



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

**Revisión sistemática: Efectividad de limpieza con plantas
macrófitos de aguas superficiales contaminadas con metales
pesados en el periodo 2012 – 2022.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Caurino Garcia, Jairo Jaime (orcid.org/0000-0002-1588-7965)

ASESOR:

Dr. Munive Cerron, Ruben Victor (orcid.org/0000-0001-8951-2499)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA - PERÚ

2022

DEDICATORIA

Dedico mi tesis principalmente a Dios,
por darme la fuerza necesaria para
culminar esta meta. A mis queridos
padres, por estar conmigo en cada
paso que doy en la búsqueda de ser
mejor persona y profesional. Y,
finalmente, a los que no creyeron en mí,
con su actitud lograron que tomará más
impulso y motivación.

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater la Universidad César Vallejo que proporcionó sus ambientes y brindó todo el conocimiento el cual permitió que sea una persona de bien.

A mi asesor por todo el apoyo brindado en la elaboración de la investigación.

A mis padres y hermanos que me brindaron el apoyo desinteresado e incondicional para lograr con todos mis objetivos.

Índice de contenidos

	Pág.
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	5
III. METODOLOGÍA	13
3.1. Tipo y diseño de investigación	13
3.2. Variables y operacionalización de variables.....	14
3.3. Población, muestra y muestreo.....	15
3.3.1. Población.....	15
3.3.2. Muestra.....	17
3.3.3. Muestreo.....	17
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	18
3.5. Procedimientos	18
3.6. Método de análisis de datos.....	27
3.7. Aspectos éticos	28
IV. RESULTADOS	29
V. DISCUSIÓN	54
VI. CONCLUSIONES	59
VII. RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS	61
ANEXOS	74

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Búsqueda avanzada de los artículos	16
Tabla 2. Procedencia de documento	21
Tabla 3. Análisis de la calidad de las investigaciones.....	24
Tabla 4. Investigaciones de mayor relevancia	30
Tabla 5. Tiempo de tratamiento con macrófitos	39
Tabla 6. Información relevante de los artículos seleccionados para el análisis ...	40
Tabla 7. Resultados descriptivos de la información recopilada.....	45
Tabla 8. Prueba de normalidad de los datos relevantes	46
Tabla 9. Prueba de hipótesis	52

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Fases de la ejecución de la investigación	19
Figura 2. Cantidad de artículos encontrados	20
Figura 3. Porcentaje de la procedencia de los artículos	21
Figura 4. Proceso de selección de la investigación	23
Figura 13. Cantidad de macrófitos identificados.....	48
Figura 14. Porcentaje de técnica que emplearon las investigaciones.....	49
Figura 15. Porcentaje de la eficiencia de los macrófitos	50
Figura 16. Remoción de metales pesados usando macrófitos	51
Figura 17. Gráfico de las medias de la efectividad	53
Figura 7. Gráfico de normalidad de la concentración inicial.....	82
Figura 8. Gráfico de normalidad de la concentración final	83
Figura 9. Gráfico de normalidad del pH.....	84
Figura 10. Gráfico de normalidad de la temperatura	85
Figura 11. Gráfico de normalidad del Factor de Bioacumulación	86
Figura 12. Gráfico de normalidad del factor de traslocación.....	87

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la efectividad del uso de macrófitos acuáticos para la remoción de metales pesados de aguas superficiales contaminados en base a una revisión sistemática de publicaciones científicas del periodo 2012-2022. Se empleó la metodología científica de enfoque cuantitativo, nivel descriptivo, tipo aplicado, diseño no experimental transversal descriptivo, asimismo, se aplicó el enfoque PICO y la declaración PRISMA para hacer una selección de los artículos más relevantes, a partir de ello, la muestra fue 54 artículos seleccionados para posterior análisis. Los resultados mostraron que los macrófitos más empleados fueron: *Eichhornia. crassipes*, *Lemna. minor*, *Pistia stratiotes*, *Hydrilla verticillata*, *Azolla Pinnata*, *Lemna gibba*, *Phragmites australis*, y *Ceratophyllum demersum*, especies que fueron usadas en 3 investigaciones como mínimo. Asimismo, el 78,18% de los artículos estudiados emplearon la técnica de fitorremediación. En cuanto al porcentaje de remoción, se observó que los macrófitos llegaron a remover el plomo en un 94%, el Zinc en 88%, el cadmio un 87%, el uranio en un 87%; cabe mencionar que el porcentaje de remoción más bajo fue para el mercurio con un 20%. En conclusión, la efectividad es alta de los macrófitos para remover los metales pesados que están presentes en las aguas contaminadas.

Palabras clave: Macrófitos, Fitorremediación, metales pesados, técnicas de remoción, aguas contaminadas.

Abstract

This study aimed to evaluate the effectiveness of the use of aquatic macrophytes for the removal of heavy metals from contaminated surface waters based on a systematic review of scientific publications from the period 2012-2022. The scientific methodology of quantitative approach, descriptive level, applied type, descriptive cross-sectional non-experimental design was used, likewise, the PICO approach and the PRISMA statement were applied to make a selection of the most relevant articles, from this, the sample was 54 articles selected for further analysis. The results showed that the most used macrophytes were: *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor*, *Pistia stratiotes*, *Hydrilla verticillata*, *Azolla Pinnata*, *Lemna gibba*, *Phragmites australis*, and *Ceratophyllum demersum*, species that were used in at least 3 investigations. Likewise, 78.18% of the articles studied used the phytoremediation technique. Regarding the percentage of removal, it was observed that the macrophytes managed to remove lead by 94%, Zinc by 88%, cadmium by 87%, uranium by 87%; It is worth mentioning that the lowest removal percentage was for mercury with 20%. In conclusion, the effectiveness is high of macrophytes to remove heavy metals that are present in polluted waters.

Keywords: Macrophytes, Phytoremediation, heavy metals, removal techniques, contaminated water.

I. INTRODUCCIÓN

En el último siglo, actividades como la minería, industria y agricultura, han incrementado los niveles de metales pesados en las fuentes hídricas, tanto aguas costeras como continentales (Gabriel et al., 2021). A modo de ejemplo, los relaves tradicionalmente almacenados en presas ofrecen un gran riesgo para múltiples ecosistemas incluso si estos están ubicados en un lugar lejano de las operaciones mineras (Magris et al., 2019).

La alteración de los cuerpos superficiales resulta una amenaza para los ecosistemas y la salud de las personas (Fernández San Juan et al., 2018). Los metales existen naturalmente en las rocas, pero la actividad humana ha incrementado su acumulación (Figueiredo et al., 2019). Los efectos a largo plazo de estos impactos aún no están claros en gran medida a pesar de que existen múltiples esfuerzos para monitorear los ecosistemas acuáticos, no hay una respuesta certera lo que incrementa actualmente los riesgos ecológicos para muchas especies (Sá et al., 2021)(Queiroz et al., 2018).

En esa línea se menciona que, el continente americano cuenta con alrededor de un tercio del total de los recursos hídricos a nivel mundial y 24.400 m³ de las cuales un gran porcentaje están expuestas a contaminación, Así mismo se puede decir que América Latina es una región con abundante disponibilidad de recursos de agua dulce. Sin embargo, este recurso es frágil y se ve particularmente afectado por el creciente desarrollo económico (Peña-Guzmán et al., 2019). De hecho, en muchos países de América Latina, existe una alta densidad de población en áreas con malas condiciones sanitarias, lo que contribuye a la contaminación de ríos y embalses que abastecen de agua (Caldas et al., 2019).

Según Zhou et al., (2020a) la alteración de cualquier cuerpo natural de agua por metales pesados es una alerta ambiental global. Debido a su excesiva acumulación, biomagnificación y toxicidad, los altos niveles de metales pesados en las aguas superficiales han provocado una gran preocupación dentro de los gobiernos y población. Asimismo, Ismael (2022) en su investigación dice que el 70% de los recursos hídricos se encuentran dentro de una zona de alta

contaminación. Además, la exposición a la contaminación puede representar una amenaza para la población, los niños son los grupos más vulnerables a los riesgos.

Ante lo mencionado, Pabón et al., (2020) también afirman que dentro de los principales causantes de contaminación son las actividades antropogénicas donde los resultados evidenciaron que la contaminación acuática puede llegar alrededor de 2,000,000 m³ a nivel global. Asimismo, Zhou et al., (2020b) dice que en promedio la alteración de la calidad de las lagunas y ríos en todo el mundo se han contaminado con metales pesados. Por otra parte, según Fernández et al., (2013) que, para América Latina, se estimó que al menos 4,5 millones de seres humanos se expusieron de manera crónica a niveles considerables de metales pesados

De forma similar el de acuerdo con el reporte del INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) (2021) en la actualidad considera que más del 70 % de las aguas contaminadas no se les da un tratamiento adecuado, es por ello que la contaminación de aguas superficiales es un problema muy latente y preocupante. El creciente problema de la contaminación global del agua causada por diversos contaminantes, que incluye compuestos que logran adherirse en el agua es un peligro latente (Wei-Chen et al., 2022).

Sin embargo, se sabe que una concentración excesiva de estos mismos metales pesados puede conducir a graves problemas de salud humana como procesos degenerativos musculares, físicos y neurológicos (Azeh Engwa et al., 2019). Por otro lado, Cabrera et al., (2020) comenta que los períodos prolongados de exposición a metales pesados tóxicos se han asociado con distrofia muscular, enfermedad de Alzheimer, diferentes tipos de cáncer y esclerosis múltiple. Del mismo modo, Gerardo et al., (2020) dice que también se han observado daños o disminución de las actividades mentales y del sistema nervioso central, daños en los pulmones, el hígado, los riñones, la composición de la sangre y otros órganos clave.

El presente estudio busca estimar la capacidad de los macrófitos acuáticos para acumular metales pesados y lo que implica su uso para la

fitorremediación de metales en fuentes de agua contaminada. El uso de macrófitos viene empleando desde ya varios años atrás, debido a que cuenta con una excelente capacidad de depuración de aguas naturales que se contaminaron con metales y además su fácil aclimatación (Couto et al., 2022). Además, teniendo en cuenta la contaminación de aguas superficiales, en la presente investigación se realizó una revisión sistemática, que es referirse al análisis de diferentes resultados obtenidos en diferentes trabajos de investigación, y así poder evaluar cada resultado obtenido (Fau et al., 2020).

En base a la realidad descrita, se planteó como **problema general**: ¿Los macrófitos acuáticos son eficientes para la remoción de metales pesados de aguas superficiales contaminados en base a una revisión sistemática de publicaciones científicas del periodo 2012-2022? y sus respectivos **problemas específicos**: ¿Cuáles son los macrófitos más empleados como removedores de metales pesados en aguas superficiales contaminados, según la base de datos obtenidos?, ¿Cuáles son las técnicas más empleadas para la remoción de metales pesados de aguas superficiales contaminadas con metales pesados? Y ¿Cuál es el porcentaje de remoción de los metales pesados aplicando macrófitos acuáticos en el tratamiento de aguas superficiales?

El estudio es justificado ambientalmente, debido a que intenta determinar los macrófitos más eficientes para remover contaminantes como los metales pesados, el mismo que hasta el día de hoy se conoce como un proceso amigable con el medio ambiente. Por otra parte, en el aspecto económico, está justificada porque se realizó *In situ* sin generar costo alguno por temas de procedimiento. Así mismo el propósito es aportar con la extensa base de datos disponible en literatura concerniente al tratamiento de aguas superficiales contaminadas por metales pesados mediante el uso de macrófitos

Se justifica de manera práctica porque, a partir de los resultados de las especies más eficientes y las técnicas empleadas, permitirá hacer juicios las cuales contribuirán a la elección de la especie y técnica idónea para la remoción de metales pesados empleando macrófitos. Asimismo, se justifica de manera teórica, debido a que, aportará nuevos conocimientos sobre la eficiencia de las macrófitos en la remoción de aguas superficiales contaminadas. De esta forma,

se integra información de diferentes investigadores y se pone a disposición de los futuros autores la información necesaria para que en las futuras ocasiones puedan tomar acciones efectivas frente a los problemas ambientales referente a la problemática de aguas superficiales contaminadas con metales pesados.

La presente revisión sistemática, formuló como **objetivo general**: Evaluar la efectividad del uso de macrófitos acuáticos para la remoción de metales pesados de aguas superficiales contaminados en base a una revisión sistemática de publicaciones científicas del periodo 2012-2022. Y los siguientes **objetivos específicos**: Identificar los macrófitos más empleados en las investigaciones como removedores de metales pesados en aguas superficiales contaminados, según la base de datos obtenidos; identificar las técnicas más empleadas para la remoción de metales pesados de aguas superficiales contaminadas; y finalmente, determinar el porcentaje de remoción de los metales pesados aplicando macrófitos acuáticos en el tratamiento de aguas superficiales.

El estudio tiene como **hipótesis** que los macrófitos son efectivos para la remoción de metales pesados en base a una revisión sistemática de publicaciones científicas del periodo 2012-2022 y ver si las tecnologías con macrófitos son sustentables para remover metales pesados de ambientes acuáticos.

II. MARCO TEÓRICO

La tesis se ha realizado mediante una investigación sistemática mediante específicas plataformas de búsqueda, considerando trabajos de ámbito internacional, nacional y local relacionados a plantas macrófitos y aguas superficiales contaminados con metales pesados, como parte de una revisión sistemática, descritos en los siguientes párrafos.

De acuerdo con Palomino et al., (2022) en su investigación sistemática, determinó que el macrófito *E. Crassipes*, tuvo un porcentaje de remoción de 93% en agua contaminadas; asimismo, la especie *P. stratiotes* alcanzó un porcentaje de remoción de aproximadamente 86%, esto en 21 días de experimento. Concluyó en que, se logró determinar la eficiencia de remoción de los macrófitos en agua contaminadas.

Por otra parte, Alvarado y Ley (2020) en su estudio de revisión sistemática se propuso determinar los métodos biológicos para eliminar contaminantes en el agua. Para lograr ello, los autores emplearon la metodología no experimental, la muestra estuvo conformada por 18 artículos, los cuales fueron rigurosamente seleccionados empleando métodos y técnicas como PICO y PRISMA otros. Los resultados fueron que la fitorremediación fue una técnica más empleada en las investigaciones consultadas representando un 38%, porcentaje alto en comparación a las demás técnicas empleadas. Concluyó en que, las plantas acuáticas son eficientes en la remoción de contaminantes.

Por su parte, Juárez y Carnejo (2021) en su revisión sistemática se propuso determinar cuáles fueron las tecnologías más frecuentes para tratar metales pesados. Para lograr este propósito, los investigadores emplearon la metodología científica; además, para una búsqueda de información relevantes emplearon la metodología PRISMA y el método Newcastle Ottawa para una búsqueda de rigor, donde a partir de ello, se seleccionaron 40 artículos relevantes. Los resultados fueron que, los macrófitos tuvieron altos porcentajes de remoción de metales pesados, donde el cadmio se removió en un 94% y el plomo en 97.4%. Concluyendo en que, los macrófitos estudiados tienen alta eficiencia mitigación de metales.

