



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Técnicas biológicas de biorremediación de metales pesados en aguas
superficiales

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO
DE:**

Bachiller en Ingeniería Ambiental

AUTORES:

Huaman Castrejon, Tatiana Lizeth (orcid.org/0000-0002-2886-5140)

Lezama Acuña, Isabo Anais (orcid.org/0000-0001-7965-0003)

ASESOR:

Dr. Cruz Monzon, Jose Alfredo (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

2024



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, CRUZ MONZON JOSE ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Trabajo de Investigación titulado: "Técnicas biológicas de biorremediación de metales pesados en aguas superficiales", cuyos autores son LEZAMA ACUÑA ISABO ANAIS, HUAMAN CASTREJON TATIANA LIZETH, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 16%, 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 el Trabajo de Investigación 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.

TRUJILLO, 02 de Julio del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
CRUZ MONZON JOSE ALFREDO DNI: 18887838 ORCID: 0000-0001-9146-7615	Firmado electrónicamente por: JACRUZM el 02-07- 2024 15:51:29

Código documento Trilce: TRI - 0788330





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, LEZAMA ACUÑA ISABO ANAIS, HUAMAN CASTREJON TATIANA LIZETH estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan el Trabajo de Investigación titulado: "Técnicas biológicas de biorremediación de metales pesados en aguas superficiales", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que el Trabajo de Investigación:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado, ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

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

Nombres y Apellidos	Firma
ISABO ANAIS LEZAMA ACUÑA DNI: 71243707 ORCID: 0000-0001-7965-0003	Firmado electrónicamente por: IALEZAMAL el 02-07-2024 19:50:20
TATIANA LIZETH HUAMAN CASTREJON DNI: 72620794 ORCID: 0000-0002-2886-5140	Firmado electrónicamente por: TLHUAMAN el 02-07-2024 19:55:28

Código documento Trilce: TRI - 0788329



Índice de contenidos

Carátula	i
Declaratoria de autenticidad del asesor	ii
Declaratoria de originalidad de los autores	iii
Índice de contenidos	iv
Resumen	v
Abstract.....	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGÍA	3
III. RESULTADOS	7
IV. CONCLUSIONES.....	13
REFERENCIAS	14
ANEXOS.....	19

Resumen

A nivel internacional las aguas superficiales representan el 60% del agua que llega a los hogares, sin embargo, la contaminación a nivel mundial hace que más de un tercio de estas aguas no sean aptas para nadar, pescar y beber al tener alta cantidad de fosfatos y nitratos, como objetivo general de esta investigación fue, evaluar las técnicas biológicas de biorremediación de metales pesados en aguas superficiales. El tipo de investigación realizada fue de tipo básica y corresponde a una revisión sistemática sin meta análisis siendo una investigación cuantitativa de diseño no experimental, longitudinal, los resultados de la revisión de estos 15 artículos se muestran que el cromo en las lagunas está en valores alrededor del 48% y el 90% de remoción, además el valor de remoción de cobre esta alrededor de los 90%. Las mejores técnicas de biorremediación son la fitorremediación y la biorremediación microbiana ya que son los de mayor remoción de los metales cromo, cobre, zinc y arsénico.

Palabras clave: Biorremediación, metales, biológicas, aguas superficiales.

Abstract

At an international level, surface waters represent 60% of the water that reaches homes, however, global pollution makes more than a third of these waters unsuitable for swimming, fishing and drinking as they have a high amount of phosphates. and nitrates, the general objective of this research was to evaluate the biological techniques for bioremediation of heavy metals in surface waters. The type of research carried out was basic and corresponds to a systematic review without meta-analysis, being quantitative research with a non-experimental, longitudinal design. The results of the review of these 15 articles show that chromium in the lagoons is at values around of 48% and 90% removal, in addition the copper removal value is around 90%. The best bioremediation techniques are phytoremediation and microbial bioremediation since they are the ones with the greatest removal of the metals chromium, copper, zinc and arsenic.

Keywords: Bioremediation, metals, biological, surface waters.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional las aguas superficiales representan el 60% del agua que llega a los hogares, sin embargo, la contaminación a nivel mundial hace que más de un tercio de estas aguas no sean aptas para nadar, pescar y beber al tener alta cantidad de fosfatos y nitratos (EPA, 2023). Por esto es de vital importancia descontaminar el agua con el fin de convertirla en un recurso aprovechable, y para ello se deben utilizar técnicas físicas, químicas y biológicas para la descontaminación de las aguas superficiales (AQUAE FUNDACION, 2021). Uno de los principales contaminantes existentes en las aguas superficiales son los metales pesados, que no son fáciles de eliminar por lo que el uso de microorganismos puede constituir en una forma biocompatible para descontaminar el agua (Lopez et al., 2005).

