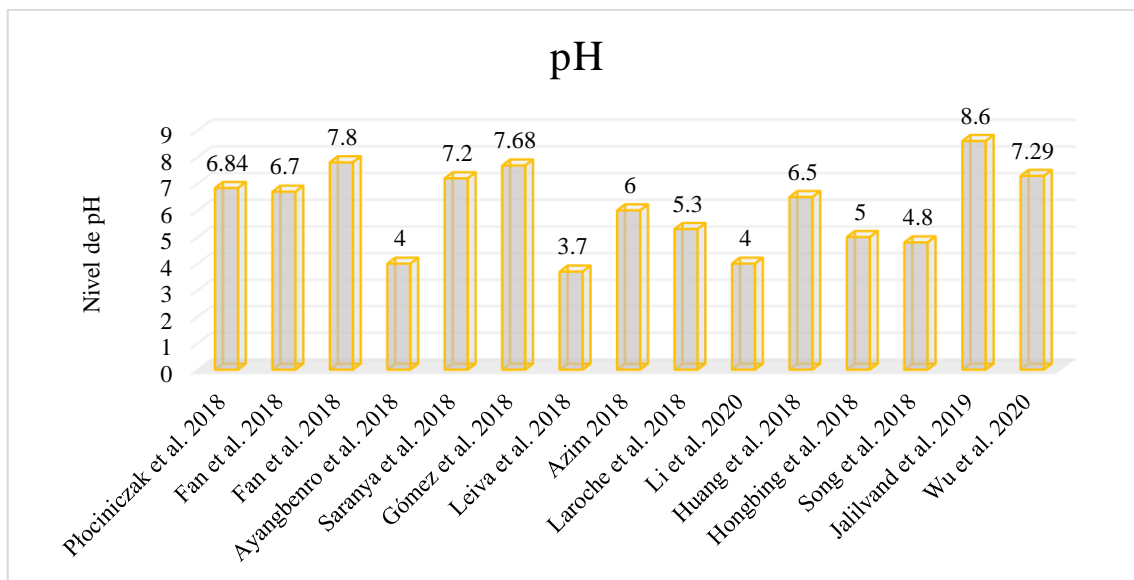


Figura 7: pH empleado para la remoción de metales pesados

De acuerdo a la figura 7 en el que da a conocer el pH utilizado por cada investigador durante el tratamiento al que sometió a medios acuáticos contaminados con aguas ácidas de minería, se han logrado resaltar las diferencias y semejanzas que tuvo cada investigador al momento de ajustar el pH para lograr tener una eficiencia de remoción alta en metales pesados. En la investigación de Jalilvand et al. 2019 señala que ajustó el pH a 8.6, una base alcalina, para eliminar en 7 días el 98,71 % de Pb, 97,15 % de Cd y 94,83 % de Zn, utilizando como microorganismos a *Stenotrophomonas rhizophila* (A323) y *Variovorax boronicumulans* (C113). A diferencia del estudio de Leiva et al. 2018 que utilizó un pH de 3.7 para tener una remoción del 80% de As y Fe en solo un día, utilizando *Pseudomona Aeruginosa*. Un pH similar es el utilizado por Ayangbenro et al. 2018 y Li et al. 2020 que en base a 4.0 de pH lograron tener una reducción del 57.1 %Pb, 21.1 % Mn, 67.8 %As y 46.5 % Cd, respectivamente y una eliminación de sulfato del 79, 64 y 50 %.

En el estudio realizado por Płociniczak et al. 2018, señala que empleó un pH de 6.84 para remover el 86 % de cadmio presente en agua con ayuda del microorganismo *Silene Vulgaris* en solo 5 días, a comparación del estudio de Wu et al. 2020 que en 30 días y un pH de 7.29 tuvo el efecto de biolixiviación comparable con el polvo de azufre (Ni 35,35 %, Cu 74,27 %, Zn 69,92 %). Toda la eficacia y acción de cada microorganismo depende del ambiente en el cual se desarrolla, la temperatura, pH, humedad y tiempo debe ser propicio para que este agente microbiano pueda tener una alta y rápida respuesta frente a contaminantes.