A su vez, Guevara (2021) en su estudio de revisión sistemática tuvo como finalidad identificar la eficiencia de la fitorremediación de cadmio en agua contaminadas mediante *E. crassipes* y *A. filiculoides*. Para alcanzar este propósito el investigador empleó la metodología cuantitativa, diseño no experimental, técnica análisis documental; asimismo, empleó la metodología de PRISMA, la muestra estuvo conformada por 23 artículos seleccionados de manera rigurosa. Los resultados evidenciaron que, la *E. crassipes* tuvo un porcentaje de remoción de 96% en promedio y la *A. filiculoides* un 84% en promedio, del cadmio. El investigador llegó a la conclusión de que, estos macrófitos estudiados fueron eficaces en la mitigación de los metales estudiados.

En la investigación de Huaraca y Lujan (2020) los investigadores se propusieron realizar un análisis de la efectividad de la fitorremediación para la reducción de metales pesados en una solución acuosa. Para ello, usaron la metodología descriptiva, no experimental, la muestra estuvo compuesta por 25 investigaciones, para esta selección se empleó técnica y métodos como PICO y PRISMA. Los resultados fueron que, la técnica de fitorremediación es una técnica eficiente; asimismo, se logró identificar macrófitos con mayor eficiencia como el *L. minor*, *E. crassipes*, *P. stratiotes*, *L. gibba* y *T. Latifolia* entre otros. Además, se identificó que el cromo se logró remover en un 99,5% a los 15 días de estudio, el cadmio, plomo y cobre se removió en un 80% y otros metales pesados en un 75%, resultados que indican la efectividad de los macrófitos empleados. Concluyó en que el análisis permitió identificar los macrófitos eficientes, el porcentaje de metales pesados removidos gracias a la fitorremediación.

Incio y Quinteros (2020) en su revisión sistemática evaluaron a través de la revisión técnica la eficiencia de macrófitos en humedales creados de manera artificial para tratar las aguas negras de origen doméstico. En esta investigación los autores emplearon un enfoque cuantitativo, no experimental, la muestra estuvo conformada con 17 investigaciones, estudios que fueron seleccionados de manera rigurosa mediante la aplicación de metodologías y técnicas como el PICO, PRISMA y Newcastle Ottawa. Los resultados fueron que, los macrófitos

como *C. articulatus* y *Phragmites australis*, fueron eficientes al remover los metales investigados.

Según Singh et al., (2022) En su estudio trabajo en la eficacia de la (*E. crassipes*) para la reducción de metales pesados de efluentes de la industria. Además, busco analizar los datos de reducción de metales para comprender el comportamiento de la planta macrófita durante la fitoextracción de metales pesados. Los hallazgos mostraron que esta especie estudiada tuvo la capacidad de disminuir metales pesados.

Jara et al., (2017) en su estudio, analizó a los macrófitos y la calidad del agua. A partir de los hallazgos pudo concluir que el humedal está contaminado con elementos orgánicos ocasionando eutrofización; asimismo, los investigadores identificaron que las especies macrófitos era tolerantes a esta contaminación. También, Alahuhta (2021) menciona que la causa de contaminación de aguas superficiales por metales pesados no solo radica en las actividades antropogénicas, sino que también se da mediante diferentes ecosistemas de flora y fauna, medios como suelo y acuáticos; es decir, estos están afectados a la electrocución de metales ya sean provocados de forma natural o intencionalmente (Pabón, S. E. et al., 2020).

Farias et al., (2018) comenta que el estuario de Derwent, en Tasmania (Australia), está altamente contaminado con Pb, Cd, Cu, Zn y Se, en doce especies de macrófitas, incluidas algas rojas, verdes y pardas, y pastos marinos, del Derwent. En todos los macrófitos evaluados, pero los niveles difirieron entre especies. Los datos encontrados demostraron que las diversas especies requieren de un análisis integral en el estuario y cuales podrían ser las que se usen como fitorremediadores (Parnian et al., 2016b).

Por otra parte, Echevarría (2018) en su investigación buscó determinar la eficacia de eliminación de contaminantes como el arsénico en un medio artificial. El tiempo de experimentación de fue 57 semanas. Los resultados fueron satisfactorios; en esta misma línea, Ashraf et al., (2020) comentó que hay ciertos macrófitos que cuentan con la capacidad de desarrollar en medios y condiciones

de estrés. Estos macrófitos son ampliamente usados como fitorremediadores o biorremediadores (Kumar et al., 2021).

De acuerdo con Quispe et al., (2017) las especies como *Potamogeton*, *Eichhornia*, *Azolla*, *Wolfia*, *Lemna*, *Wolfiallan* y *Spirodela*, han presentado resultados adecuados al remover los contaminantes y estos son considerados como fitorremediadores y bioacumuladores en sus tejidos vegetales. Entre las diversas especies acuáticas mencionadas, se puede afirmar que la *E. crassipes* es tolerante y resistente de metales tóxicos, ácidos oxálicos, formaldehidos, ácidos fórmicos y fenoles, incluso si las aguas contaminadas cuentan con altas concentraciones de estos contaminantes (Marrugo et al., 2017).

Por otra parte, Chen et al., (2020) y Wang et al., (2022) dicen que una comunidad de macrófitos acuáticos son fundamentales en la disminución de contaminantes provenientes de las aguas pluviales o de escorrentía. Generalmente los tratamientos de aguas grises, que utilizan especies de macrófitos podrían considerarse un método exitoso de solución de tratamiento económico y que por supuesto mejora significativamente las características del agua (Tunçsiper, 2019).

Según Saralegui (2021) otro aspecto fundamental es la facilidad de propagación de los macrófitos en muchos ecosistemas lo cual implica efectos ambientales positivos. Las especies de macrófitas. constantemente se les realiza estudios de su desempeño como biosorbentes, para la remoción y la posibilidad de recuperación de metales y reutilización de biomasa macrófitas. Dada su abundancia natural, condiciones elementales de crecimiento y tasas de propagación, las macrófitas representan una alternativa de bajo costo a los adsorbentes comerciales más eficientes (Oladoye, Olowe y Asemoloye, 2022).

Durante los últimos años, los seres humano se han visto preocupados por los metales tóxicos cuya presencia es predominante en las aguas, esto se debe a la alta permanencia y alta toxicidad en estos medios. Según Saralegui (2021). Cualquier alteración en el estado ambiental de la calidad del agua afectará inadvertidamente no solo al cuerpo de agua per se, sino también a la población humana de las áreas adyacentes (Rizk et al., 2022).

La pesquisa de adsorbentes de bajo costo de empleabilidad para mitigar los elementos tóxicos y que tengan capacidades eficientes absorción de metales se ha agravado en las últimas décadas. Algunas macrófitas acuáticas naturales se les ha comprobado como adsorbentes para apiolar metales pesados con resultados favorables (Caldas et al., 2019).

Por lo tanto, la necesidad de implementar técnicas de monitoreo de manera regular es apropiadas para verificar el estado del agua (Rizk et al., 2020). La evaluación del impacto de la regulación de esclusas en la calidad del agua es una de las tareas cruciales en la gestión fluvial actual. Sin embargo, persisten las dificultades de investigación debido a la insuficiencia de datos in situ y numerosos factores que influyen en los entornos acuáticos (Zuo et al., 2015).

Por otra parte, es importante mencionar que un gran porcentaje de contaminación antropogénica proviene de la industria minera a lo que Yakovlev et al., (2021) menciona que la alteración de las características del agua ocasionados por los metales pesados es motivo de preocupación a nivel mundial. Una de las principales fuentes antropogénicas de metales traza que ingresan a las aguas naturales es la extracción y el procesamiento de minerales. Asimismo, Kumar et al., (2019) comenta que la transferencia de elementos tóxicos al medio ambiente acuático se produce a través de diversas fuentes ya sean naturales o procedentes de actividades que realizan los seres humanos.

La contaminación de los cuerpos de agua por metales con el paso del tiempo se va incrementando, esto debido a que la producción industrial emplea metales para extraer un determinado material, el cual será usado como materia prima dentro de sus procesos. Usar estos metales, conllevan un serio problema al medio ambiente, siempre y cuando estos no reciben un tratamiento o no tienen la disposición adecuada. Muchas veces los metales llegan a parar a cuerpos naturales como el agua, suelo e incluso son dispersos en el aire, ocasionando problemas a todos los seres vivos (Pabón et al., 2020).

La contaminación sin precedentes en los ecosistemas acuáticos necesita una tecnología de remediación respetuosa y amigable con el entorno natural. La

fitorremediación es considerada como un método rentable y amigable con el medio ambiente, debido a que se emplean plantas con el propósito de convertir y estabilizar los contaminantes presentes en un cuerpo natural como el agua o el suelo (Kumar et al., 2022). La tecnología convencional para eliminar la contaminación de aguas grises suele ser costosa, tediosa, naturalmente ruinoso y, en general, un desperdicio. Las plantas acuáticas son poderosamente efectivas en la evacuación de toxinas biológicas e inorgánicas (Muthukumaran, 2022). El empleo de modernos tratamientos de aguas superficiales, aguas residuales y residuos líquidos radiactivos que contienen contaminantes orgánicos e inorgánicos sigue siendo un tema de interés.

Las investigaciones de fitorremediación mediante macrófitos se deben a las preocupaciones planteadas en las últimas décadas sobre los peligros de estos desechos para la salud humana. Recientemente, se ha utilizado una variedad de materiales en este contexto, como membranas de estructuras orgánicas de metal (Yu et al., 2021). Por ejemplo, Araujo et al., (2022). utilizó macrófitos para la eliminación de uranio y es que los macrófitos cuentan con un número de cualidades que pueden ser aprovechables y que pueden ayudar a mitigar el actual impacto ambiental que se vive, Asimismo los resultados de diferentes estudios indican que las plantas verdes (macrófitos) podrían usarse en un sistema de fitorremediación para tratar aguas residuales en comunidades rurales y pequeñas (Alquwaizany, Hussain y Al-Zarah, 2022).

Las pesquisas de adsorbentes económicos usados en la remoción de elementos tóxicas, contaminantes y que tengan capacidades eficientes absorción de metales se ha intensificado en las últimas décadas. Según, Saralegui et al., (2021) algunos macrófitos acuáticos naturales, se les ha comprobado su capacidad como adsorbentes para metales pesados con resultados favorables investigar los resultados más importantes del método de fitorremediación, para mitigar la contaminación presente en el agua. Además, según Hilt et al., (2022) los macrófitos son elementos estructurantes clave en los lagos que pueden contribuir a la estabilización de las condiciones del agua clara, indicar el estado ecológico del lago y proporcionar varios servicios ecosistémicos.

Por ejemplo, los humedales con macrófitos son ecosistemas que se toman como referencia y es que se puede usar para el tratamiento de efluentes. Su adopción puede darse tanto a nivel descentralizado como una alternativa económica para una variedad de controles de contaminación: efluentes agrícolas, industriales, mineros y de drenaje urbano. Aunque un humedal tiene requisitos de área más grandes que las tecnologías de tratamiento intensivas en energía convencionales, tienen varias ventajas. Por lo tanto, el tratamiento de efluentes a través de humedales es muy prometedor. Asimismo, Delgadillo et al., (2010) dice que las macrófitos están adaptados a acrecentar cuando el suelo se encuentre saturado mediante algún líquido, debido a su porosidad. Según, Rosendo et al., (2022) otro factor importante, es que en climas templados los macrófitos tienen la aptitud y capacidad en cuanto a lo térmico. En invierno, la membrana de tela muerta que cubre la envoltura de la macrófita puede protegerla del pausado frío de estación, por lo que, las disminuciones de temperatura no llegan a afectar en su desempeño, considerándose así muy factible su empleo en diferentes climas y altitudes (Mazumdar y Das, 2021).

Las plantas macrófitos usadas para tratar aguas grises convencionales pueden desempeñar fundamental al momento de realizar un manejo de estas aguas de origen domésticos e industriales típicas de ciudades, fábricas y granjas(Figueiredo et al., 2019). No obstante, estas PTAR no pueden eliminar las grandes cargas de nutrientes Hasan et al., (2021) y Nabi (2021) afirman que, la contaminación de los sistemas acuáticos por metales pesados afecta fuertemente las relaciones de la cadena trófica mediante el proceso de biomagnificación.

Geng et al., (2022) afirman que las macrófitas sumergidas y sus biopelículas epífitas son medios importantes para el transporte y transformación de metales en el medio ambiente acuático. La bioacumulación por la biopelícula epífita puede ser una forma efectiva de remediación de metales. Yildiz y Ozkoc (2022) mencionan que el uso de las macrófitas acuáticas resultan eficientes entre los procesos de fitorremediación y las técnicas de tratamiento de agua contaminadas; asimismo, afirman que tienen el potencial de acumular altas concentraciones de metales pesados (Swe et al., 2021). Por ejemplo,

según Ito y Barfod (2014) las macrófitas sumergidas desempeñan fundamentalmente como estructuradores de los medios acuáticos.

El medio ambiente, que incluye los ecosistemas de agua, suelo y aire, las cuales se han visto afectado negativamente por las actividades realizadas por las personas, a nivel mundial, y sus actividades están cambiando la tierra debido a la contaminación (Mani y Kumar, 2018). Hay numerosos informes acerca de las consecuencias a la salud provocadas por las diversas contaminaciones que existen. Algunos efectos incluyen el uso de productos químicos nocivos en la naturaleza amenaza la reproducibilidad integral en los machos (Gaballah et al., 2021).

Los macrófitos son importantes en todos los medios acuáticos debido a que son mediadores de transporte entre atmósfera y sedimentos, provocan un efecto sobre la composición del agua, eliminan nutrientes ; es decir actúan como agentes de depuración; actúan sobre la contaminación difusa en los humedales y riberas; son indispensables en la producción de oxígenos y eliminación de sustancias tóxicas. Asimismo, los macrófitos sirven como estabilizadores de los sedimentos, tienen influencia sobre el microclima, la calidad y cantidad de luz consumida (Ruza, 2012).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Fue de tipo aplicado, basándose en la revisión sistemática de las variables como es los macrófitos y los metales pesados en agua contaminadas. En ese sentido, Hernández y Mendoza (2019) mencionan que este tipo de investigación está enfocada en la búsqueda y la consolidación de conocimiento con el propósito de aplicarlo y que su objetivo principal es la resolución de un problema determinado.

El enfoque fue cuantitativo, porque se realizó un proceso con un orden estructurado para poder conseguir una estimación de los porcentajes de remoción o la capacidad que tienen algunos macrófitos para la remoción de metales pesados en diferentes investigaciones apoyándose de la estadística descriptiva. Concordando con Guevara et al., (2020) cuando manifiesta que el enfoque cuantitativo tiene que seguir determinado proceso secuencial y además debe ser probatorio por medio de análisis y resultados estadísticos.

Fue no experimental, porque durante todo el proceso investigativo no se manipularon ninguna de las variables, solo se observaron en su estado natural para luego realizar un análisis (Kerlinger y Howard, 2002)(Dzul Escamilla, 2013). Asimismo, Mousalli (2015) menciona que la investigación no experimental es cuando no hay manipulación de ninguna de las variables estudiadas ni mucho menos intervención en ellas, debido a que, estos ya sucedieron en determinado momento y lugar, por lo que el investigador está limitado solo a observar y registrar los resultados.