Un ejemplo de tratamiento biológico es cuando los microorganismos autótrofos realizan su metabolismo, el cual se basa en la oxidación del manganeso y del hierro permitiendo así que, al realizar este proceso, el agua pueda descontaminarse. Este tipo de tratamiento biológico no es diferente al tratamiento de la oxidación-filtración ya que al realizarse ambas comparten ciertas particularidades como la medida en el contenido de oxígeno presente, la velocidad en cómo se desarrolla la filtración y la talla efectiva de la arena. Realmente no está claramente definida la frontera que hay entre la oxidación química y el tratamiento biológico ya que el buen funcionamiento de la mayoría de instalaciones del primer tipo se deben al desarrollo de microorganismos (Orellana 2005).

Una de las fuentes biodegradantes que se pueden encontrar, son los sedimentos de la superficie y aguas superficiales, es por ello que se propuso el uso de bacterias ya que estas actúan como un tipo de barrera natural pudiendo controlar así la presencia de metales en el agua. Al realizarse este tipo de tratamiento se debe tener en cuenta un mejor conocimiento al respecto sobre la determinación de las funciones y la composición genética de la comunidad microbiana que será aplicada en el lecho de los ríos, para que así se ponga en marcha una actividad que controle la cantidad que se insertará de microorganismos para reducir la el nivel de metales presentes en los

sedimentos de los ríos Zenna (Bélgica) y Belá (República Checa), (Comisión Europea 2012).

Por esta problemática es que se planteó la siguiente interrogante ¿Cuál es la técnica biológica de biorremediación de metales pesados más eficientes en aguas superficiales?

La presente investigación es teóricamente justificable ya que existieron diversas revistas y trabajos de investigación vinculados con las técnicas de remoción de metales pesados en aguas superficiales, a pesar de ello, muchos de estos trabajos no han sido ejecutados a gran escala, por ende esta investigación se realiza con el propósito de informar cual es el factor de mayor importancia en las técnicas biológicas de biorremediación más eficientes para la remoción de metales pesados en aguas superficiales, y que resultados se obtendrían al ser aplicados, además se presentó el lugar donde se realizó la investigación y las especies con las que se trabajó. Siendo este un tema de gran importancia para el medio ambiente e interés para la población, debido a la situación crítica que hoy en día afrontan los cuerpos de agua superficial.

El objetivo general de esta investigación fue, evaluar las técnicas biológicas de biorremediación de metales pesados en aguas superficiales, y como objetivos específicos evaluar las técnicas biológicas de mayor efectividad en la remoción de metales pesados según el tipo de aguas superficiales, evaluar las técnicas biológicas de mayor efectividad según el tipo de agente aplicado para la remoción de metales en aguas superficiales y evaluar la efectividad de las técnicas biológicas según la especie utilizada en la remoción de metales en aguas superficiales.

II. METODOLOGÍA

Enfoque de la revisión de literatura: La investigación realizada fue de tipo básica y corresponde a una revisión sistemática sin meta análisis siendo una investigación cuantitativa de diseño no experimental, longitudinal.

Selección de fuentes y bases de datos: Para la búsqueda de artículos en las bases de datos, se utilizaron palabras clave con sus respectivos conectores booleanos del tema de investigación. Las plataformas digitales consultadas fueron Scopus y Scielo, tal como se muestran a continuación.