V. CONCLUSIONES

- Se identificó las principales características fisicoquímicas para remover contaminantes de aguas ácidas de minería, los cuales tenían un valor promedio de pH de 5.9, temperatura de 63°C, conductividad eléctrica de 4.1 y humedad del 75 %, estos valores fueron idóneos para alcanzar una alta remoción de metales pesados presentes en este tipo de aguas.
- Se identificó los tipos de metales pesados encontrados en aguas ácidas de minería, estos fueron Fe: 89 %, Al: 75 %, Zinc: 76 %, Cu: 67 %, Mn: 76 %, Cd: 75 %, Ni: 79 %, As: 58 %, Co: 85 %, Cr: 76 %, Hg: 60 %, Pb: 74.2 %, S: 85 %, U: 98 %, fosfatos: 76 %, sulfatos 93 % y nitratos 56 %, en donde se resaltó en mayor cantidad al uranio seguido del hierro, cobalto y azufre.
- Según la revisión bibliográfica se identificó los tipos de microorganismos más utilizados en el proceso de remoción de los metales pesados en las aguas ácidas de minería, estos fueron, *Scenedesmus obliquus*, *Desulfovibrio desulfuricans* y *Escherichia Coli*, esto se determinó de acuerdo a su poder de respuesta y remoción de metales pesados en anteriores tratamientos llevados a cabo por cada investigador.
- Se identificó los porcentajes más altos de remoción de metales pesados de las aguas ácidas de minería, en donde resalto el alcanzado por el microorganismo *Robinia Pseudocacia* que eliminó el 97 % de plomo en un periodo de 14 días, así mismo los microorganismos *Stenotrophomonas rhizophila (A323)* y *Variovorax boronicumulans (C113)* demostraron ser muy eficientes al eliminar el 98,71 % de Pb, 97,15 % de Cd y 94,83 % de Zn, presentes en aguas ácidas de minería, en un periodo menor de 7 días.

VI. RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones se recomienda que las características fisicoquímicas para remover contaminantes de aguas ácidas de minería deben tener un valor promedio de pH de 5.9, temperatura de 63°C, conductividad eléctrica de 4.1 y humedad del 75 %.
- A la sociedad y empresas prestadoras de servicios se recomienda aplicar técnicas de biorremediación asistida por microorganismos para remover metales pesados como hierro, aluminio, zinc, cobre, cadmio, azufre, mercurio, cromo, plomo, entre otros.
- A futuros investigadores se recomienda el uso de microorganismos tales como *Scenedesmus obliquus*, *Desulfovibrio desulfuricans* y *Escherichia Coli* ya que tuvieron mejor respuesta de acción frente a la remoción de metales pesados presentes en aguas ácidas de minería.
- Para futuras investigaciones usar los microorganismos *Robinia Pseudocacia*, *Stenotrophomonas rhizophila (A323)* y *Variovorax boronicumulans (C113)* ya que según estudios anteriores fueron muy eficientes para remover en altas cantidades metales pesados, los cuales provenían de aguas ácidas de minería.