Así mismo, se puede decir que la investigación no experimental descriptiva depende de eventos, sucesos, la comunidad, conceptos, sin que el investigador pueda interferir en ello. Por eso también la llamada investigación del "ex post facto" realidad (eventos y variantes que han ocurrido), observar las variables y las relaciones entre ellas bajo un contexto de investigación (Espinoza, 2010).

Fue transversal, porque la recopilación de datos se desarrolló en un determinado momento, donde también influyen otros factores determinantes en los resultados; toda esta información se recolectó partir de la cadena de búsqueda se realizó en un solo momento. Concordando así con Cvetković et al., (2021) al mencionar que un estudio transversal es aquel que se realiza en un solo momento.

Fue descriptivo porque se basó en teorías relacionadas con diferentes plantas acuáticas que son conocidos como Macrófitos, plantas que cuentan con capacidades de fitorremediación eficientes en aguas contaminadas. Así mismo, Guevara et al., (2020) menciona que el estudio descriptivo permite conocer los resultados para evaluarlos mediante la estadística, por lo que, la finalidad es indagar para luego conocer los sucesos de la variable y contrastar los diferentes conjuntos de datos que se encuentren. Los estudios descriptivos analizan las diferentes características de poblaciones o fenómenos aun sin conocer las relaciones entre ellos (Rus, 2021).

3.2. Variables y operacionalización de variables

Para Hernández, Fernández y Baptista (2014) la variable es algo único muy distintivo en la unidad que va a ser observada, y que además puede asumir magnitudes o indicadores que permitirá su medición de manera cuantitativa. En este estudio se tuvo en consideración dos variables que se detallan en las siguientes líneas donde se definen de manera conceptual y operacional.

Variable dependiente (V1): Aguas superficiales contaminadas.

- **Definición conceptual:** Es la alteración de las características de un cuerpo de agua, cuyos resultados suelen ser desfavorables para la vida humana, vegetación, fauna y flora. Hay muchas causas de contaminación del agua que conducen a la presencia de sustancias tóxicas pesadas como el arsénico, el cobre y el plomo incluso en el agua potable (Mamani, Suárez y García, 2003).
- **Definición operacional:** Se recopiló los datos mediante una ficha de observación en el cual se tuvo en consideración a los 54 artículos

seleccionados, donde las dimensiones fueron: Metales pesados, parámetros químicos (pH).

- **Indicadores:** Los indicadores que sirvieron para realizar el análisis fueron: concentración inicial, concentración final de los metales pesados identificados en los diversos artículos analizados.
- **Escala de medición:** La escala para medir fue la de razón, debido a que se estudiaron las concentraciones de los metales (mg/L) en los diferentes tratamientos empleados en los 54 artículos analizados.

Variable independiente (V2): Plantas macrófitos

- **Definición conceptual:** El término macrófito describe toda la vegetación acuática macroscópica. Este término se refiere a las plantas vasculares con flores, así como algunas algas, hepáticas acuáticas, musgos y helechos (García, Fernández y Cirujano, 2010).
- **Definición operacional:** Para determinar la eficiencia de estos macrófitos es indispensable tener en cuenta el tipo de macrófitos, bioacumulación la temperatura ambiental.
- **Indicadores:** Los indicadores relevantes analizados en esta investigación fueron: el factor de bioacumulación, el factor de traslocación, y el tiempo de experimentación.
- **La escala de medición:** La escala de medición fue razón, ya que se observó los factores de traslocación y factores de bioacumulación (mg/Kg).

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

La población, según Ríos (2017) son aquellos elementos que están ligados y que sus elementos que los componen presentan las mismas características y la probabilidad de que cualquiera de ellos pueda ser escogido. En la tesis se consideró la población a aquella información en base a documentos de fitorremediación mediante macrófitos acuáticos en donde se

ha demostrado y documentado mediante resultados cierto grado de eficiencia en cuanto a remoción de metales pesados por parte de estas plantas, el periodo de consideración fue desde el año 2012 hasta el año 2022. Toda esta información fue recopilada de la base de datos de revistas reconocidas obteniendo finalmente 415 artículos originales.

Tabla 1. Búsqueda avanzada de los artículos

Cadena de la búsqueda avanzada	Número de artículos	Base de datos
TITLE-ABS-KEY (phytoremediation OR bioaccumulation OR bioabsorption AND macrophytes AND water AND "Heavy Metals") AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2023) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2014) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2013) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2012)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "j"))	244	Scopus
TS=(macrophytes AND "heavy metals" AND phytoremediation AND water*) and 2012 or 2013 or 2014 or 2015 or 2016 or 2018 or 2017 or 2019 or 2020 or 2021 or 2022 (Publication Years) and English (Languages)	251	Web of Science

Dentro de la **Tabla 1** se muestra las palabras determinantes que se usaron para nuestra cadena de búsqueda (macrophytes and phytoremediation for heavy metal removal) las mismas que fueron ingresadas conjuntamente con operadores booleanos en el buscador de la base de datos siendo estas mismas delimitadas y refinadas por el año y tipo de documento. Asimismo, se tuvo en consideración los siguientes criterios:

- **Criterios de inclusión:** Artículos o investigaciones que estén en un rango de publicación que va desde el 2012 hasta el 2022, artículos o

investigaciones en inglés, artículos con libre acceso, artículos o investigaciones que hablen sobre los métodos de fitorremediación mediante macrófitos acuáticos.

- **Criterios de exclusión:** Artículos o investigaciones que estén publicadas antes del 2012, artículos o base de datos poco confiables con respecto al tema tratado, artículos que no tengan acceso libre o descarga, métodos y técnicas difusos o con ambivalencia y que no cuenten con la idea general de la investigación, investigaciones realizados con macrófitos que no hayan sido empleados en fitorremediación.

3.3.2. Muestra

La muestra según Otzen (2017) es una proporción de la población que todos los elementos cuenta con las mismas características. Por ello, en esta revisión sistemática, se escogieron aquellos documentos de investigación que concluyeron con los criterios instaurados y que en total fueron 54 documentos los cuales permitieron analizar la información. Uno de los puntos que objetan y que se debe definir en la muestra, son los criterios que se utilizarán para determinar la muestra, los cuales son importantes tener en consideración (López, 2004).

3.3.3. Muestreo

Ríos (2017) dice que, en el muestreo no probabilístico, los elementos deben tener las mismas características y criterios que él investigador considere en ese momento. En base a eso se procedió a realizar un muestreo por conveniencia en la cual los diferentes artículos facilitaron la realización y cumplimiento con los objetivos propuestos.

La unidad de análisis que se tomó en consideración en esta investigación fueron cada uno de los artículos relacionados al uso de macrófitos como fitorremediadores de aguas contaminadas por metales pesados mediante el uso de macrófitos.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la revisión sistemática se empleó la técnica de análisis documental, concordando con Ferreira (2011) al mencionar que el análisis documental es una técnica que permite tener una información detallada y sintetizada, la cual a su vez permite contestar la problemática general. Además, permitió desestimar o admitir la hipótesis planteada mediante la revisión sistemática.

Los instrumentos que se usaron fueron las fichas de registro que permitieron plasmar una base de información, las mismas que ayudaron a organizar y categorizar las distintas informaciones encontradas en los 54 artículos para un posterior análisis. Los instrumentos empleados fueron validados por profesionales expertos, los cuales gracias a su experiencia como ingenieros ambientales y contando con el conocimiento basto acerca del tema, dieron su aprobación para que el instrumento sea aplicable a la investigación.

La confiabilidad del instrumento permitió que los datos registrados puedan ser procesados de manera estadística, el cual fue diseñado con el propósito de recopilar toda la información relevante para realizar el análisis.

3.5. Procedimientos

En la **Figura 1** se muestran las 5 fases empleados para la realización de la revisión sistemática.



Figura 1. Fases de la ejecución de la investigación

En la **Figura 1** se puede observar que las 5 fases que comprende la revisión sistemática. Estas 5 fases engloba en sí toda la investigación; por lo que, a continuación, se describirán todas las fases realizadas en esta investigación (Cossio y León, 2021):

Primera Fase 1: Planeación:

- **Formulación del problema:** Para llevar a cabo una revisión sistemática es indispensable seguir rigurosamente ciertos pasos, el cual empieza planteándose la pregunta para la investigación, para ello se emplea la técnica de PICO (Población, intervención, comparación y la respuesta)(Moreno et al., 2018). Para esta investigación, la población fue los macrófitos, la intervención fue la técnica empleada para la remoción (fitorremediación, Biorremediación o Bioacumulación), la comparación fue (control y experimental) y finalmente el resultado fue la eficiencia de la remoción.
- **Justificación de la investigación:** la investigación se justifica porque busca identificar técnicas eficientes en la remoción de metales pesados mediante el empleo macrófitos el cual contribuyó de manera social, teórica y ambiental.

- **Objetivos:** Básicamente los objetivos planteados fueron teniendo en cuenta la eficiencia que tiene determinado macrófito al ser empleado como fitorremediador. Por ello, es indispensable también identificar cuáles fueron los macrófitos empleados, la técnica empleada y el porcentaje de remoción.
- **Plan de búsqueda:** Se seleccionó base de datos importantes para la selección de investigaciones, para ello, se empleó palabras clave y operadores booleanos, así como también los criterios de exclusión e inclusión que serían empleados para la búsqueda de artículos. Los cuales se muestran en la **Figura 2**.

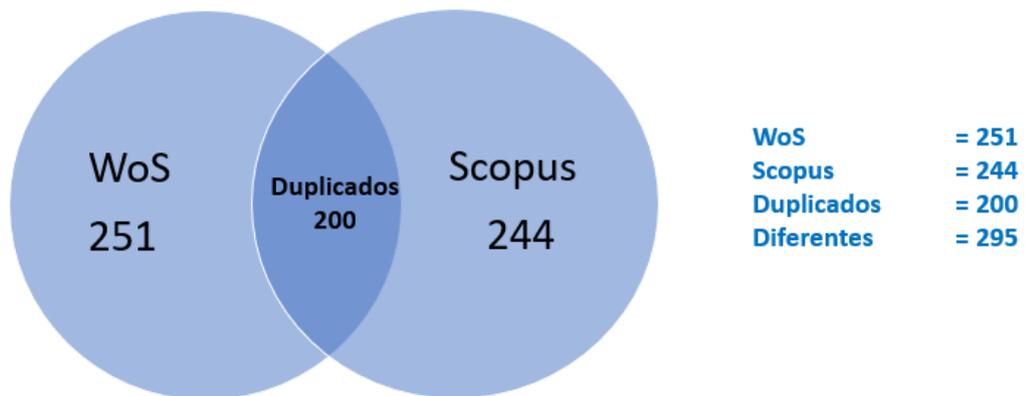


Figura 2. Cantidad de artículos encontrados

En la **Figura 2** se aprecia que, se encontraron 251 artículo en la base de datos de Web Of Science y 244 en la base de datos de Scopus, de los cuales 200 artículos se encontraron en ambas bases y solo 295 los cuales fueron exportados al software Excel, cuyo entorno de trabajo fue acondicionada; también, los artículos que fueron diferentes se evaluaron mediante criterios de inclusión y exclusión; además, se consideró la calidad de todos los estudios a través del checklist Newcastle-Ottawa modificada.

Por otra parte; en la **Tabla 2** se muestra revistas donde se encuentran las 295 investigaciones, esto se debe a que, Scopus y WOS son bases de datos que muchas revistas están indexadas a ellas.

Tabla 2. Procedencia de documento

En la **Tabla 2** se puede observar la editoriales o fuentes virtuales de donde proceden los diferentes documentos, las misma que sirvieron de aporte a la investigación, entre ellas destaca por ejemplo Elsevier (ScienceDirect) con un total de 82 artículo originales, Springer nature 47 y otras revistas que hacen un aporte significativo a la investigación.

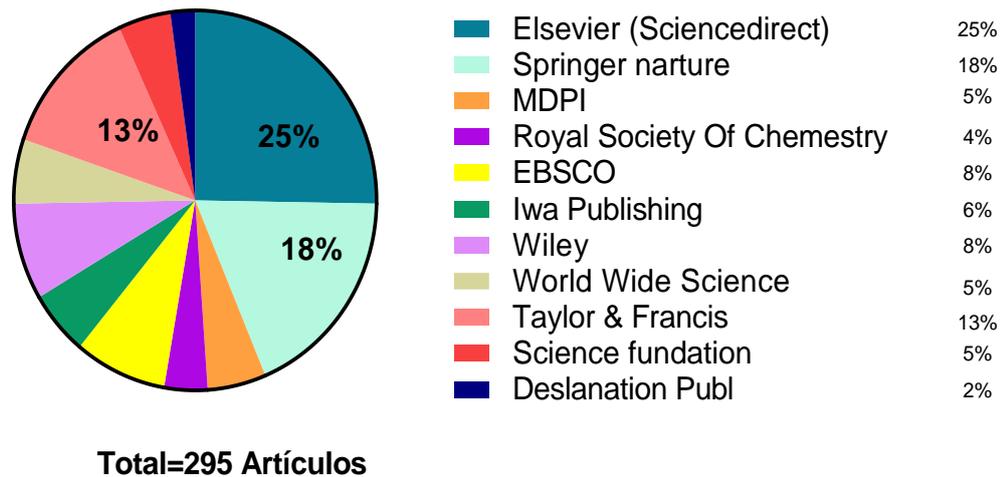


Figura 3. Porcentaje de la procedencia de los artículos

Editorial	Nº de Artículos
Elsevier (ScienceDirect)	82
Springer Nature	47
MDPI	19
Royal Society Of Chemistry	14
EBSCO	10
Iwa Publishing	20
Wiley	20
World Wide Science	20
Taylor & Francis	38
Science Fundation	17
Deslanation Publ	8
TOTAL	295

En la **Figura 3** se puede apreciar que el 25% de los artículos encontrados provienen de la revista Elsevier; asimismo, el 18% proviene de la revista Springer; también, se puede observar que el 13% de la revista Taylor & Francis; por otro lado el 24% proviene de otras revistas como; Deslanation Publ, Wiley, Worl Wide Science, EBSCO, entro otros.

Una vez determinados los artículos, para continuar con la RS, se tuvo en cuenta a la declaración PRISMA, que de acuerdo con Ciapponi (2021) esta declaración fue diseñada para ayudar a los revisores a realizar de manera clara la revisión de datos. En ese sentido el PRISMA 2020 permite recopilar y resumir cierta información científica que está disponible en la base de datos usada, aplicando estrategias necesarias de búsqueda que a su vez ayudaron a disminuir el sesgo y heterogeneidad de artículos. A continuación, se muestra el diagrama de flujo del Prisma 2020.