Tabla 1: Palabras claves usadas en las bases de datos

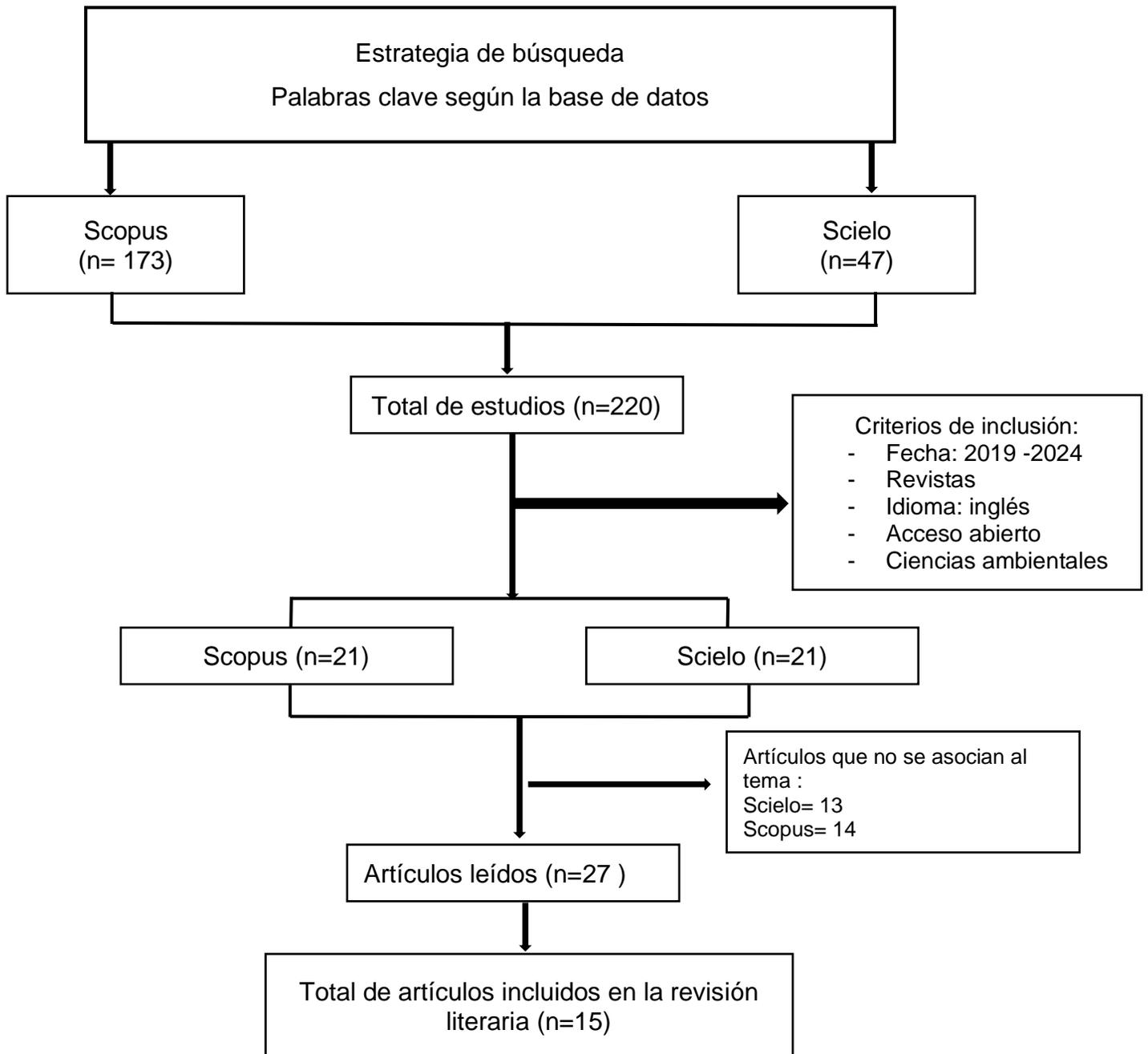
N°	Base de datos	Palabras Clave
1	Scopus	bioremediation AND heavy AND metals AND water
2	Scielo	heavy AND metal AND bioremediation

Fuente: Elaboración propia

Volumen de publicaciones utilizadas: En una primera búsqueda se recolectaron 173 artículos, tras aplicar criterios de inclusión se obtuvieron 21 artículos en la base de datos Scopus, posteriormente se identificaron los artículos relacionados al tema descartando temas que no se asociaron a la investigación teniendo así 7.

También en la primera búsqueda en la base datos de Scielo se encontraron 47 artículos, tras aplicar criterios de inclusión se obtuvieron 21 artículos, posteriormente se identificaron los artículos relacionados al tema descartando temas que no se asociaron a la investigación teniendo así 8 artículos de investigación.

Para una mejor revisión de información, únicamente se tomó en cuenta la información proveniente de revistas indexadas durante los años de 2019 a 2024.



A continuación, se muestran los 15 autores de las revistas con las que se trabajó y los años en las que se realizaron.

Tabla 2: Publicaciones consideradas en la investigación

N°	Autor	Año
1	Sánchez et al.	2023
2	Cárdenas et al.	2023
3	García et al.	2023
4	Samudio et al.	2021
5	Cuba	2022
6	Vela et al.	2020
7	Wenn y Su	2024
8	Hu et al.	2024
9	Moreno et al.	2019
10	Vélez et al.	2021
11	Moreno y Clamont	2020
12	Rodríguez et al.	2021
13	Gámez et al.	2020
14	Chaudhary et al.	2024
15	Rojas	2023

Fuente: Elaboración propia

Se muestran los 15 artículos seleccionados acorde al desarrollo de la investigación, los que se tomaron en cuenta y resolverán los objetivos planteados.

Además, se tomaron en cuenta criterios de selección de artículos. Como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Criterios de selección de artículos

Idioma	Año de publicación	Tipo de acceso	Tipo de artículos	Tipos de biorremediación
Inglés – español	2019 - 2024	Acceso libre	Científicos	Fitorremediación Bioadsorción Células libres Biorremediación microbiana

Fuente: Elaboración propia

Consideraciones éticas y de integridad científica:

La investigación se ha elaborado teniendo en consideración la honestidad, objetividad principios éticos de la universidad y cautela con la información proveniente de artículos cuyos autores garantizan la autenticidad de sus resultados, al ser estos trabajos extraídos de fuentes confiables.