REFERENCIAS

1. Aravena, Alvaro et al. Can Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) through a Ureolytic Pathway Be Successfully Applied for Removing Heavy Metals from Wastewaters? [En línea] Crystals – volume 8, 21 November 2018 [Fecha de consulta: 27 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.3390/cryst8110438>
2. Ayangbero, Ayansina et al. Sulfate-Reducing Bacteria as an Effective Tool for Sustainable Acid Mine Bioremediation [En línea] Microbiotechnology – 22 August 2018 [Fecha de consulta: 28 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01986>
3. Agrada Yuly. Evaluación de un sistema de biorremediación de agua con metales pesados usando biomasa de basidiomicetos provenientes del santuario nacional del Ampay-Perú (2018) [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022] Disponible en: <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/637>
4. ATANGANA Ernestine, OBERHOLSTER Paul J., Using heavy metal pollution indices to assess water quality of surface and groundwater on catchment levels in South Africa, Journal of African Earth Sciences [online], 05 de mayo de 2021 [fecha de consulta 05 marzo del 2022] Disponible en <https://en.x-mol.com/paper/article/1396249906236604416>.
5. Bhupinder, Dhir. Biotechnological Tools for Remediation of Acid Mine Drainage (Removal of Metals From Wastewater and Leachate) [En línea] Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation – volume 18, pp. 67 – 82 - 2018 [Fecha de consulta: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812986-9.00004-X>]
6. Bernard, Igiri et al. Toxicity and Bioremediation of Heavy Metals Contaminated Ecosystem from Tannery Wastewater: A Review [En línea] Journal of Toxicology – volume 20 - 27 september 2018 [Fecha de consulta: 28 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2018/2568038>
7. Corral M. et al. Bioremediation of Waste Water to Remove Heavy Metals Using the Spent Mushroom Substrate of *Agaricus bisporus*. [En línea] Water, 11(3), 454 (2019) [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w11030454>
8. Coelho E. et al. Bioremediation of water contaminated with uranium using *Penicillium piscarium*. [En línea] Biotechnology Progress volume 36 (2020)

[Fecha de consulta: 29 de junio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1002/btpr.3032>

9. Chao Y. et al. Effective bioremediation of Cu (II) contaminated waters with immobilized sulfate-reducing bacteria-microalgae beads in a continuous treatment system and mechanism análisis. [En línea] Journal of Chemical Technology & Biotechnology Volume 93, Issue 5 p. 1453-1461 (2018) [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jctb.5513>
10. Días F. et al. *Rhodotorula mucilaginosa* aislada del agua de mina de manganeso en Minas Gerais, Brasil: empleo potencial para la biorremediación de agua contaminada. [En línea] Agua Aire Suelo Contaminación 231, 527 (2020) [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04896-1>
11. DiCenzo, George C, Klaudia Debiec, Jan Krzysztoforski, Witold Uhrynowski, Alessio Mengoni, Camilla Fagorzi, Adrian Gorecki, Lukasz Dziewit, Tomasz Bajda, Grzegorz Rzepa, and Lukasz Drewniak. 2018. "Genomic and Biotechnological Characterization of the Heavy-Metal Resistant, Arsenic-Oxidizing Bacterium *Ensifer* sp. M14" [En línea] *Genes* 9, no. 8: 379. [Fecha de consulta: 10 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.3390/genes9080379>
12. El-Azim, H., & Mourad, F. (2018). Removal of Heavy Metals Cd (II), Fe (III) and Ni (II), from Aqueous Solutions by Natural (Clinoptilolite) Zeolites and Application to Industrial Wastewater. [En línea] *Asian Journal of Environment Ecology*, 7(1), 1–13. [Fecha de consulta: 29 de mayo del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.9734/AJEE/2018/41004>
13. Fernández, Pablo et al. Bioremediation strategies for chromium removal: Current research, scale-up approach and future perspectives [En línea] *Chemosphere* Volume 208, October 2018, Pages 139-148
14. Espadas, Aurora et al. Review of Constructed Wetlands for Acid Mine Drainage Treatment [En línea] *Water* – volume 10 [Fecha de consulta: 29 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w10111685>
15. Goswami, R. et al. Bioremediation of heavy metals from wastewater: a current perspective on microalgae-based future [En línea] *Applied microbiology* – 25