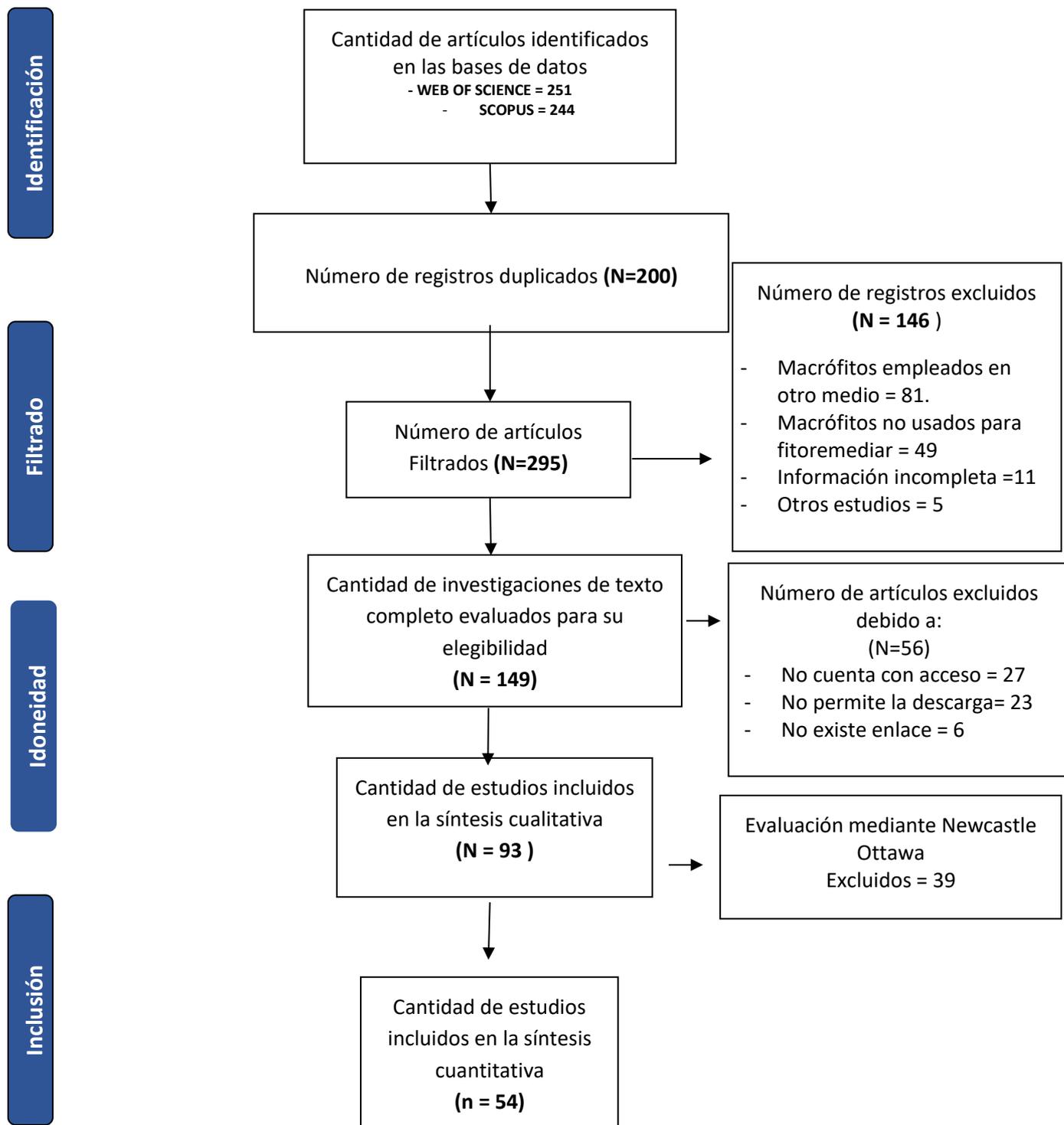


Figura 4. *Proceso de selección de la investigación*

En la **Figura 4** se muestra que, de los 495 artículos encontrados en las dos bases de datos 200 de estos se duplicaron, los cuales 295 artículos prosiguieron para continuar con los criterios de exclusión donde 56 artículos fueron excluidos porque 27 de ellos no contaban con acceso libre, 23 no permitía la descarga y 6 no existía el enlace. Seguidamente se consideraron 93 artículo para continuar con

la síntesis cualitativa, esto se realizó gracias a la evaluación de Newcastle Ottawa, de las cuales solo se consideraron 54 artículos para realizar el análisis y síntesis de manera cuantitativa.

En la **Tabla 3** se muestran los 54 artículo que tuvieron mayor puntaje, los cuales sirvieron para la revisión sistemática. Cabe mencionar que, en esta tabla de Newcastle Ottawa adaptado, se tuvo en consideración criterios como la representatividad, parámetros operacionales, control, estudios cinéticos, cantidad absorbida y el porcentaje de remoción. Asimismo, para evaluar la calidad de la investigación se hizo una ponderación donde la calidad baja está representada por los valores de 1 y 2, media con 3 y 4; y alta con 5 y 6. Es partir de ello, que se seleccionaron los artículos.

Tabla 3. Análisis de la calidad de las investigaciones

CHECKLIST DE NEWCASTLE - OTTAWA ADAPTADA									
N°	Autor/ autores	Selección		Comparatividad		Resultados		Total	Calidad
		Representatividad	Control	Parámetros operacionales	Estudios cinéticos	Cantidad absorbida	Porcentaje de remoción		
1	Abdallah et al.,(2012)	1	1	1	1	1	0	5	
2	Abdelaal et al., (2021)	1	1	0	1	1	1	5	
3	Abdul et al., (2014)	1	1	1	1	0	1	5	
4	Abu et al., (2013)	1	1	1	0	1	1	5	
5	Adewoye et al., (2021)	1	1	1	1	1	1	6	
6	Ahila et al., (2021)	1	1	1	1	1	1	6	
7	Al-Khafaji et al., (2018)	1	1	1	1	1	0	5	
8	Al-Zurfi y Al-Tabatabai (2020)	1	1	1	1	0	1	5	
9	Alí et al., (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
10	Amalia et al., (2019)	1	1	1	0	1	1	5	
11	Basile et al., (2012)	1	1	0	1	1	1	5	
12	Bharti y Kumar (2012)	1	1	1	1	1	1	6	
13	Bind et al., (2019)	1	1	1	0	1	1	5	
14	Bo et al., (2018)	1	1	1	1	0	1	5	
15	Bokhari et al., (2019)	1	1	1	1	1	0	5	
16	Borralho et al., (2020)	1	1	1	1	0	1	5	
17	Chandanshive et al., (2017)	1	1	1	1	0	1	5	
18	Chaudhary y Sharma (2019)	1	1	1	1	1	0	5	
19	Chaudhuri et al., (2014a)	1	1	1	1	0	1	5	
20	Eckert et al., (2020)	1	1	1	0	1	1	5	

21	Emiliani et al., (2020)	1	1	1	1	0	1	5	
22	Ergönül et al., (2021)	1	0	1	1	1	1	5	
23	Gaballah et al., (2019)	1	1	1	1	0	1	5	
24	Goswami et al., (2014)	1	1	1	1	1	1	6	
25	Goswami et al., (2019)	1	1	1	1	0	1	5	
26	Guzman et al., (2022)	1	1	1	1	0	1	5	
27	Hafez et al., (2021)	1	1	1	0	1	1	5	
28	Hanafiah et al., (2021)	1	1	1	1	0	1	5	
29	Hasani et al., (2021)	1	1	1	1	1	1	6	
30	Hasani et al., (2021)	1	1	1	1	0	1	5	
31	Huynh et al., (2021)	1	1	1	1	0	1	5	
32	Iha y Bianchini (2015)	1	1	1	1	1	0	5	
33	Islam et al., (2013)	1	1	1	1	1	1	6	
34	Khalid y Ganjo (2021b)	1	1	1	0	1	1	5	
35	Khalid y Ganjo (2021a)	1	1	1	1	0	1	5	
36	Lin et al., (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
37	Maine et al., (2013)	1	1	1	1	1	1	6	
38	Marajan et al., (2018)	1	1	1	1	0	1	5	
39	Muro et al., (2020)	1	1	1	1	1	1	6	
40	Parnian et al., (2016a)	1	1	1	0	1	1	5	
41	Prinyanka et al., (2017)	1	1	1	0	1	1	5	
42	Qiang et al., (2016)	1	1	1	1	0	1	5	
43	Rai (2018)	1	1	1	0	1	1	5	
44	Rai (2019)	1	1	1	1	0	1	5	
45	Romero et al., (2017)	1	0	1	1	1	1	5	
46	Saralegui et al., (2021)	1	1	1	0	1	1	5	
47	Schuck y Greger (2020)	1	1	1	1	1	1	6	
48	Saraswat y Rai (2018)	1	1	1	1	1	1	6	
49	Singh et al., (2021)	1	1	1	1	0	1	5	
50	Smolyakov (2012)	1	1	1	1	1	1	6	
51	Sricoth et al., (2018)	1	1	1	1	0	1	5	
52	Mishra et al., (2013)	1	1	1	1	0	1	5	
53	Thani et al., (2020)	1	1	1	1	1	1	6	
54	Xinwei et al., (2018)	1	1	1	0	1	1	5	

REPRESENTATIVIDAD	La muestra tomada de las aguas superficiales, residuales o sintéticas con presencia de metales pesados
CONTROL	Plantas Micrófitos y el agua con metales pesados que se caracterizaron mediante métodos y técnicas (FTIR, HM, FESEM -EDX, AAS, TEM, SEM, BET) pre y post experimentación
PARÁMETROS OPERACIONALES	Evalúa condiciones de operación (Cantidad inicial de metales pesados, cantidad de plántulas, temperatura, pH, tiempo)
ESTUDIOS CINÉTICOS	Evalúa el Proceso mediante el Factor de Bioacumulación (BAF), Factor de Traslocación (FT)

CANTIDAD ABSORBIDA	Cantidad de iones absorbidos o traslocados en los tejidos de la planta		
PORCENTAJE DE REMOCIÓN	Muestra la eficiencia de remoción del micrófito		
VALORACIÓN	0= no cumple con ningún criterio		
	1 = cumple con todos los criterios		
CALIDAD	1 y 2	Calidad baja	
	3 y 4	Calidad media	
	5 y 6	Calidad alta	

Estos 54 artículos originales, sirvieron para realizar una revisión completa, asimismo, estos 54 artículos, representan la muestra del estudio. Cabe mencionar que estos artículos presentan una alta similitud entre sus variables, por lo que permite que se pueda hacer una comparación, análisis y combinación, ayudando así a disminuir el sesgo o riesgo de error.

- Plan para Analizar datos: Se elaboraron fichas de registro con el propósito de obtener toda la información relevante para esta investigación.

Segunda Fase: Indagar

- Identificar investigaciones: Se consultó la data de WoS y Scopus
- Delimitar el tema de interés: Se empleó keywords en la base de datos empleando operadores booleanos.
- Filtrado: Se determinó al realizar la identificación de artículos repetidos en ambas bases de datos, asimismo, se empleó el checklist de Newcastle Ottawa para filtrar aquellos artículos de calidad alta, que posteriormente fueron incluidos para la revisión sistemática.
- Descripción de sesgo: En este aspecto se determinó porque algunos artículos que valían como información no se llegaron a considerar como parte del análisis final.

Tercera: Organizar

- Organizar: Es el ingreso de los datos a una tabla para su codificación e identificación y permita un fácil manejo.

- Lectura: Es la detallada revisión de cada uno de los artículos seleccionados para posteriormente recopilar información con mucha relevancia para la investigación.
- Almacenamiento de datos: Todos los datos recopilados en las fichas de registro se guardaron, ya que estos datos sirvieron para realizar el procesamiento estadístico.

Cuarta Fase: Análisis

- Análisis de datos: El proceso fue mediante estadística descriptiva e inferencial, por medio de los programas empleados en este tipo de investigaciones SPSS v. 26, Excel 2019 y GraphPad.
- Discusión: Los resultados obtenidos fueron comparados con otras investigaciones que encontraron resultados similares o diferentes.
- Recomendación: Son algunos aspectos tomados en cuenta para poder incrementar conocimientos sobre uso de métodos de técnica amigables con el medio ambiente.

Quinta Fase: Comunicación.

- Exposición: Se procedió a sustentar todos los resultados ante el jurado.
- Difusión: Previa aprobación unánime del jurado, se procedió a subir el estudio al repositorio correspondiente de la Universidad y que más adelante sirva como información previa a investigaciones futuras.

3.6. Método de análisis de datos

Dentro de la investigación procedió a realizar una síntesis con prioridad hacia aquellas investigaciones que contengan información de macrófitos usados. Por otra parte, se tuvo que excluir aquellos estudios que no estaban ligados a temas de fitorremediación con macrófitos como por ejemplo ciencias de la salud o ciencias sociales. Era importante que la información encontrada este en el periodo 2012 hacia adelante. Por ello, fue indispensable el empleo de los softwares SPSS, GraphPad y Excel, esto con la finalidad de contar con una base de datos y evaluar los indicadores, variables y dimensiones, empleando la estadística descriptiva.

3.7. Aspectos éticos

Se consideró las pautas de ética desde inicios de la elaboración de la revisión sistemática, de acuerdo a lo que rige la Universidad César Vallejo, tipificado en la R.C.U. N°0126-2017/UCV. Asimismo, la investigación se apega a los estándares establecidos por autores nacionales e internacionales, basados en la norma ISO-690; además, la investigación fue testeado por el programa anti plagio Turnitin, donde se puede comprobar su originalidad, que a su vez también se ha logrado mantener en todo momento los principios básicos ya establecidos. De igual forma, los hechos, registros y datos que se tomaron para su custodia fueron muy confiables. Por ello, con el propósito de no incurrir en faltas de plagio, morales, falsificación y otros, con la finalidad de que se llegue a presentar una investigación inédita.

IV. RESULTADOS

Los artículos de mayor relevancia para esta investigación fueron en total 54, que de acuerdo a los objetivos de la investigación se extrajeron la información para realizar el análisis, en las tablas **Tabla 4** y **Tabla 6** se puede observar la información recopilada.