III. RESULTADOS

Para la evaluar de las técnicas biológicas de mayor efectividad en la remoción de metales pesados según el tipo de aguas superficiales se realizó una tabla resumen para la visualización de la comparativa de resultados como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Datos de la remoción y tipo de agua en el que se estudió

N°	Autor	Tipo de agua	Metal removido (%)									
			Cd	As	Co	Cr	Hg	Cu	Zinc	Pb	Ni	Mn
1	Moreno y Clamont (2020)	Río	80.00	85.50	–	–	–	–	–	–	–	–
2	Cuba(2022)	Río	94.00	89.50	–	–	–	–	–	–	–	–
3	Rojas (2023)	Río	67.00	11.00	–	–	–	76.00	–	23.00	–	–
4	Chaudhary et al. (2024)	Río	68.00	–	–	–	–	–	63.00	52.00	58.00	–
5	Wenn y Su (2024)	Río	–	32.30	–	–	–	–	–	–	–	–
6	Rodríguez et al. (2021)	Río	–	–	87.80	–	–	–	–	–	–	79.90
7	Samudio et al. (2021)	Río	–	–	–	99.90	–	83.46	99.04	–	99.50	–
8	Hu et al. (2024)	Río	–	–	–	40.90	11.40	–	–	–	–	–
9	Moreno et al. (2019)	Río	–	–	–	75.60	–	–	–	–	–	–
10	Vélez et al. (2021)	Río	–	–	–	100.00	–	–	–	–	–	–
11	Vela et al. (2020)	Río	–	–	–	–	86.00	–	–	–	–	–
12	Cárdenas et al. (2023)	Río	–	–	–	–	–	–	–	63.78	–	–

13	García et al. (2023)	Río	–	–	–	–	–	–	–	–	69.69	–
14	Sánchez et al. (2023)	Lagunas	–	–	–	90.00	–	90.00	–	–	–	–
15	Gámez et al. (2020)	Lagunas	–	–	–	48.00	–	–	–	–	–	–

Fuente: Elaboración propia

De la revisión de estos 15 artículos se muestra que el cromo en las lagunas está en valores alrededor del 48% y el 90% de remoción, además el valor de remoción de cobre esta alrededor de los 90%. También los estudios en aguas de río sus valores de remoción están entre los 99.95% como máximo y 11% como valor mínimo.

Para la evaluación de las técnicas biológicas de mayor efectividad según el tipo de agente aplicado para la remoción de metales en aguas superficiales. Se consideró los mismos 15 artículos como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Datos de la remoción y agente aplicado con el que se estudió

N°	Autor	Agente	Técnica	Metal removido (%)									
				Cd	As	Co	Cr	Hg	Cu	Zinc	Pb	Ni	Mn
1	Moreno y Clamont (2020)	Bacterias	Biorremediación microbiana	80.00	85.5	–	–	–	–	–	–	–	–
2	Rojas (2023)	Bacterias	Biorremediación microbiana	67.00	11.00	–	–	–	76.00	–	23.00	–	–
3	Rodríguez et al. (2022)	Bacterias	Biorremediación microbiana	–	–	87.8	–	–	–	–	–	–	79.90
4	Moreno et al. (2019)	Bacterias	Biorremediación microbiana	–	–	–	75.60	–	–	–	–	–	–
5	Vélez et al. (2021)	Bacterias	Biorremediación microbiana	–	–	–	100.00	–	–	–	–	–	–
6	Gámez et al. (2020)	Bacterias	Biorremediación microbiana	–	–	–	48.00	–	–	–	–	–	–
7	Hu et al. (2024)	Bacterias	Biorremediación microbiana	–	–	–	40.90	11.40	–	–	–	–	–
8	Cuba(2022)	Planta	Fitorremediación	94.00	89.50	–	–	–	–	–	–	–	–
9	Samudio et al. (2021)	Planta	Fitorremediación	–	–	–	99.90	–	83.46	99.04	–	99.50	–
10	Cárdenas et al. (2023)	Planta	Fitorremediación	–	–	–	–	–	–	–	63.78	–	–
11	García et al. (2023)	Planta	Fitorremediación	–	–	–	–	–	–	–	–	69.69	–
12	Chaudhary et al. (2024)	Hongos	Células libres	68.00	–	–	–	–	–	63.00	52.00	58.00	–
13	Wenn y Su (2024)	Microalgas	Fitorremediación	–	32.30	–	–	–	–	–	–	–	–
14	Sánchez et al. (2023)	Levaduras	Bioadsorción	–	–	–	90.00	–	90.00	–	–	–	–
15	Vela et al. (2020)	Alga	Fitorremediación	–	–	–	–	86.00	–	–	–	–	–

Fuente: Elaboración propia

De la tabla se visualiza que el uso del agente denominado “bacterias” y “plantas” tienen los mayores porcentajes de remoción por lo que es más efectivo para la remoción de ciertos contaminantes. Teniendo mayor remoción el metal cadmio, arsénico y cromo. Las bacterias teniendo como valor mínimo de remoción 11.40% en mercurio y 100% en el cromo. Las plantas tienen como valor mínimo de remoción alrededor de 63.78% en plomo y el valor máximo 99.90% en el metal cromo.