- September 2021 [Fecha de consulta: 27 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1111/lam.13564>
16. Gupta A. & Sar P. Caracterización y aplicación de un cultivo bacteriano anaeróbico, reductor de hierro y sulfato en la biorremediación mejorada de suelos afectados por drenaje ácido de minas [En línea] *Journal of Environmental Science and Health*, pag. 464-482 (2020) [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022] Disponible en: [10.1080/10934529.2019.1709362](https://doi.org/10.1080/10934529.2019.1709362)
 17. Gupta, Abhishek et al. Low-Abundance Members of the Firmicutes Facilitate Bioremediation of Soil Impacted by Highly Acidic Mine Drainage From the Malanjkhand Copper Project, India [En línea] *Front. Microbiol.*, 11 December 2018 [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02882>
 18. Hurtado, C., Viedma, P., & Cotoras, D. (2018). Design of a bioprocess for metal and sulfate removal from acid mine drainage. [En línea] *Hydrometallurgy*, 180, 72–77. [Fecha de consulta: 10 de junio del 2022] Disponible en: [doi:10.1016/j.hydromet.2018.07.00](https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2018.07.00)
 19. Jin Y, Luan Y, Ning Y, Wang L. Effects and Mechanisms of Microbial Remediation of Heavy Metals in Soil: A Critical Review. [En línea] *Applied Sciences*. 2018; 8(8):1336. [Fecha de consulta: 29 de mayo del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app8081336>
 20. KAVEHEI, Armin, [et al.] Impact assessment of ephemeral discharge of contamination downstream of two legacy base metal mines using environmental DNA [online], 5 de octubre de 2021 Vol 419 [Fecha de consulta: 05 de febrero de 2022] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389421014485>, ISSN 0304-3894
 21. KUMAR Anil, [et al.] Bioremediation of lignin and phenol derivatives in wastewater with lignin-modifying enzymes: status, opportunities and challenges [online], 10 de julio de 2021 p 9-10 [Fecha de consulta: 10 de abril de 2022] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972101055X>, ISSN 0048-9697

22. Laroche Elia, Casiot Corinne, Fernandez-Rojo Lidia, Desoeuvre Angélique, Tardy Vincent, Bruneel Odile, Battaglia-Bru. Dynamics of Bacterial Communities Mediating the Treatment of an As-Rich Acid Mine Drainage in a Field Pilot [En línea] *Frontiers in Microbiology* - volume 9- 2018 [Fecha de consulta: 12 de junio del 2022] Disponible en: [10.3389/fmicb.2018.03169](https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.03169)
23. Leiva, E., Leiva-Aravena, E., Rodríguez, C., Serrano, J., & Vargas, I. (2018). Arsenic removal mediated by acidic pH neutralization and iron precipitation in microbial fuel cells. [En línea] *Science of The Total Environment*, 645, 471–481. [Fecha de consulta: 10 de junio del 2022] Disponible en: [doi:10.1016/j.scitotenv.2018.06.3](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.3)
24. Li, Y. et al. Acid mine drainage remediation strategies: A review on migration and source controls [En línea] *Minerals & Metallurgical Processing* volumen 35, 01 August 2018, pp. 148 - 158 [Fecha de consulta: 27 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.19150/mmp.8464>
25. Li, Yongchao et al. Preparation of Immobilized Sulfate-Reducing Bacteria-Microalgae Beads for Effective Bioremediation of Copper-Containing Wastewater [En línea] *Water, Air, & Soil Pollution* volumen 229, 02 february 2018 [Fecha de consulta: 29 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3709-1>
26. Li, S., Wu, J., Huo, Y., Zhao, X., & Xue, L. (2020). Profiling multiple heavy metal contamination and bacterial communities surrounding an iron tailing pond in Northwest China. [En línea] *Science of The Total Environment*, 141827. {Fecha de consulta: 12 de junio del 2022] Disponible en: [doi:10.1016/j.scitotenv.2020.1413](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.1413)
27. Li, Yongchao et al. Effective bioremediation of Cu (II) contaminated waters with immobilized sulfate-reducing bacteria-microalgae beads in a continuous treatment system and mechanism análisis [En línea] *Journal chemical Technology and biotechnology*, 2018. [Fecha de consulta: 29 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jctb.5513>
28. LUO, Chen, [et al.] Distribution and mobilization of heavy metals at an acid mine drainage affected region in South China, a post-remediation study [online], 1 de julio de 2020 Vol. 419 [Fecha de consulta: 09 de febrero de 2022] Disponible

en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720316351>,
ISSN 0048-9697