Tabla 4. Investigaciones de mayor relevancia

N°	Título	Lugar	Macrófito usado	Tipo de análisis estadístico	Tiempo del estudio (días)	Resultados	Técnica	Tipo de agua	Metales
1	"Fitorremediación de metales pesados a partir de soluciones acuosas por dos macrófitos acuáticos, <i>Ceratophyllum demersum</i> y <i>Lemna gibba</i> ".	Egipto	<i>Ceratophyllum demersum</i> <hr/> <i>Lemna gibba</i>	Rho Spearman	12	Los resultados revelaron que, de las dos especies, <i>L. gibba</i> fue la más eficiente para la remoción de metales pesados seleccionados	Fitorremediación	solución acuosa	Cr Pb
2	"Perspectivas de fitorremediación de siete macrófitos acuáticos para la eliminación de metales pesados de drenajes contaminados en el delta del Nilo de Egipto"	Egipto	<i>Cyperus alopecuroides</i> <i>Echinochloa stagnina</i> <i>Eichhornia crassipes</i> <i>Ludwigia stolonifera</i> <i>Phragmites australis</i> <i>Ranunculus sceleratus</i> <i>Typha domingensis</i>	Anova	20	Entre las especies estudiadas, <i>P. australis</i> almacenó mayores concentraciones de Fe, Co, Cd, y Ni en sus tejidos que las otras especies de plantas, mientras que <i>E. crassipes</i> contenía la mayor cantidad de concentraciones de Cu, Zn, Mn y Pb	Fitorremediación	agua residual doméstica	Fe Cu Zn Co Cd Ni Mn
3	"Tratamiento de aguas residuales industriales en el área de Gebeng, Kuantan Pahang utilizando el sistema phytogreen"	Malasia	<i>Eichhornia crassipes</i> <i>Pistia stratiotes</i> <i>Landoltai punctata</i>	Anova	49	La lenteja de agua punteada tiene un potencial del 96,98 % en la eliminación de metal de hierro y un 98,90 % de eliminación de hierro para el jacinto de agua	Bioacumulación	Agua residual industrial	Cd Zn Cr
4	"Eliminación de arsénico, zinc y aluminio de efluentes de aguas residuales de minas de oro y acumulación por plantas acuáticas sumergidas (<i>Cabomba piauhyensis</i> , <i>Egeria densa</i> y <i>Hydrilla verticillata</i>)"	Malasia	<i>Cabomba piauhyensis</i> <i>Egeria densa</i> <i>Hydrilla verticillata</i>	R. Pearson	14	<i>E. densa</i> y <i>H. verticillata</i> son capaces de acumular altas cantidades de arsénico (95,2%) y zinc (93,7%) y resultó en una disminución de arsénico y zinc en el agua ambiente. Por otro lado, <i>C. piauhyensis</i> muestra una notable acumulación de aluminio en la biomasa vegetal (83,8%) en comparación con las otras plantas probadas	Fitorremediación	Agua residual industrial - Mina	As Al Zn
5	Fitorremediación de metales pesados de una fuente puntual en sistemas de drenaje asa utilizando jacinto de agua (<i>Eichornia crassipes</i>)	Nigeria	<i>Eichornia crassipes</i>	Rho Spearman	3	El mayor porcentaje de reducción de 61,86 % (1 mg a las 24 h), 63,09 % (1 mg a las 24 h), 38,99 % (1 mg, 72 h) y 93,37% (10 mg, 48 h) para Manganeseo, Zinc, Cobre y Plomo respectivamente.	Fitorremediación	Agua residual industrial	Mn Zn Cu
6	Potencial de fitorremediación de macrófitos de agua dulce para	India	<i>Pistia stratiotes</i>	Anova	3	<i>P. stratiotes</i> indicó un mayor potencial de remediación, que puede	Fitorremediación	Agua residual	Cr

el tratamiento de aguas residuales que contienen colorantes		<i>Salvinia adnata Desv</i>				usarse como un método ecológicamente benigno para el tratamiento de efluentes y cuerpos de agua contaminados con efluentes de tintura.	industrial - textil		
		<i>Hydrilla verticillata</i>							
7	Eliminación de algunos metales pesados de las aguas residuales industriales por <i>Lemna Minor</i>	Irak	<i>Lemna minor</i>	R. Pearson	10	Los experimentos muestran que la eficiencia promedio de remoción de Cd, Cr, Ni y Pb fue 44.93%, 32.26%, 74.48% y 79.1 respectivamente. La planta de lenteja de agua es un pobre acumulador de Cd. Mientras que es un hiperacumulador de Pb, Cr y Ni.	Bioacumulación	Agua residual industrial	Pb Ni Cr Cd
8	Papel de las plantas acuáticas (<i>Hydrilla Verticillata</i>) en la bioacumulación de metales pesados	Irak	<i>Hydrilla verticillata</i>	Chi Cuadrado	21	Las mayores tasas de remoción de cadmio y plomo fueron (77, 88) % a concentración (4, 10) ppm durante (21, 7) días, respectivamente, también el factor de bioacumulación (FBC) de los dos metales fue (216,39 y 454,67) a concentraciones (4 y 0.5) ppm durante el día 21 del experimento respectivamente	Bioacumulación	solución acuosa	Cd Pb
9	Eficiencia del tratamiento de un sistema híbrido de humedales construidos para aguas residuales municipales y su idoneidad para el riego de cultivos	Pakistán	<i>Eichhornia crassipes</i>	Anova	3	Los parámetros de calidad del agua recuperada de HCWS fueron, es decir, CE (56,68), TDS (56,86), alcalinidad (39,67), cloruro (39,68), sulfato (46,73), Na (28,80), Mn (65,24), Cr (78,07), Ni (81,02), DBO (68,74), dureza total (19,56), Fe (70,09), fosfato (55,40), Pb (80,48), DQO (63,64), Mg (17,24), K (60,05), Co (100), Cu (67,73), Zn (59,97), Cd (100) y Ca (21,47) respectivamente	Fitorremediación	agua residual doméstica	Mn Zn Cu Pb Cr Ni
10	El Uso de la Lechuga de Agua (<i>Pistia stratiotesas</i>) como Fito remediador para la Concentración y Depósitos de Metal Pesado Plomo (Pb) Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) Branquias	Indonesia	<i>Pistia stratiotesas</i>	Anova	15	El porcentaje de la capacidad de absorción de <i>P. stratiotes</i> fue de hasta 99,9% después de 15 días de mantenimiento en medios con 1 ppm de contaminación por plomo.	Fitorremediación	Agua residual industrial	Pb
11	Toxicidad, acumulación y eliminación de metales pesados por tres macrófitas acuáticas	Italia	<i>Lemnaminor</i> <i>Elodea canadensis</i> <i>Leptodictyum riparium</i>	Anova	2	<i>L. riparium</i> fue la especie más resistente y el más efectivo en acumular Cu, Zn y Pb, mientras que <i>L. minor</i> fue el más efectivo en acumular Cd	Bioacumulación	Agua residual industrial	Zn Cd Cu
12		India	<i>Azolla pinnata</i>	Anova	7		Fitorremediación		Cd

	Fitorremediación del efluente de la mina de carbón		<i>Lemna minor</i>			Los metales removidos en <i>A. pinnata</i> efluente fitorremediado fueron del orden: Mn (98%)4Fe (95.4%)4Zn (95%)4Cu (93%)4Pb (86.9%)4Cd (85%)4Cr (77.7%)4Ni (66.2%) y la disminución de metales en el efluente fitorremediado de <i>L. minor</i> fueron: Mn (99.5%)4Cu (98.8%)4Zn (96.7%)4Ni (94.5%)4Fe (93.1%)4Cd (86.7%)4Pb (84%)4Cr (76%).		Agua residual industrial - Mina	Cu Fe Mn Pb Cu
13	Valorización de biosorción de macrófitos flotantes y sumergidos para la eliminación de metales pesados en un sistema multicomponente	India	<i>Azolla filiculoides</i> <i>Hydrilla verticillata</i>	Anova	1	La eliminación máxima se obtuvo para Pb(II) para ambos biosorbentes, es decir, <i>Azolla sp.</i> (81.4%) y <i>Hydrilla sp.</i> (84.3%) dentro de las 4h	Bioadsorción	agua residual industrial	Pb Cr Cu
14	Fitorremediación efectiva de metales pesados de bajo nivel por macrófitos nativos en un área minera de vanadio, China	China	<i>Acorus calamus</i> <i>Scirpus tabernaemontani</i> <i>Typha orientalis</i> <i>Phragmites australis</i> <i>Bermuda grass</i> <i>Marsilea quadrifolia</i> <i>Eleocharis plantagineiformis</i> <i>Nymphaea tetragona</i> <i>Potamogeton crispus</i> <i>Myriophyllum verticillatum</i> <i>Ceratophyllum demersum</i> <i>Hydrilla verticillata</i>	Anova	24	Los metales pesados se distribuyeron preferentemente en las raíces, en lugar de translocarse en hojas y tallos, lo que indica un mecanismo de desintoxicación interna para metales pesados	Fitorremediación	Agua residual industrial - Mina	V As Cd Cr Hg Pb
15	Fitoextracción de Ni, Pb y Cd por lentejas de agua	Pakistán	<i>Lemna gibba</i> Linn <i>Lemna aequinoctialis</i> Welw	Anova	21	Las concentraciones de metales medidas periódicamente en los medios revelaron que el porcentaje de eliminación dependía del Ni inicial (2,15 mg/L), Pb (1.51 mg/L), y Cd (0.74 mg/L) concentraciones	Fitorremediación	agua residual industrial	Ni Pb Cd
16	Estudio sobre la aplicación de lechos flotantes de macrófitos (<i>Vetiveria zizanioides</i> y <i>Phragmites Australis</i>), en escala piloto, para la remoción de metales pesados del arroyo agua forte (Alentejo-Portugal)	Portugal	<i>Vetiveria zizanioides</i> <i>Phragmites Australis</i>	Anova	180	El crecimiento de <i>V. zizanioides</i> y <i>P. australis</i> en biomasa foliar fue de $7,1 \pm 0,3$ cm/mes y $2,5 \pm 0,0$ cm/mes y en biomasa de raíces $3,8 \pm 0,1$ cm/mes y $4,1 \pm 0,1$ cm/mes, respectivamente	Fitorremediación	Agua residual industrial - Mina	zn Cu Mn

17	Co-plantación de macrófitos acuáticos <i>Typha angustifolia</i> y <i>Paspalum scrobiculatum</i> para el tratamiento efectivo de efluentes de la industria textil	India	<i>Paspalum scrobiculatum</i> <i>Typha angustifolia</i>	Anova	4	Metales pesados como arsénico, cadmio, el cromo y el plomo también se eliminaron en un 28-77% después de la fitorremediación. <i>T. angustifolia</i> y <i>P. scrobiculatum</i> mostraron remoción de 100 mg/L	Fitorremediación	Agua residual industrial - textil	Ni Hg
18	Remoción de cromo y cadmio de aguas residuales usando lenteja de agua - <i>Lemna gibba</i> y deformación ultraestructural por toxicidad de metales	India	<i>Lemna gibba</i>	Anova	15	El porcentaje de <i>L. gibba</i> para Cr metal se encontró en el rango de 37.3% a 98.6% y para cadmio fue se encontró dentro del rango de 81,6% a 94,6%.	Bioacumulación	Agua residual industrial	Cd
19	Remoción de cadmio por <i>Lemna minor</i> y <i>Spirodela polyrhiza</i>	India	<i>Lemnaminor</i> <i>Spirodela polyrhiza</i>	Anova	15	<i>L. minor</i> y <i>S. polyrhiza</i> eran capaces de eliminar 42-78% y 52-75% de cadmio del medio dependiendo de las concentraciones iniciales de cadmio.	Fitorremediación	solución acuosa	Cd
20	Perspectivas del uso del jacinto de agua (<i>Eichhornia heterosperma</i>) para la autodepuración en un reservorio de agua colombiano	Colombia	<i>Eichhornia heterosperm</i>	Chi Cuadrado	4	Se observaron concentraciones medias de nitrógeno entre 21–45 g y fósforo entre 2,1–3,0 g kg ⁻¹ peso seco en las diferentes partes de la planta (hojas, tallos, raíces)	Fitorremediación	Embalse	Cr Al Zn Cu
21	Variaciones en la Eficiencia de la Fitorremediación de Aguas Contaminadas por Metales con <i>Salvinia biloba</i> : Perspectivas e Impactos Toxicológicos	Argentina	<i>Salvinia biloba</i>	Anova	2	Los mecanismos de absorción y detoxificación fueron diferentes para cada ion, resultando en una mayor remoción de Cu y Pb (≥96%, en ambas concentraciones)	Fitorremediación	agua residual doméstica	Cd Cu Pb Zn
22	Una comparación de las eficiencias de eliminación de <i>Myriophyllum spicatum</i> L. para nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NP) en diferentes medios: un enfoque de microcosmos	Turkia	<i>Myriophyllum spicatum</i>	R. Pearson	7	El porcentaje de eliminación en el agua del grifo osciló entre el 29,5 y el 70,3 %, y ligeramente superior en el agua del estanque	Fitorremediación	Grifo y estanque	Zn
23	Potencial de tratamiento de aguas residuales de lechuga de agua (<i>Pistia stratiotes</i>) con diseño de ingeniería modificado	Egipto	<i>Pistia stratiotes</i>	Anova	5	El valor máximo de remoción fue de 90.55% para Fe al 70% de cobertura vegetal y el valor mínimo registrado al el control fue del 34,01%.	Fitorremediación	agua residual industrial	Fe Cu Ni Pb
24	Absorción de arsénico por <i>Lemna minor</i> en un sistema hidropónico	India	<i>Lemnaminor</i>	Anova	22	La eliminación máxima fue de 70% en una concentración inicial de 0,5 mg/l arsénico el día 15 del período experimental de 22 días	Bioacumulación	solución acuosa	As

25	<i>Spirodela polyrhiza</i> : un acumulador potencial de pb del agua contaminada	India	<i>Spirodela polyrhiza</i>	Anova	25	<i>S. polyrhiza</i> pudo reducir del 93,19% a 0,91 mg/L a 82,23% a 1,97 mg/L Pb en una solución contaminado con plomo	Fitorremediación	solución acuosa	Pb
26	Evaluación de la remoción de metales pesados de efluentes contaminados utilizando <i>Phragmites australis</i> , <i>trin steud</i> y <i>Schoenoplectus californicus</i>	Perú	<i>Phragmites australis</i> <i>Trin steud</i> <i>Schoenoplectus californicus</i>	Anova	7	<i>S. californicus</i> remueve preferentemente cobre (82 y 90%), plomo (88 y 92%) y hierro (28 y 69%), mientras que <i>P. australis</i> remueve cobre (68 y 87%) y zinc (53 y 95%). Asimismo, se observa que el <i>S. californicus</i> retiene principalmente los iones en su raíz, cobre (89%), zinc (84%) y hierro (76%). Mientras que la <i>P. australis</i> acumula hierro (62%) y cobre (74%) en la raíz	Fitorremediación	Agua residual industrial - Mina	Cu Zn Fe Pb
27	Acumulación de Hierro, Zinc y Plomo por <i>Azolla pinnata</i> y <i>Lemna minor</i> y actividad en aguas contaminadas	India	<i>Lemnaminor</i> <i>Azolla pinnata</i>	R. Pearson	22	Los resultados obtenidos en este estudio mostraron una remoción máxima de Fe, Zn (88.18, 84.63 %) por <i>L. minor</i> a una concentración inicial de metal de 100 ppm, sin embargo, la remoción máxima por <i>A. pinnata</i> a la misma concentración fue (86.97, 81.14 %) después de 20 días.	Bioacumulación	agua residual industrial	Fe Zn Pb
28	Calidad del agua del río Klang, Selangor, Malasia y eliminación de metales pesados mediante fitorremediación	Malasia	<i>Pistia stratiotes</i> <i>Lemnaminor</i>	Anova	7	<i>P. stratiotes</i> pudo reducir las concentraciones de As, Cd, Cu, Fe, Pb, Zn, Mg y Hg al 96,62%, 95,65%, 60,38%, 61,67%, 99,24%, 32,97%, 53,23% y 96,59%, respectivamente y <i>L. minor</i> fue capaz de remover aproximadamente 10.97%, 83.33%, 35.75%, 39.97%, 100%, 15.32%, 23.81% y 90.91% de As, Cd, Cu, Fe, Pb, Zn, Mg y Hg, respectivamente	Fitorremediación	Superficial	As Cd Cu Fe Pb Zn
29	Fitorremediación del hierro en aguas de ex-minería de Arena por jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)	Indonesia	<i>Eichhornia crassipes</i>	Chi Cuadrado	21	La mayor reducción porcentual de Fe (97,96%) se observó en el área de cobertura de jacinto de agua. El mayor valor de FBC fue 2385.51, mientras que el mayor TF fue en tallos y en hojas	Fitorremediación	Agua residual industrial - Mina	Fe
30	<i>Azolla pinnata</i> como agente de fitorremediación de hierro (Fe) en aguas de extracción de arena	Indonesia	<i>Azolla pinnata</i>	R. Pearson	21	El tratamiento con 75% de área de cobertura de <i>Azolla pinnata</i> , presentó un porcentaje de reducción de la concentración de hierro de 98,10%	Fitorremediación	Agua residual industrial - Mina	Fe
31	Un estudio a pequeña escala sobre la eliminación de metales	China	<i>Eichhornia crassipes</i>	Chi Cuadrado	30	La eficiencia de eliminación de metales pesados (Cd, As, Pb, Zn y Cu) alcanzó el 59-92 % y los	Fitorremediación	Agua residual industrial	Cd As