Para la evaluación de la efectividad de las técnicas biológicas según la especie utilizada en la remoción de metales en aguas superficiales se realizó una tabla especificando el autor y la especie utilizada en el estudio, como se visualiza en la tabla 6.

Tabla 6. Datos de la remoción y especie aplicada con la que se estudió

N°	Autor	Especie	Metal removido (%)									
			Cd	As	Co	Cr	Hg	Cu	Zinc	Pb	Ni	Mn
1	Cuba(2022)	Pistia Stratiotes	94.00	89.50	–	–	–	–	–	–	–	–
	Cuba(2022)	Eichhornia Crassipes	90.00	84.70	–	–	–	–	–	–	–	–
	Cuba(2022)	Azolla Filiculoides	74.00	92.70	–	–	–	–	–	–	–	–
2	Moreno y Clamont (2020)	S. cerevisiae	80.00	85.50	–	–	–	–	–	–	–	–
3	Rojas (2023)	cianobacteria nostoc sp	67.00	11.00	–	–	–	–	76.00	–	23.00	–
4	Chaudhary et al. (2024)	Aspergillus niveus	41.00	–	–	–	–	–	–	55.00	68.00	69.00
	Chaudhary et al. (2024)	Aspergillus flavus	68.00	–	–	–	–	–	–	63.00	52.00	58.00
	Chaudhary et al. (2024)	Aspergillus niger	59.00	–	–	–	–	–	–	60.00	59.00	50.00
5	Wenn y Su (2024)	Chlorella	–	32.30	–	–	–	–	–	–	–	–
6	Rodríguez et al. (2022)	Rhodococcus opacus	–	–	87.80	–	–	–	–	–	–	79.90
7	Hu et al. (2024)	Escherichia coli	–	–	–	40.90	11.40	–	–	–	–	–
8	Sánchez et al. (2023)	extremófilas	–	–	–	90.00	–	90.00	–	–	–	–
9	Samudio et al. (2021)	Typha dominguensis	–	–	–	99.90	–	83.46	99.04	–	99.50	–
10	Moreno et al. (2019)	Bacillus cereus	–	–	–	75.60	–	–	–	–	–	–
11	Vélez et al. (2021)	Bacillus cereus	–	–	–	100.00	–	–	–	–	–	–
	Vélez et al. (2021)	Staphylococcus saprophyticus	–	–	–	29.00	–	–	–	–	–	–
	Vélez et al. (2021)	Ochrobactrum anthropi	–	–	–	61.10	–	–	–	–	–	–

12	Gómez et al. (2020)	P. aeruginosa	--	--	--	48.00	--	--	--	--	--	--
13	Vela et al. (2020)	Pleurococcus	--	--	--	--	86.00	--	--	--	--	--
14	Cárdenas et al. (2023)	Lemna Minor	--	--	--	--	--	--	--	54.88	--	--
	Cárdenas et al. (2023)	Eichhornia crassipes	--	--	--	--	--	--	--	63.78	--	--
15	García et al. (2023)	Cyperus Papyrus	--	--	--	--	--	--	--	--	69.69	--

Fuente: Elaboración propia

Como podemos visualizar en la tabla, el mayor porcentaje de remoción es el cromo en los artículos estudiados, la especie *Typha domingensis* tiene los mayores valores de remoción en cromo, cobre, zinc y níquel.

IV. CONCLUSIONES

En el estudio de 15 artículos de remoción de metales en aguas superficiales encontramos mayor cantidad de remoción en los ríos, siendo estas en los metales cadmio, con valores alrededor de 67% a 94%, arsénico con valores de 11% a 89.50%, cobalto con valores alrededor del 87.80%, cromo con valores entre 4.09% hasta 100%, mercurio con valores de 1.14% a 96%, cobre con valores de 76% a 83.46%, zinc con valores de 63% a 99.04%, plomo con valores de 23% hasta 52%, níquel con valores de 58% a 99.5% y por ultimo al Manganeso con valores alrededor de 79.90%.

Los agentes denominados plantas y bacterias remueven alrededor de 67% a 80% de cadmio, 11% a 85.50% de arsénico, cobalto con valores alrededor del 87.80%, cromo con valores entre 40.9% hasta 100%, mercurio con valores alrededor de 11.4%, cobre con valores de 76%, plomo con valores alrededor del 23% y Manganeso con valores alrededor de 79.90% de remoción con bacterias. Y en plantas fue de alrededor de 94% para cadmio, 89.5% de arsénico, 99.90 % de cromo, 83.46% de cobre, 99.04% de zinc, 63.785 de plomo y alrededor de 69.69% a 99.50% de níquel.