29. Magowo W. et al. Bioremediation of acid mine drainage using Fischer-Tropsch waste water as a feedstock for dissimilatory sulfate reduction. [En línea] *Journal of Water Process Engineering* volume 35, (2020) [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101229>
30. Mallikarjunaiah, Shanthala et al. Application of Nanotechnology in the Bioremediation of Heavy Metals and Wastewater Management [En línea] *Nanotechnology for Food, Agriculture, and Environment* pp 297–321, 2020. [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022] Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-31938-0_13
31. Medfu, Molalign et al. Microbes used as a tool for bioremediation of heavy metal from the environment [En línea] *Cogent Food & Agriculture* Volume 6, 2020 [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1783174>
32. Miaochun Fan, Zhenshan Liu, Lijun Nan, Entao Wang, Weimin Chen, Yanbing Lin, Gehong Wei, Isolation, characterization, and selection of heavy metal-resistant and plant growth-promoting endophytic bacteria from root nodules of *Robinia pseudoacacia* in a Pb/Zn mining area, *Microbiological Research*, Volume 217, 2018, Pages 51-59 [Fecha de consulta: 10 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.09.002>, ISSN 0944-5013
33. Newsome L.& Falagán C. The Microbiology of Metal Mine Waste: Bioremediation Applications and Implications for Planetary Health. [En línea] *GeoHealth*, volume 5, Issue 10 (2021) [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1029/2020GH000380>
34. Pacwa-Płociniczak, M., Płociniczak, T., Yu, D. et al. Effect of *Silene vulgaris* and Heavy Metal Pollution on Soil Microbial Diversity in Long-Term Contaminated Soil. [En línea] *Water Air Soil Pollut* 229, 13 (2018) [Fecha de consulta: 10 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3655-3>
35. Pratush, Amit et al. Adverse effect of heavy metals (As, Pb, Hg, and Cr) on health and their bioremediation strategies: a review [En línea] *International Microbiology* volumen 21, pages97–106 (2018) [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10123-018-0012-3>

36. PUSHKAR Bhupendra [et al] Chromium pollution and its bioremediation mechanisms in bacteria [online], 1 de junio de 2021 Vol 278 419 [Fecha de consulta: 29 de mayo de 2022] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721003418?via%3Dihub>
37. Rajapaksha, P., Chandra, S., Power, A., & Chapman, J. (2018). *Graphene, electrospun and granular activated carbon membranes for eliminating heavy metals, pesticides and bacteria in water and wastewater treatment processes*. [En línea] *The Analyst*- volume 143, pp. 5629 – 5645 [Fecha de consulta: 30 de junio del 2022] Disponible en: 10.1039/c8an00922h
38. RATUSH, [et al] Adverse effect of heavy metals (As, Pb, Hg, and Cr) on health and their bioremediation strategies: a review [online], 11 de junio 2018, [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2022] Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10123-018-0012-3#citeas>
39. Raj, K et al. Advances in exopolysaccharides based bioremediation of heavy metals in soil and water: A critical review [En línea] *Carbohydrate Polymers* – volumen 199, 1 November 2018, pp. 353- 364 [Fecha de consulta: 28 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.037>
40. Raja, Edward. Cadmium (heavy metals) bioremediation by *Pseudomonas aeruginosa*: a minireview [En línea] *Applied Water Science* volumen 8, Article number: 154 (2018) [Fecha de consulta: 28 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0796-5>
41. Ruehl M. & Hiibel S. Evaluation of organic carbon and microbial inoculum for bioremediation of acid mine drainage [En línea] *Minerals Engineering*, volume 157 (2020) [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106554>
42. Sánchez I. et al. Uranium removal from complex mining waters by alginate beads doped with cells of *Stenotrophomonas* sp. Br8: Novel perspectives for metal bioremediation. [En línea] *Journal of Environmental Management* volume 296 (2021) [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113411>
43. Saranya, K., Sundaramanickam, A., Shekhar, S., Meena, M., Sathishkumar, R. S., & Balasubramanian, T. (2018). Biosorption of multi-heavy metals by coral