	pesados del agua contaminada utilizando jacinto de agua					resultados estuvieron dentro de los límites permitidos según el Reglamento Técnico Nacional sobre Aguas Residuales Industriales de Vietnam			Pb Zn Cu
32	Fitorremediación de Cd, Ni, Pb y Zn por <i>Salvinia minima</i>	Brasil	<i>Salvinia minima</i>	R. Pearson	60	<i>S. minima</i> fue capaz de crecer en bajas concentraciones de metales seleccionados (0.03 mgL ⁻¹ Cd, 0,40 mg L ⁻¹ Ni, 1,00 mg L ⁻¹ Pb y 1,00 mg L ⁻¹ Zn) y aún capaz de adsorberse o acumularse metales en sus tejidos cuando se cultivan en concentraciones más altas de metales	Fitorremediación	agua residual industrial	Cd Ni Pb Zn
33	Fitofiltración de arsénico y cadmio del medio acuático utilizando <i>Micranthemum Umbrosum</i> (JF Gmel) SF Blake como hiperacumulador	Japón	<i>Micranthemum umbrosum</i>	Rho spearman	7	<i>M. umbrosum</i> eliminó 79,3–89,5 % de As y 60–73,1 % de Cd de 0 a 1,0 µg de As mg/L y soluciones de 0,3 a 30,0 µg Cd mg/L, respectivamente	Fitorremediación	Superficial	As Cd
34	Plantas acuáticas nativas para la fitorremediación de metales en experimentos al aire libre: implicaciones de los mecanismos de acumulación de metales, Soran City-Erbil, Iraq	Irak	<i>Veronica anagallis</i> <i>Mentha longifolia</i> <i>Cyperus iria</i> <i>Nasturtium officinale</i>	Anova	70	La mayor concentración de Fe la absorbió <i>C. iria</i> (>1000 mg/raíz de la planta), BAFs > 1 y TF < 1, y el mecanismo revelado fue la fitoestabilización. <i>Mentha longifolia</i> acumuló patrones similares de Zn en brotes y raíces (BAFs >1 y TF >1), el mecanismo involucrado era la fitoextracción	Fitorremediación	agua residual doméstica	Fe Cu Ni Mn Pb Zn
35	Eliminación de Pb y Zn en aguas residuales municipales por un consorcio de cuatro plantas acuáticas en un humedal artificial de flujo vertical subterráneo (VSF-CW)	Irak	<i>Veronica anagallis</i> <i>Mentha longifolia</i> <i>Cyperus iria</i> <i>Nasturtium officinale</i>	Anova	70	El porcentaje de remoción de Pb y Zn bajo la condición sinérgica del consorcio alcanzó 92% y 97%, respectivamente. Esto fue consistente con la mayor capacidad de remoción (14,3 y 17,1 mg/d/g) y los valores más altos de absorción de metales (12,4 y 170,2 mg/planta) calculado para Pb y Zn, respectivamente	Fitorremediación	agua residual doméstica	Pb Zn
36	Características de absorción de los metales pesados compuestos vanadio, cromo y cadmio en agua por macrófitos emergentes y sus combinaciones	China	<i>Acorus calamus L</i>	Chi Cuadrado	14	La única especie para la remoción de metales pesados fue <i>A. calamus L.</i> durante el período del experimento, la remoción promedio de V ⁵⁺ , Cr ⁶⁺ y Cd ²⁺ y la eficiencia fue de 52,4, 46,8 y 90,0%, respectivamente	Fitorremediación	solución acuosa	V Cr Cd
37	Sostenibilidad de un humedal artificial ante un evento de depredación	Argentina	<i>Typha domingensis</i>	Anova	30	La remoción media los porcentajes durante operación normal/evento de depredación/período de recuperación fueron: 84.9/73.2/74.7% Cr; 66,7/	Fitorremediación	Superficial	Ni Cr Fe

						48,0/51,2% Ni; 97,2/91,0/89,4% Fe; 50,0/46,8/49,5% Zn			Zn
38	Potencial fitorremediador de macrófitos acuáticos para la eliminación de cobre en aguas contaminadas	Malasia	<i>Centella asiatica</i> <i>Eichhornia crassipes</i>	Anova	8	<i>Centella asiatica</i> también mostró una eliminación máxima del 92% de 3 mg/L de concentración de cobre y del 62% para 5 mg/L concentración de cobre. La eficiencia máxima al final de los experimentos fue casi similar para <i>Eichhornia crassipes</i> , 83% para la concentración de 1 mg/L, 80% para la concentración de 3 mg/L y 83% para la concentración de 5 mg/L	Fitorremediación	solución acuosa	Cu
39	Los efectos morfológicos, fisiológicos y genotóxicos de la bioacumulación de metales pesados en <i>Prosopis laevigata</i> revelan su potencial para la fitorremediación	México	<i>Prosopis laevigata</i>	Anova	7	El porcentaje de plantas que tienen valores de factor de translocación superiores a 1 son Cu (92,9) > Fe (85,7) > Pb (75,0) > Zn (64,3). <i>P. laevigata</i> tiene potencial para fitorremediar ambientes contaminados con metales	Fitorremediación	agua residual doméstica	Cu Cd Cr Fe Zn
40	Uso de dos macrófitos acuáticos para la remoción de metales pesados de medio sintético	Irán	<i>Lemna gibba</i> <i>Ceratophyllum demersum</i> L.	anova	14	<i>L. gibba</i> redujo la contaminación hasta 91% para Cd y 50% para Ni. Además, la eficiencia de <i>C. demersum</i> fue 82,01% para Cd y 52,5% para Ni. <i>L. gibba</i> capta ambos metales pesados (5,07 mg para Ni y 9,70 mg de Cd), pero <i>C. demersum</i> acumuló ambos metales pesados (4,5 mg de Ni y 3,87 mg para Cd) menos y más lento para la eliminación de Cd pero un poco más y más rápido para Ni que la otra planta	Bioacumulación	solución acuosa	Ni Cd
41	Fitorremediación de aguas residuales de minas industriales usando jacinto de agua	India	<i>Eichhornia crassipe</i>	Chi Cuadrado	15	Las plantas conocidas como jacintos de agua eran capaces de eliminar el 99% del cromo en 15 días	Fitorremediación	Agua residual industrial - Mina	Cr
42	Eliminación de Pb, Zn, Cu y Cd por dos tipos de <i>Eichhornia crassipes</i>	China	<i>Eichhornia crassipes</i>	Anova	16	La remoción ocurrió principalmente en las raíces, y el principal proceso de remoción fue la adsorción. Los porcentajes de adsorción de Pb, Zn, Cu y Cd fueron 75%, 43%, 29% y 61% en la superficie de la raíz, respectivamente	Fitorremediación	solución acuosa	Pb Cu Cd Zn
43	Fitotecnologías de metales pesados de plantas de	India	<i>Lemnaminor</i> <i>Azolla pinnata</i>	Chi Cuadrado	15	Existe una alta remoción (>90%) de diferentes metales durante 15 días del experimento, Además, la	Fitorremediación	solución acuosa	Fe Zn

	humedales Ramsar: enfoque verde		<u><i>Eichhornia crassipes</i></u>			eliminación máxima se observó en el día 12 del experimento. Asimismo, los resultados revelaron que <i>E. crassipes</i> fue la más efectivo seguido de <i>L. minor</i> y <i>A. pinnata</i> .			Cu Cr Cd
44	“Remediación de metales pesados/metaloides de aguas residuales utilizando macrófitos flotantes libres de un humedal natural”	India	<u><i>Pistia stratiotes</i></u> <u><i>Spirodela polyrhiza</i></u> <u><i>Eichhornia crassipes</i></u>	Chi Cuadrado	15	Se logró remover en un 76% en 15 días	Fitorremediación	Agua residual industrial	Fe Cu Cd Zn Cr Ni
45	Tolerancia e hiperacumulación de una mezcla de metales pesados (Cu, Pb, Hg y Zn) por cuatro macrófitos acuáticos	México	<u><i>Eichhornia crassipes</i></u> <u><i>Myriophyllum aquaticum</i></u>	Anova	7	<i>E. crassipes</i> puede remover 99.80% Cu, 97.88% Pb, 99.53% Hg y 94.37 Zn. <i>M. aquaticum</i> extrae 95,2% Cu, 94,28% Pb, 99,19% Hg y 91,91% Zn	Bioacumulación	solución acuosa	Cu Pb Hg Zn
46	Productividad de biomasa de macrófitos para la adsorción de metales pesados	Argentina	<u><i>Azolla pinnata</i></u> <u><i>Salvinia molesta</i></u> <u><i>Limnobiium leavigatum</i></u> <u><i>Lemnaminor</i></u> <u><i>Pistia stratiotes</i></u>	Anova	15	<i>A. pinnata</i> resultó ser la especie con mayor porcentaje de remoción de Cu y Pb (96.7% y 99.4%, respectivamente), mientras que <i>P. stratiotes</i> fue mejor adsorbente para Cr con una remoción de 58.8%	Bioacumulación	solución acuosa	Cu Cr Pb
47	Evaluación de la capacidad de 34 especies de plantas de humedales para eliminar metales pesados del agua	Suecia	<u><i>Veronica beccabunga</i></u> <u><i>Tripolium pannonicum</i></u> <u><i>Phragmites australis</i></u> <u><i>Eupatorium cannabinum</i></u>	Anova	5	La especie con la mayor capacidad de eliminación podría eliminar hasta el 52-94% de los metales ya después de 0,5 h de exposición y hasta el 98-100% de los metales después de 5 días de exposición	Fitorremediación	solución acuosa	Cd Zn Pb Cu
48	Macrófitas acuáticas mediadas en la remediación de metales tóxicos de efluentes industriales moderadamente contaminados	India	<u><i>Colocasia esculenta</i></u> <u><i>Hydrilla verticillata</i></u> <u><i>Phragmitis australis</i></u> <u><i>Typha latifolia</i></u> <u><i>Spirodella polyrhiza</i></u>	Anova	30	La máxima eficiencia de remoción de Zn fue de 82.8% por <i>H. verticillata</i> , mientras que el de Cr, Cd y Pb por <i>C. esculenta</i> al 50% de efluente	Fitorremediación	Agua residual industrial	Zn Cr Cd Pb
49	Una investigación del microcosmos de la remoción de fe (hierro) utilizando macrófitos del lago Ramsar: un enfoque de fitorremediación	India	<u><i>Eichhornia crassipes</i></u> <u><i>Lemnaminor</i></u> <u><i>Pistia stratiotes</i></u> <u><i>Salvinia cucullata</i></u>	R. Pearson	12	<i>E. crassipes</i> eliminó el más alto de 89% Fe, 81,3% y 73,2% en 12 días de experimento	Fitorremediación	Agua residual industrial	Fe
50	Absorción de Zn, Cu, Pb y Cd por jacinto de agua en la etapa inicial de remediación del sistema de agua	Rusia	<u><i>Eichhornia crassipes</i></u>	Anova	8	Después de 8 días el resto cantidades de metales en relación con sus concentraciones iniciales para tratamientos de contaminación multimetal fueron 8%	Fitorremediación	Superficial	Zn Cu Pb

						y 24% (Cu), 11% y 26% (Pb), 24% y 50% (Cd), y 18% y 57% (Zn) a pH 8 y pH 6, respectivamente			Cd
51	Fitorremediación sinérgica de aguas residuales por dos plantas acuáticas (<i>Typha angustifolia</i> y <i>Eichhornia crassipes</i>) y potencial como combustible de biomasa	Tailandia	<i>Typha angustifolia</i> <i>Eichhornia crassipes</i>	Anova	21	<i>T. angustifolia</i> como <i>E. crassipes</i> acumularon cantidades similares de metales en raíces y brotes. La acumulación de metales fue la siguiente: Zn > Cd > Pb	Fitorremediación	solución acuosa	Pb Cd Zn
52	Evaluación fisicoquímica de los efluentes de una fábrica de papel y su remediación de metales pesados utilizando macrófitos acuáticos: un estudio de caso en la fábrica de papel JK, Rayagada, India	India	<i>Eichhornia crassipes</i> <i>Hydrilla verticillata</i> <i>Jussiaea repens</i> <i>Lemnaminor</i> <i>Pistia stratiotes</i> <i>Trapa natans</i>	Rho spearman	20	<i>L. minor</i> mostró la mayor reducción (71,4 %) del contenido de Cu del agua efluente seguido de <i>E. crassipes</i> (63,6 %). Potencial de fitoextracción de <i>L. minor</i> fue notable para Hg y Cu, y la bioacumulación fue evidente a partir de los valores del factor de bioconcentración, es decir, 0,59 y 0,70, respectivamente	Fitorremediación	Agua residual industrial	Hg Cu
53	Optimización de la fitorremediación de níquel por <i>Alocasia puber</i> usando metodología de superficie de respuesta	Malasia	<i>Alocasia puber</i>	Anova	12	se logró un 95,6% de remoción bajo el condiciones optimizadas, con un alto coeficiente de correlación ($R^2 = 0,97$) entre el modelo estadístico y los datos experimentales	Fitorremediación	solución acuosa	Ni
54	Biorremediación de efluentes de un depósito de relaves de una molienda de uranio en el sur de China por <i>Azolla-Anabaena</i>	China	<i>Azolla Anabaena</i>	Anova	30	El simbiote planta-microbio se mantuvo en el efluente durante 30 días, y se encontró que U, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cd, f reducido por 87.6, 99.1, 98.8, %, respectivamente.	Bioremediación	Agua residual industrial - Mina	U Pb Cd Zn Cu Fe Mn

Tabla 5. Tiempo de tratamiento con macrófitos

		Tiempo de tratamiento (Agrupada)			
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	<= 20	36	18,9	67,3	67,3
	21 - 73	17	8,7	30,9	98,2
	128+	1	,5	1,8	100,0
	Total	54	28,1	100,0	

De la **Tabla 5** se puede apreciar que el 18.9% de los artículos científicos relevantes, realizaron el estudio de remoción de contaminantes con macrófitos en menos o iguales a 20 días de evaluación. Asimismo, el 8.7% realizaron la evaluación de remoción con macrófitos en un tiempo de 21 a 73 días y solo un 0.5% hicieron evaluaciones en tiempos superiores a los 128 días.