De las 15 especies trabajadas en las 15 investigaciones, la especie que mayor porcentaje removió fue la *Typha dominguensis* con un 99.9% de cromo, 83.46% de cobre, 99.04% de zinc y 99.5% de níquel. Además, las removedoras de cromo y arsénico fueron la *Pistia Stratiotes*, *Eichhornia Crassipes*, *Azolla Filiculoides*, *S. cerevisiae* y *Cianobacteria nostoc sp.*

Las mejores técnicas de biorremediación son la fitorremediación y la biorremediación microbiana ya que son los de mayor remoción de los metales cromo, cobre, zinc y arsénico.

REFERENCIAS

1. AQUAE FUNDACION. 2024. Descontaminación del agua: cómo convertirla en un recurso aprovechable. [Consultado el 02 de junio de 2024].
Disponible en:
<https://www.fundacionaquae.org/wiki/descontaminacion-del-agua/>
2. CARDENAS, Ruth, PONCE, Melanie, LLAQUE, Grant, VILLAR, Josualdo y CARDENAS.R, Karina. Phytoremediation with Eichhornia Crassipes and Lemna Minor L. in Water Contaminated with Heavy Metals - Trujillo – Peru. [en línea]. Trujillo 2023. [Consultado el 01 de junio de 2024].
Disponible en:
DOI: [10.18687/LEIRD2023.1.1.442](https://doi.org/10.18687/LEIRD2023.1.1.442)
3. CHAUDHARY, Prachi, BENIWAL, Vikas, SHARMA, Priyanka, GOYAL, Soniya, KUMAR, Raman, ALKHANJAF, Ahmed y UMAR, Ahmad. Unloading of hazardous Cr and Tannic Acid from real and synthetic waste water by novel fungal consortia. [en línea]. India 2024. [Consultado el 02 de junio de 2024].
Disponible en:
DOI: [10.1016/j.eti.2021.102230](https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102230)
4. COMISION EUROPEA 2012. Métodos de biorremediación para reducir la contaminación de las aguas superficiales. [en línea]. Bélgica 2012. [Consultado el 02 de junio de 2024].
Disponible en:
<https://cordis.europa.eu/article/id/89383-bioremediation-to-alleviate-surface-water-pollution/es> :
5. CUBA, Jeritza. FITORREMEDIACIÓN CON MACRÓFITAS EN LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUAS RESIDUALES, A NIVEL DE LABORATORIO, 2021. [en línea]. Lima 2022. [Consultado el 02 de junio de 2024].
Disponible en:
DOI: <http://190.12.84.13:8080/>
6. DENCHAK, Melisa. La contaminación del agua: Todo lo que necesitas saber. [en línea]. NRDC. (Consejo para defensa de recursos naturales) 2023.

[Consultado el 02 de junio de 2024].

Disponible en:

<https://www.nrdc.org/es/stories/contaminacion-agua-todo-lo-necesitas-saber#que-es>

7. GÁMEZ, Odalys, PÉREZ, Rocio, AGUILERA, Isabel, PÉREZ.S, Rosa y ABALOS, Arelis. Remoción de cobre de aguas contaminadas empleando ramnolípidos. [en línea]. Santiago de Cuba 2020. [Consultado el 02 de junio de 2024].

Disponible en:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212020000300511&lang=es

8. GARCIA, Fernando, PATIÑO, Jhanina, ZHINING, Fanny, DONOSO, Silvana, FLORES, Lisveth y AVILES, Alex. Desempeño de Phragmites Australis y Cyperus Papyrus en el tratamiento de aguas residuales municipales mediante humedales artificiales subsuperficiales de flujo vertical [en línea]. Lima 2023. [Consultado el 01 de Junio de 2024].

Disponible en:

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992019000400917&lang=es

9. HU, Cerrando, WEI, Zixiang, LUI, Teng, ZUO, Xinyu y JIA, Xiaoqiang. Adsorption of Hg²⁺/Cr⁶⁺ by metal-binding proteins heterologously expressed in Escherichia coli. [en línea]. China 2024. [Consultado el 02 de junio de 2024].

Disponible en:

DOI: [10.1186/s12896-024-00842-9](https://doi.org/10.1186/s12896-024-00842-9)

10. LOPEZ, Sughey, GALLEGOS, Margarita, PEREZ, Laura y Gutiérrez Mariano. MECANISMOS DE FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON MOLÉCULAS ORGÁNICAS XENOBIÓTICAS. [en línea]. México 2005. [Consultado el 02 de junio de 2024].