- associated phosphate solubilising bacteria *Cronobacter muytjensii* KSCAS2. [En línea] *Journal of Environmental Management*, 222, 396–401. [Fecha de consulta: 29 de mayo del 2022] Disponible en: doi:10.1016/j.jenvman.2018.05.083
44. Singh & Chakraborty. Bioremediation of acid mine drainage in constructed wetlands: Aspect of vegetation (*Typha latifolia*), loading rate and metal recovery [En línea] *Minerals Engineering – volume 171*, September 2021 [Fecha de consulta: 28 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107083>
45. Singh, V. K., Singh, A. L., Singh, R., & Kumar, A. (2018). Iron oxidizing bacteria: insights on diversity, mechanism of iron oxidation and role in management of metal pollution. [En línea] *Environmental Sustainability – volume 1*, 221–231 (2018) [Fecha de consulta: 10 de junio del 2022] Disponible en: doi:10.1007/s42398-018-0024-0
46. Silva J. et al. Uso de humedales de flujo subsuperficial con *Phragmites australis* como alternativa de biorremediación de fuentes superficiales afectadas por drenajes ácidos de minas de carbón. [En línea] *Tecnología y ciencia del agua*, vol. 12 Núm. 6 (2021) [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-06-05>.
47. Song, T.-S., Zhang, J., Hou, S., Wang, H., Zhang, D., Li, S., & Xie, J. (2018). In situ electrokinetic remediation of toxic metal-contaminated soil driven by solid phase microbial fuel cells with a wheat straw addition. [En línea] *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. [Fecha de consulta: 29 de mayo del 2022] Disponible en: doi:10.1002/jctb.5638
48. Sun, George et al. Using yeast to sustainably remediate and extract heavy metals from waste Waters [En línea] *Nat Sustain* 3, 303–311 (2020). [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0478-9>
49. Vela N. et al. Efficient bioremediation of metallurgical effluents through the use of microalgae isolated from the amazonic and highlands of Ecuador. [En línea] *Contam. Ambient* vol.35 no.4 (2020) [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.11>

50. Villegas M. et al. A composite taxonomical and functional framework of microbiomes under acid mine drainage bioremediation systems. [En línea] *Journal of Environmental Management* volume 251, (2019) [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109581>
51. Wu, C., Jiang, M., Hsieh, L., Cai, Y., Shen, Y., Wang, H., Lou, L. (2020). Feasibility of bioleaching of heavy metals from sediment with indigenous bacteria using agricultural sulfur soil conditioners. [En línea] *Science of The Total Environment*, 703, 134812. [Fecha de consulta: 10 de junio del 2022] Disponible en: [doi:10.1016/j.scitotenv.2019.1348](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.1348)
52. Yan, Chincheng et al. Microalgal bioremediation of heavy metal pollution in water: Recent advances, challenges, and prospects [En línea] *Chemosphere* Volume 286, Part 3, January 2022, 131870 [Fecha de consulta: 29 de Junio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131870>
53. Znad, Hussein et al. The Utilization of Algae and Seaweed Biomass for Bioremediation of Heavy Metal-Contaminated Wastewater [En línea] *Molecules* 2022, 27(4), 1275 [Fecha de consulta: 29 de junio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.3390/molecules27041275>

ANEXOS

Anexo 1: Carta a Expertos



DOCUMENTOS PARA VALIDAR LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN A TRAVÉS DE JUICIO DE EXPERTOS

CARTA A EXPERTOS PARA EVALUACIÓN DE INSTRUMENTO

Lima, 01 de diciembre de 2022

Ordoñez Galvez Juan Julio

Apellidos y nombres del experto

Asunto: **Evaluación de instrumento**

Sirva la presente para expresarles nuestro cordial saludo e informarle que estoy desarrollando y elaborando mi tesis titulada: **"Biorremediación para la Remoción de Metales Pesados en las Aguas Acidas Mineras: Revisión Sistémica 2022"**, a fin de optar nuestro grado o título de: Ingeniero Ambiental.