Tabla 6. Información relevante de los artículos seleccionados para el análisis

N°	Autor (es)	Metales	Concentración Inicial promedio en el agua (mg/L)	Concentración final promedio en el agua (mg/L)	pH	T°	Total, Trat.	Macrófitos	Factor de Bioacumulación (mg/Kg)	Factor de traslocación	eficiencia
1	Abdallah et al.,(2012)	Cr	2	0,175	7,2	25, 9	4	<i>Ceratophyllum demersum</i>	23,34	ND	85%
		Pb	4	0,203							
			10	0,782							
			15	0,803							
2	Abdelaal et al., (2021)	Fe	438	35	6.9	26,2	3	<i>Lemna gibba</i>	297,1	ND	96%
								<i>Cyperus alopecuroides</i>	0,25	0,89	76%
								<i>Echinochloa stagnina</i>	2,43	0,79	82%
								<i>Eichhornia crassipes</i>	3,42	0,43	89%
								<i>Ludwigia stolonifera</i>	0,26	0,85	74%
								<i>Phragmites australis</i>	3,83	0,72	85%
								<i>Ranunculus sceleratus</i>	0,32	0,43	74%
3	Abdul et al., (2014)				7,3	23,6	4	<i>Typha domingensis</i>	1,52	0,65	69%
								<i>Eichhornia crassipes</i>	ND	ND	94%
								<i>Pistia stratiotes</i>			78%
								<i>Landoltai punctata</i>			74%
4	Abu et al., (2013)				7,65	25	3	<i>Cabomba piauhyensis</i>	856,82	ND	85%
								<i>Egeria densa</i>	66,86		67%
								<i>Hydrilla verticillata</i>	280,82		78%
5	Adewoye et al., (2021)				7,1	26	2	<i>Eichornia crassipes</i>			95%
									ND	ND	
6	Ahila et al., (2021)				7,1	25	2	<i>Pistia stratiotes</i>	ND	ND	75%
								<i>Salvinia adnata Desv</i>			66%
								<i>Hydrilla verticillata</i>			86%
7	Al-Khafaji et al., (2018)				8.4	22,5	3	<i>Lemnaminor</i>	329,6	ND	87%
8	Al-Zurfi y Al-Tabatabai (2020)				7,4	19	2	<i>Hydrilla verticillata</i>	454,6	ND	69,6%
9	Alí et al., (2018)				7,23	21	3	<i>Eichhornia crassipes</i>	ND	ND	95%
10	Amalia et al., (2019)				7,7	27,1	2	<i>Pistia stratiotesas</i>	ND	ND	73%
11					7,2	15	2	<i>Lemnaminor</i>	383,068	ND	93%

12	Basile et al., (2012)	Cd	23,5	0,14	7,4	23	2	<i>Elodea canadensis</i>	400,730	ND	96,6%				
		Cu	12,9	0,1				<i>Leptodictyum riparium</i>	818,412		96,7%				
	Bharti y Kumar (2012)	Cd	0,024	0,001				<i>Azolla pinnata</i>	ND		93%				
		Cu	0,013	0,001				<i>Lemna minor</i>			97%				
		Fe	0,012	0,002											
		Mn	0,6	0,004											
13	Bind et al., (2019)	Pb	0,02	0,003	7,2	22	2	<i>Azolla filiculoides</i>	ND	ND	81,4%				
		Cu	0,05	0,005				<i>Hydrilla verticillata</i>		84,3%					
		Cr	19	7											
	Bo et al., (2018)	V	0,87	0,170				7,3	16	2	<i>Acorus calamus</i>	197,8	ND	50%	
		As	0,782	0,081							<i>Scirpus tabernaemontani</i>	184,32	ND	47%	
		Cd	0,657	0,233							<i>Typha orientalis</i>	219,35	ND	65%	
Cr	2,454	0,892	<i>Phragmites australis</i>	435,12	ND	50%									
Hg	4,736	0,234	<i>Bermuda grass</i>	231,78	ND	20%									
Pb	3,981	0,635	<i>Marsilea quadrifolia</i>	765,54	ND	90%									
15	Bokhari et al., (2019)	Ni	2,15	0,86	8,65	21	2	<i>Eleocharis plantagineiformis</i>	897,56	ND	90%				
			Pb	1,51				0,0604	<i>Nymphaea tetragona</i>	1345,34	ND	15%			
			Cd	0,74				0,0296	<i>Potamogeton crispus</i>	93,43	ND	50%			
		Borralho et al., (2020)	zn	1,23				0,8118	<i>Myriophyllum verticillatum</i>	123,23	ND	20%			
			Cu	0,54				0,3564	<i>Ceratophyllum demersum</i>	265,19	ND	50%			
			Mn	0,76				0,5016	<i>Hydrilla verticillata</i>	435,23	ND	60%			
	Chandanshive et al., (2017)	Ni	1,34	0,469				<i>Lemna gibba Linn</i>	23,15	ND	96%				
		Hg	1,54	0,53				<i>Lemna aequinoctialis</i>	17,4	ND	89%				
	18	Chaudhary y Sharma (2019)	Cd	1,67				0,18	7,12	25	2	<i>Vetiveria zizanioides</i>	ND	ND	25%
												<i>Phragmites Australis</i>			34%
	19	Chaudhuri et al., (2014a)	Cd	0,5				0,135	7,89	23	2	<i>Paspalum scrobiculatum</i>	ND	ND	45%
												<i>Typha angustifolia</i>			65%
20	Eckert et al., (2020)	Cr	2,14	0,64	7,2	21,2	2	<i>Lemna gibba</i>	295,33	ND	89%				
		Al	4,21	1,26				<i>Lemnaminor</i>	257,0	ND	87%				
		Zn	3,24	0,972				<i>Spirodela polyrhiza</i>	297,43	ND	69%				
		Cu	2,12	0,64				<i>Eichhornia heterosperm</i>	ND	ND	70%				
21		Cd	0,45	0,099	7,1	26	2	<i>Salvinia biloba</i>	ND	ND	78%				

	Emiliani et al., (2020)	Cu	0,98	0,93							
		Pb	0,87	0,19							
		Zn	0,49	0,11							
22	Ergönül et al., (2021)	Zn	57,6	14,57	8,3	19,8	3	<i>Myriophyllum spicatum</i>	ND	ND	74,3%
23	Gaballah et al., (2019)	Fe	19,3	4,82	7,86	26	3	<i>Pistia stratiotes</i>	ND	ND	75%
		Cu	4,6	1,15							
		Ni	5,3	1,33							
		Pb	2,3	0,57							
24	Goswami et al. (2014)	As	1,5	0,24	7,2	23	4	<i>Lemnaminor</i>	1454,2	ND	84%
25	Goswami et al., (2019)	Pb	1,92	0,31	7,2	24	2	<i>Spirodela polyrhiza</i>	705,12	ND	72%
26	Guzman et al., (2022)	Cu	2,54	0,46	7,1	15	3	<i>Phragmites australis</i>	ND	ND	79%
		Zn	4,21	0,76				<i>Trin steud</i>			54%
		Fe	3,44	0,62				<i>Schoenoplectus californicus</i>			65%
		Pb	0,6	0,11							
27	Hafez et al., (2021)	Fe	3,14	0,43	8,01	21	2	<i>Lemnaminor</i>	ND	ND	86%
		Zn	1,21	0,17				<i>Azolla pinnata</i>			84%
		Pb	0,43	0,06							
28	Hanafiah et al., (2021)	As	0,23	0,03	7,54	19	3	<i>Pistia stratiotes</i>	ND	ND	45%
		Cd	0,54	0,07				<i>Lemnaminor</i>			86%
		Cu	0,12	0,02							
		Fe	0,78	0,11							
		Pb	0,02	0,003							
		Zn	0,34	0,048							
29	Hanafiah et al., (2021)	Fe	1,54	0,077	6,45	26	3	<i>Eichhornia crassipes</i>	2,385.51	1.02	98%
30	Hasani et al., (2021)	Fe	2,01	0,1	6,43	24	2	<i>Azolla pinnata</i>	ND	ND	98,1%
31	Huynh et al., (2021)	Cd	2,54	0,63		21	3	<i>Eichhornia crassipes</i>	ND	ND	87%
		As	1,43	1,19							
		Pb	0,23	0,03	7,43						
		Zn	3,54	0,46							
		Cu	2,12	0,28							
32	Iha y Bianchini (2015)	Cd	1	0,03	6,89	17	3	<i>Salvinia minima</i>	ND	ND	70%
		Ni	0,38	0,04							
		Pb	7	1							
		Zn	6,98	1							
33	Islam et al., (2013)	As	0,2	0,0012	7,23	13	2	<i>Micranthemum umbrosum</i>	2350	1,33	79%

34	Khalid y Ganjo (2021b)	Cd	2,5	0,004	7,1	17	3	<i>Veronica anagallis</i>	342	0,74	73%									
		Fe	49	7,02																
		Cu	7,87	1,41																
		Ni	6,34	1,27																
		Mn	7,23	1,37																
		Pb	42,1	6,911																
		Zn	21	3,11																
35	Khalid y Ganjo (2021a)	Pb	6,91	1,38	7,34	17	2	<i>Veronica anagallis</i>	654,63	0,93	75%									
		Zn	3,11	0,77																
												<i>Mentha longifolia</i>	186	0,08	65%					
																<i>Cyperus iria</i>	1236	7,27	58%	
																				<i>Nasturtium officinale</i>
		36	Lin et al., (2018)	V								2,12	0,8268	7,01	19	2	<i>Acorus calamus L</i>	ND	ND	90%
				Cr								0,13	0,05							
Cd	2,67			1,04	<i>Alternanthera philoxeroides</i>	53%														
							<i>Typha domingensis</i>	ND	ND	72%										
37	Maine et al., (2013)	Ni	0.054	0,018	9,23	20	2	<i>Centella asiatica</i>	ND	ND	83%									
		Cr	0.053	0,008																
		Fe	8.83	0,249																
		Zn	0.054	0,02																
38	Marajan et al., (2018)	Cu	24,5	3	7,98	22	2	<i>Eichhornia crassipes</i>	1472	0,71	75%									
39	Muro et al., (2020)	Cu	24,2	6,05	7,12	19	2	<i>Prosopis laevigata</i>	1472	0,71	75%									
		Cd	12,3	3,07																
		Cr	22,2	5,55																
		Fe	32,3	8,075																
		Zn	16,2	4,05																
40	Parnian et al., (2016a)	Ni	36,3	4,5	7,1	24	2	<i>Lemna gibba</i>	ND	ND	85,3%									
		Cd	35,2	3,87								<i>Ceratophyllum demersum L.</i>	70,6%							
41	Prinyanka et al., (2017)	Cr	2,13	0,12	7,38	27	2	<i>Eichhornia crassipe</i>	ND	ND	99,5%									
42	Qiang et al., (2016)	Pb	9,89	0,22	5	17,56	3	<i>Eichhornia crassipes</i>	ND	ND	95%									
		Cu	4,87	0,19																
		Cd	0,92	0,01																
		Zn	9,94	1,39																
43	Rai (2018)	Fe	2	0,48	6,73	19	3	<i>Lemnaminor</i>	ND	ND	79%									
		Zn	5	1,2								<i>Azolla pinnata</i>	74%							
		Cu	2	0,48																
		Cr	5	1,2																

44	Rai (2019)	Cd	2	0,48	7,1	14	3	<i>Eichhornia crassipes</i>	ND	0,59	81%
		Fe	2,32	0,51				<i>Pistia stratiotes</i>			64%
		Cu	3,32	0,73				<i>Spirodela polyrhiza</i>			58%
		Cd	5,32	1,17				<i>Eichhornia crassipes</i>			78%
		Zn	6,42	1,41							
		Cr	0,21	0,05							
45	Romero et al., (2017)	Ni	1,23	0,27	7,21	19	2	<i>Eichhornia crassipes</i>	1735	0,455	94,5%
		Cu	1	0,02				<i>Myriophyllum aquaticum</i>	419,35	0,299	95,3%
		Pb	0,5	0,01							
		Hg	0,5	0,011							
46	Saralegui et al., (2021)	Zn	0,5	0,012	6,89	26	2	<i>Azolla pinnata</i>	ND	ND	97%
		Cu	0,54	0,06				<i>Salvinia molesta</i>			51%
		Cr	0,12	0,013				<i>Limnobium leavigatum</i>			62%
47	Schuck y Greger (2020)	Pb	0,8	0,088	6,82	7	3	<i>Lemnaminor</i>			60%
		Cd	6,2	1,2				<i>Pistia stratiotes</i>			75%
		Zn	4,2	0,2				<i>Veronica beccabunga</i>	ND	ND	76%
		Pb	4,6	0,4				<i>Tripolium pannonicum</i>			45%
		Cu	2,1	0,1				<i>Phragmites australis</i>			65%
								<i>Eupatorium cannabinum</i>			67%
48	Saraswat y Rai (2018)	Zn	7,28	5	7,23	26	2	<i>Colocasia esculenta</i>	614,21	0,6	65%
		Cr	2,4	2				<i>Hydrilla verticillata</i>	344,26	0,45	72%
		Cd	2	0,23				<i>Phragmites australis</i>	635,27	0,41	32%
								<i>Typha latifolia</i>	604,12	0,31	65%
								<i>Spirodella polyrhiza</i>	252,73	2,77	54%
49	Singh et al., (2021)	Fe	3	0,32	7,12	23	2	<i>Eichhornia crassipes</i>	ND	ND	89%
								<i>Lemnaminor</i>			93%
								<i>Pistia stratiotes</i>			76%
								<i>Salvinia cucullata</i>			65%
								<i>Eichhornia crassipes</i>	2000	ND	52%
50	Smolyakov (2012)	Zn	500	16,4	6,23	26	4				
		Cu	250	13,5							
		Pb	250	13,2							
		Cd	50	1,21							
51	Sricoth et al., (2018)	Pb	2,42	0,12	6,27	21	2	<i>Typha angustifolia</i>	572,32	1	69%
		Cd	1,23	0,01				<i>Eichhornia crassipes</i>	534,16	1,4	78%
		Zn	2,32	0,10							
52	Mishra et al., (2013)	Hg	2,43	0,6	7,09	23	2	<i>Eichhornia crassipes</i>	657,23	ND	62,87%
								<i>Hydrilla verticillata</i>	562,65		61,4%
								<i>Jussiaea repens</i>	425,22		59%
								<i>Lemnaminor</i>	757,34		69%
								<i>Pistia stratiotes</i>	589,48		61,3%
								<i>Trapa natans</i>	576,84		61,2%
53	Thani et al., (2020)	Ni	5	0,12	7,23	21	2	<i>Alocasia puber</i>	ND	0,17	59%
54	Xinwei et al., (2018)	U	0,317	0,034	7,12	25	3	<i>Azolla Anabaena</i>	ND	ND	87%
		Pb	0,230	0,0146							

Cd	0,071	0,006
Zn	1,157	0,104
Cu	0,051	0,005
Fe	3,646	0,06
Mn	12,220	0,23

En la **Tabla 6** se puede apreciar la recopilación de los 54 artículos seleccionados, cuya tabla contiene: Autor, año, metales evaluados, concentraciones iniciales y finales realizados en el laboratorio, pH, Temperatura, tratamientos, repeticiones, especies, factor de bioacumulación, factor de traslocación y la eficiencia.