Disponible en:

DOI: <https://doi.org/10.11144/javeriana.sc24-1.rcie>

11. MORENO, Jennifer, PEÑA, Enrique y BENITEZ, Neyla. Reducción del Cr⁶⁺ en aguas residuales de galvanoplastia con cepa de *Bacillus cereus* B₁. [en línea]. Brasil 2022. [Consultado el 01 de junio de 2024].
Disponible en:
DOI: <https://doi.org/10.11144/javeriana.sc24-1.rcie>
12. MORENO.R, Silvia y CLAMONT, Gabriela. Descontaminación de arsénico, cadmio y plomo en agua por biosorción con *Saccharomyces cerevisiae*. [en línea]. México 2020. [Consultado el 02 de junio de 2024].
Disponible en:
DOI. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.155>
13. ORELLANA, Jorge. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS. [en línea]. 2005. [Consultado el 02 de junio de 2024].
Disponible en:
https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_06_Tratamiento_de_Aguas.pdf
14. PABON, S, BENITEZ, R, SARRIA, R Y GALLO, J. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. [en línea]. Pereira 2020. [Consultado el 02 de junio de 2024].
Disponible en:
DOI: <https://doi.org/10.31908/19098367.0001>
15. RODRIGUEZ, Amanda, REYNOSO, Patricia, CABELLO, Rita y VALDIVIEZO, Lorgio. Bio adsorption of Co (II) and Mn (II) in aqueous solutions by the *Rhodococcus opacus bacterium*. [en línea]. Brasil 2022. [Consultado el 01 de junio de 2024].
Disponible en:
DOI: [10.24850/j-tyca-2022-04-05](https://doi.org/10.24850/j-tyca-2022-04-05)
16. ROJAS, Cinthia. Evaluación de la remoción de metales pesados utilizando la cianobacteria nostoc sp como alternativa de bioabsorbente. [en línea]. Lima 2023. [Consultado el 02 de junio de 2024].
Disponible en:
DOI: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/27514>

17. SAMUDIO, Antonio, NAKAYAMA, Héctor, AVALOS, Claudia, CANTERO, Isaura, BENITEZ, Juan, AYALA, Jose, ELKHALILI, Ryad, PERALTA, Inocencia. Eficiencia de la absorción de cobre (Cu) y cromo (Cr), una propuesta de fitorremediación de efluentes mediada por *Typha dominguensis*. [en línea]. Asunción 2021. [Consultado el 01 de junio de 2024].

Disponible en:

DOI: <https://doi.org/10.32480/rscp.2021.26.2.100>

18. SANCHEZ, Tito, MACEDO Diego, RAMIREZ, Pablo, ARRIETA, Lee, DURAND, Yerson, FLORES, Abat, MANYA, Walter y GUERRA, Gregory. CEPAS DE *Yarrowia lipolytica*, AISLADAS DE LAGUNAS ALTOANDINAS DEL PERÚ CONTAMINADAS CON RELAVES MINEROS, COMO POTENCIALES AGENTES PARA LA BIORREMEDIAÇÃO DE METALES PESADOS. [en línea]. Lima 2023. [Consultado el 01 de junio de 2024].

Disponible en:

DOI: <https://doi.org/10.21704/rea.v22i1.1978>

19. VELA, Nicolas, GUAMAN, María y GONZALES, Nory. EFFICIENT BIOREMEDIATION OF METALLURGICAL EFFLUENTS THROUGH THE USE OF MICROALGAE ISOLATED FROM THE AMAZONIC AND HIGHLANDS OF ECUADOR. [en línea]. México 2019. [Consultado el 01 de junio de 2024].

Disponible en:

DOI: <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.11>

20. VELEZ, Juan, QUIROZ, Luisa, Ruiz, Orlando, Montoya, Olga, Turrion, María y ORDUZ, Sergio. Bacterias reductoras de cromo hexavalente sobre biosólidos de la Planta Depuradora de Aguas Residuales de San Fernando en Medellín (Colombia). [en línea]. Bogotá 2021. [Consultado el 02 de junio de 2024].

Disponible en:

DOI: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v23n1.94005>

21. WENN, Tang y Su, Foo. Microalgae for freshwater arsenic bioremediation: examining cellular toxicity, bioconcentration factor and eluding an alternative arsenic detoxification pathway. [en línea]. California 2024. [Consultado el 01 de junio de 2024].

Disponible en:

DOI: [10.1007/s13205-024-03977](https://doi.org/10.1007/s13205-024-03977)

ANEXOS

Anexo N°01: Matriz de caracterización

Ámbito temático	Problema de investigación	Pregunta general	Objetivo General	Objetivos específicos	Categorías	Subcategorías
Técnicas biológicas de biorremediación de metales pesados en aguas superficiales	A nivel internacional las aguas superficiales representan el 60% del agua que llega a los hogares, sin embargo, la contaminación a nivel mundial hace que más de un tercio de estas aguas no sean aptas para nadar, pescar y beber al	¿Cuál es la técnica biológica de biorremediación de metales pesados más eficientes en aguas superficiales?	Evaluar las técnicas biológicas de biorremediación de metales pesados en aguas superficiales	Evaluar las técnicas biológicas de mayor efectividad en la remoción de metales pesados según el tipo de aguas superficiales	Tipo de aguas superficiales	Lagunas
						Ríos
				Evaluar las técnicas biológicas de mayor efectividad	Agente	Hongos
						Bacterias