Por ello, estamos desarrollando un estudio en el cual se incluye el instrumento de recolección de datos, denominado: **"FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO"** por ser una REVISIÓN SISTEMÁTICA; por lo que, le solicitamos tenga a bien realizar la validación de este instrumento de investigación, que adjunto, para cubrir con el requisito de "Juicio de expertos".

Esperando tener la acogida a esta petición, hacemos propicia la oportunidad para renovar mi aprecio y especial consideración.

Atentamente,

Madueño Marca, Lisbeth Pamela
DNI: 46014215

Calizaya Jorge Marcos Daniel
DNI: 73594564

Adjunto Anexos:

- *Título de la investigación*
- *Matriz de categorización apriorística (problemas específicos, objetivos específicos, categorías, sub categorías y criterios).*
- *Instrumento (3 fichas de recolección de datos por categoría).*

Anexo 2: Matriz de validación por Expertos



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

INFORME DE OPINIÓN SOBRE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto: ORDOÑEZ GALVEZ, JUAN JULIO _____
 Institución donde labora : UCV _____
 Especialidad : HIDROLOGO AMBIENTAL _____
 Instrumento de evaluación : _____
 Autor (s) del instrumento (s): _____

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.				X	
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.				X	
ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental				X	
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.				X	
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio.				X	
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.				X	
COHERENCIA	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental				X	
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.				X	
PERTINENCIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.				X	
PUNTAJE TOTAL						

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41 "Excelente"; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido ni aplicable)

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

PROMEDIO DE VALORACIÓN:

41


 Juan Julio Ordoñez Galvez
 DNI: 08447308

Lima, 01 de diciembre de 2022

Anexo 3: Instrumentos de recolección de datos

Anexo 3: Ficha de recolección de datos

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS – CATEGORÍA 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS ÁCIDAS														
Autores	Año	País	pH	Conductividad eléctrica	Color	Olor	Temperatura	Concentraciones de metales	Tipo de metales	Sulfuros	Nitratos	Fosfatos	Conclusiones	Observaciones

 DR. JOSÉ ANTONIO GARCÍA DNI: 05447302		
---	--	--

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS – CATEGORÍA 2: TIPO DE METALES PESADOS Y METALOIDES DE AGUAS ÁCIDAS DE MINERÍA										
Autores	Año	País	Plomo	Cadmio	Mercurio	Cobre	Arsénico	Boro	Telurio	Conclusiones

 DR. JOSÉ ANTONIO GARCÍA DNI: 05447302		
---	--	--

Anexo 3: Instrumentos de recolección de datos

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS – CATEGORÍA 3: TIPOS DE MICROORGANISMOS									
Autores	Año	País	Virus	Algas Cianofíceas	Hongos	Protozoos	Arqueas y Bacterias	Conclusiones	Observaciones

		
---	--	--

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS – CATEGORÍA 4: PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE LOS METALES PESADOS Y METALOIDES DE LAS AGUAS ÁCIDAS DE MINERÍA												
Autores	Año	País	% Plomo	% Cadmio	% Mercurio	% Cobre	% Silicio	% Arsénico	% Boro	% Telurio	Conclusiones	Observaciones

		
---	--	--



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, QUIJANO PACHECO WILBER SAMUEL, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Bioremedación para la Remoción de Metales Pesados en las Aguas Ácidas Mineras :Revisión Sistemática 2022", cuyos autores son MADUEÑO MARCA LIZBETH PAMELA, CALIZAYA JORGE MARCOS DANIEL, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 25 de Noviembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
QUIJANO PACHECO WILBER SAMUEL DNI: 06082600 ORCID: 0000-0001-7889 -7928	Firmado electrónicamente por: WLSAMUELQUP el 25-11-2022 23:36:40

Código documento Trilce: TRI - 0455329