	<p>tener alta cantidad de fosfatos y nitratos (EPA 2023). Por esto es de vital importancia descontaminar el agua con el fin de convertirla en un recurso aprovechable, y para ello se deben utilizar técnicas físicas, químicas y biológicas para la descontaminación de las aguas superficiales (AQUAE FUNDACION 2021)</p>			según el tipo de agente aplicado para la remoción de metales en aguas superficiales		Plantas
						Levaduras
				Evaluar la efectividad de las técnicas biológicas según la especie utilizada en la remoción de metales en aguas superficiales	Especie	

Anexo N°02: Matriz general de artículos

N°1	Autor	Tipo de agua	Técnica	Agente	Especie	Metal removido (%)										Remoción promedio (%)	Link	
						Cd	As	Co	Cr	Hg	Cu	Zinc	Pb	Ni	Mn			
1	Sánchez et al. (2023)	Lagunas	bioadsorción	levaduras	extremófilas	0.63	-	-	0.242	0.05	-	-	-	-	-	0.63	0.388	https://doi.org/10.21704/rea.v22i1.1978
2	Cárdenas et al. (2023)	río	fitorremediación	planta	Lemna Minor	-	-	-	-	-	-	-	54.88	-	-	54.88	DOI: 10.18687/L/EIRD2023.1.1.442	
	Cárdenas et al. (2023)	río	fitorremediación	planta	Eichhornia crassipes	-	-	-	-	-	-	-	63.78	-	-	63.78		
3	García et al. (2023)	río	Fitorremediación	planta	Cyperus Papyrus	-	-	-	-	-	-	-	-	69.69	-	69.69	-	
4	Samudio et al. (2021)	río	Fitorremediación	planta	<i>Typha domingensis</i>	-	-	-	99.9	-	83.46	99.04	-	99.5	-	95.475	https://doi.org/10.32480/rsop.2021.26.2.100	
5	Cuba(2022)	río	Fitorremediación	planta	Pistia Stratiotes	94	89.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

	Cuba(2022)	río	Fitorremediación	planta	Eichhornia Crassipes	90	84.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	http://190.12.84.13:8080/
	Cuba(2022)	río	Fitorremediación	planta	Azolla Filiculoides	74	92.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Vela et al. (2020)	río	Fitorremediación	Alga	<i>Pleurococcus</i>	-	-	-	-	86	-	-	-	-	-	-	86	https://doi.org/10.20937/ric.a.2019.35.04.11
7	Wenn y Su (2024)	río	Fitorremediación	Microalgas	Chlorella	-	32,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	DOI: 10.1007/s13205-024-03977
8	Hu et al. (2024)	río	Células libres	bacterias	Escherichia coli	-	-	-	40.90	11.14	-	-	-	-	-	-	1.14	DOI: 10.1186/s12896-024-00842-9
9	Moreno et al. (2019)	río	células libres	bacterias	Bacillus cereus	-	-	-	75,6	-	-	-	-	-	-	-	75,6	https://doi.org/10.11144/javeriana.sc24-1.rcie
10	Vélez et al. (2021)	río	Células libres	bacterias	Bacillus cereus	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	100	https://doi.org/10.15446/rev.colomb.bi
		río	Células libres	bacterias	Staphylococcus saprophyticus	-	-	-	29	-	-	-	-	-	-	-	29	5446/rev.colomb.bi

		río	Células libres	bacterias	Ochrobactrum anthropi	-	-	-	61.1	-	-	-	-	-	-	-	ote.v23n1.94005
11	Moreno y Clamont (2020)	río	Células libres	bacterias	S. cerevisiae	80	85.5	-	-	-	-	-	-	-	-	82.75	https://doi.org/10.2201/fesz.23958723e.2018.0.155
12	Rodríguez et al. (2022)	río	células libres	bacteria	Rhodococcus opacus	-	-	87.8	-	-	-	-	-	-	79.9	83.85	DOI: 10.24850/tyca-2022-04-05
13	Games et al. (2020)	Lagunas	células libres	bacteria	P. aeruginosa	-	-	-	48	-	-	-	-	-	-	48	http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S224-54212020000300511&lang=es
14	Chaudhary et al. (2024)	Río	Células libres	Hongos	Aspergillus niveus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	DOI: 10.1016/j.eti.2021.102230
			células libres	Hongos	Aspergillus flavus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

			células libres	Hongos	Aspergillus niger	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15	Rojas (2023)	rio	células libres	bacterias	cianobacteria nostoc sp	67	11	-	-	-	76	-	23	-	-	-	http://hdl.handle.net/20.500.12404/27514