Tabla 7. Resultados descriptivos de la información recopilada

	Estadísticos descriptivos												
	N	Rango	Mín.	Máx	Suma	Media	Desv.	Varianza	Asimetría	Curtosis			
	Estco.	Estco.	Estco.	Estco.	Estco.	Estco.	Estco error	Estco.	Estco.	Estco.	Estco. Error	Estco.	Desv. Error
Concentración Inicial	181	1156,99	,01	1157,00	5809,73	32,09	9,24	124,33	15458,61	6,64	,181	50,25	,36
Concentración Final	181	56,00	,00	56,00	517,38	2,85	,56	7,54	56,96	4,53	,181	23,20	,36
pH	55	4,23	5,00	9,23	398,73	7,24	,083	,61	,37	-,01	,322	4,42	,63
Temperatura	55	20,10	7,00	27,10	1176,86	21,39	,57	4,22	17,88	-,94	,322	1,08	,63
Factor de Bioacumulación	63	2349,75	,25	2350,00	31339,9	497,4	62,68	497,48	247490,1 2	1,74	,302	3,42	,40
Factor de Traslocación	31	7,19	,08	7,27	33,96	1,09	,26	1,46	2,14	3,38	,421	11,86	,82
Tiempo de tratamiento	54	179,00	1,00	180,00	1100,00	20,00	3,60	26,72	714,14	4,40	,322	24,11	,63
N válido	54												

En la **Tabla 7** se logra apreciar que la concentración inicial media de metales pesados fue de 32,09 mg/L, la concentración final media fue de 2,85 mg/L de metales pesados. Asimismo, se puede apreciar que la media del factor de bioacumulación fue de 497 mg/Kg; de igual forma, se aprecia que el pH medio fue de 7,24; la temperatura media fue de 21,39; finalmente la media del tiempo de tratamiento fue de 20 días.

Prueba de normalidad de los datos relevantes como las concentraciones de los metales pesados como: Cr, Pb, Fe, Cu, Zn, Cd, Ni, Zn, Mn, Al, V y Hg de las investigaciones científicas. Asimismo, los 54 artículos se seleccionaron en base al tipo de metal, tipo de técnica empleada y la especie empleada.

– Hipótesis de la investigación

H_0 = Los datos recopilados de los 54 artículos provienen de una distribución normal.

H_a = Los datos recopilados de los 54 artículos provienen de una distribución normal.

– Hipótesis estadística

– H_0 = valor $p > 5\%$

– H_a = valor $p < 5\%$

Para una muestra de 54 investigaciones recopilados de las bases de datos de WOS Y Scopus, se hallaron los valores empleados el programa SPSS en su versión 26.

Tabla 8. Prueba de normalidad de los datos relevantes

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
Concentración Inicial	,405	31	,000
Concentración Final	,365	31	,000
pH	,181	31	,011
Temperatura	,126	31	,200*
Factor de Bioacumulación	,188	31	,007
Factor de Traslocación	,359	31	,000
Tiempo de tratamiento	,329	31	,000

– Decisión:

Se acepta H_0 si el valor de $p > 0,05 = 5\%$

Se rechaza H_0 si el valor de $p < 0,05 = 5\%$

– Se concluye: Como se observa en la **Tabla 8** el nivel de significancia bilateral asintótica fue de 0,000 para la concentración inicial,

concentración final, pH, Factor de bioacumulación, factor de traslocación y tiempo de tratamiento; valores inferiores a la significancia de 0,05; por ello, se rechaza H_0 es decir que los datos no son normales. No obstante, se aprecia que el nivel de significancia bilateral asintótica de la temperatura fue de 0,200, siendo superior al nivel de significancia de 0,05, por lo que estos datos si provienen de una distribución normal. A continuación, se mostrará los gráficos donde se visualiza la curva de Gauss.

En cuanto a los resultados, sobre los macrófitos identificados en los 54 artículos se muestran continuación en la

Macrófitos usados en las investigaciones

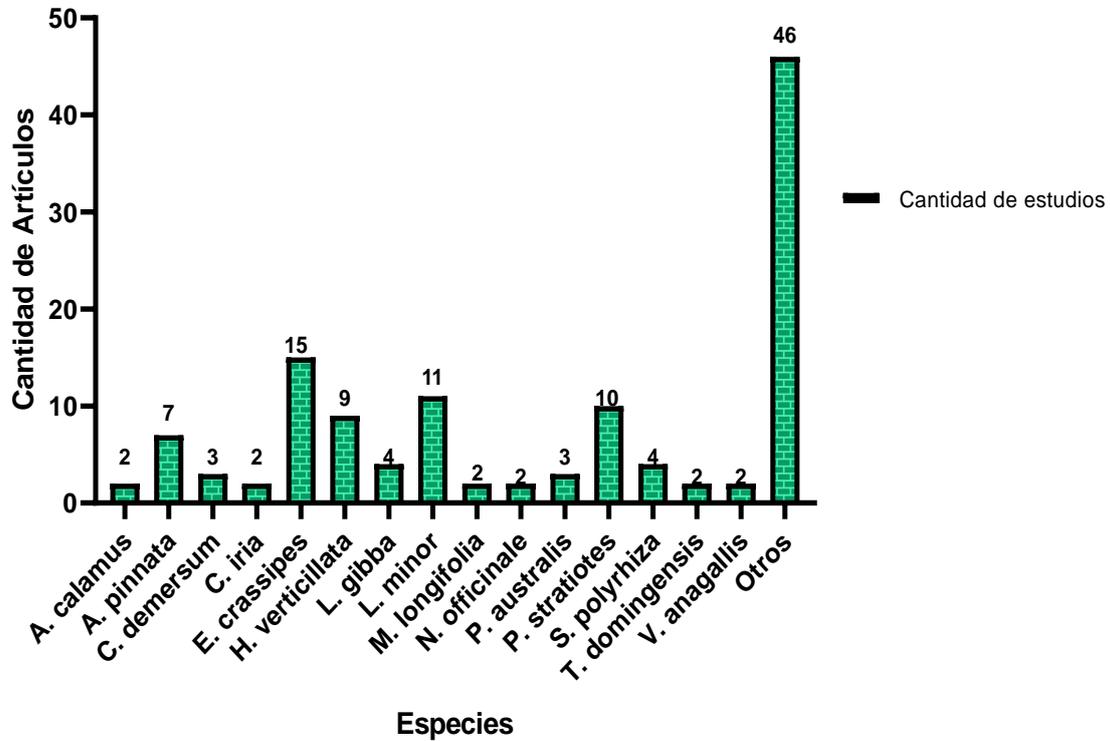
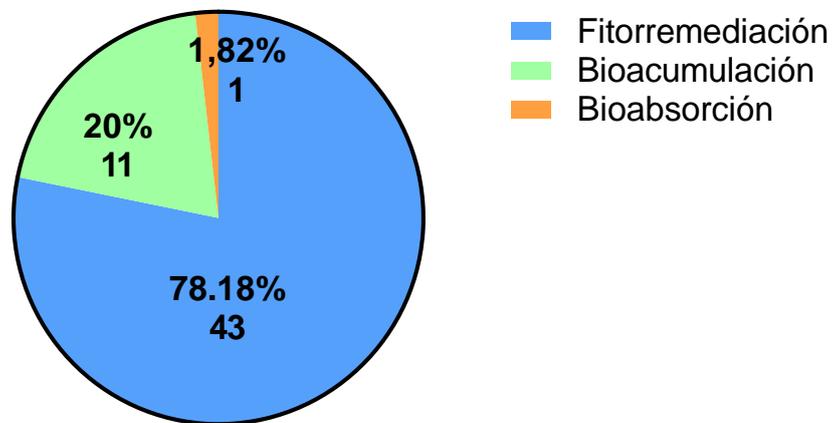


Figura 5. Cantidad de macrófitos identificados

En la **Figura 5** se puede apreciar que 15 artículos incluyeron a la *E. crassipes* como macrófito a investigar; asimismo, se aprecia que dentro de 11 investigación consideraron a la *L. minor* como parte de su experimentación; de igual forma, se consideró al macrófito *P. stratiotes* en 10 estudios; además, se consideró a *H. verticillata* en 9 investigaciones. También, se usó diversas especies como *A. calamus*, *A. pinnata*, *C. demersum*, *C. iri*, *L. gibba*, *M. longifolia*, *N. officinale*, *P. australis*, *Polyrhiza*, *T. domingensis* y *V. anagallis*; estos macrófitos fueron incluidos entre dos a 7 estudios. Asimismo, se incluyeron 46 diferentes macrófitos en 46 investigaciones.

Técnicas empleadas para la remoción de metales pesados



Total=54 artículos

Figura 6. *Porcentaje de técnica que emplearon las investigaciones*

De la **Figura 6** se puede apreciar que el 78,18% (43) de los 54 artículos analizados, emplearon la técnica de fitorremediación, el 20% (11) empleó la técnica de bioacumulación y solo el 1,82% (1) empleó la técnica de bioadsorción. Por ello, se puede afirmar que la técnica más empleada en los 54 artículos investigados fue la fitorremediación.

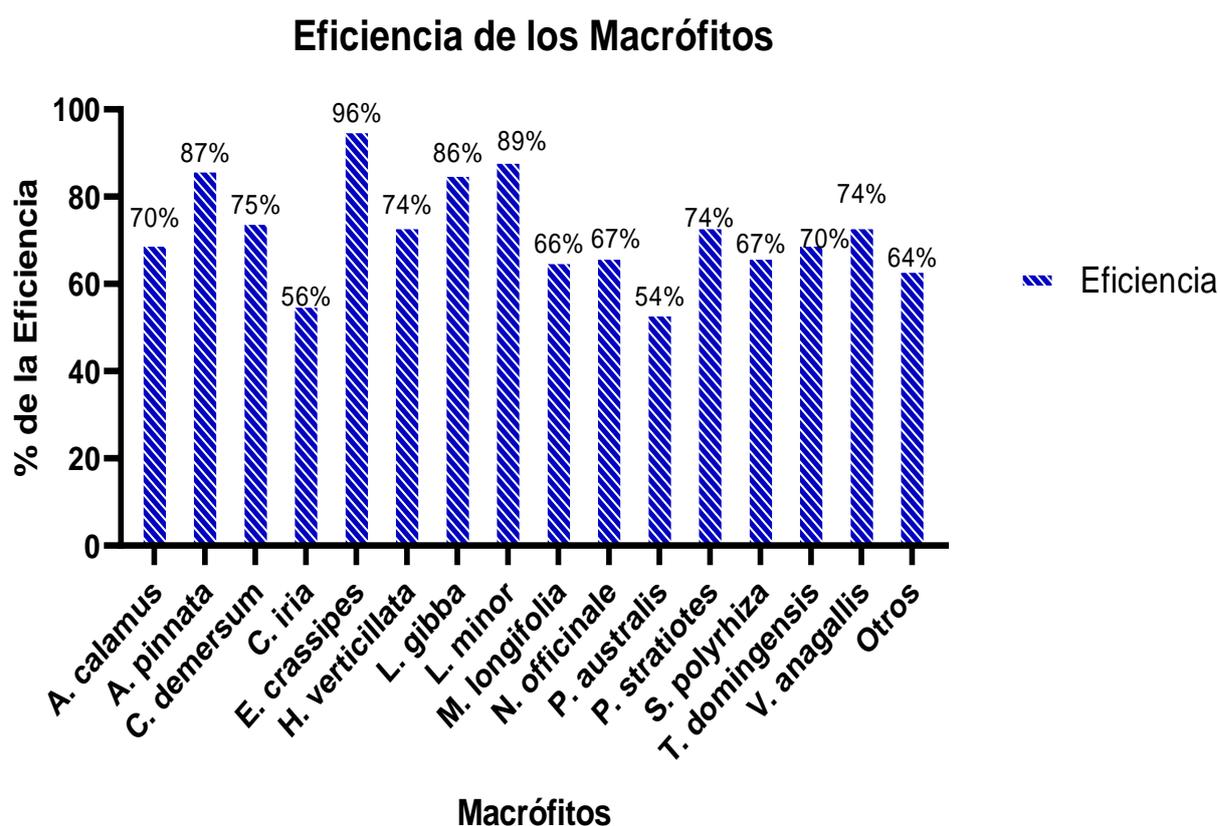


Figura 7. Porcentaje de la eficiencia de los macrófitos

De la **Figura 7** se puede observar que, el macrófito que resultó más eficiente fue el *E. crassipes*, con una eficiencia del 96%, seguido de la *L. minor* con un porcentaje de remoción del 89%; asimismo, se observa que la especie de *A. pinnata* tuvo una eficiencia del 87%, la especie de *L. gibba* un 86%, *C. demersum* un 75%, las especies de *H. verticillata*, *P. stratiotes* y *V. anagallis* mostraron una eficiencia de 74%; por otra parte, las especies de *A. calamus*, *N. officinale*, *S. polyrhiza* tuvieron los porcentajes de 70%, 67%, 67% y 66% respectivamente; además, las macrófitas que obtuvieron un porcentaje de 54% y 56% fueron la *P. australis* y *C. iría* respectivamente. Finalmente existieron otras especies que su porcentaje de remoción alcanzó un 64%.

Porcentaje de remoción de metales pesados por Macrófitos

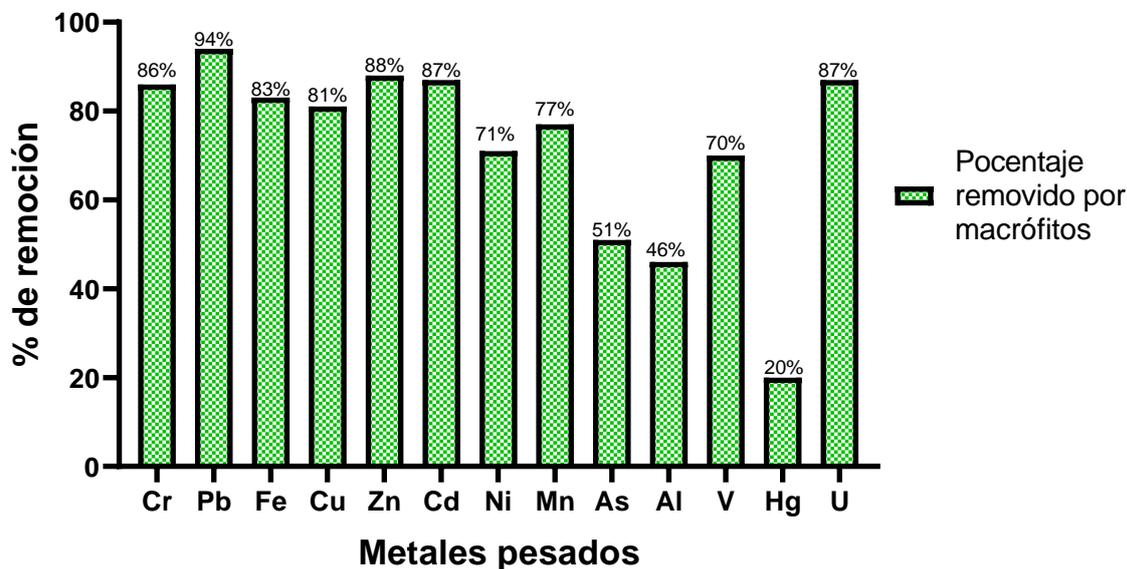


Figura 8. Remoción de metales pesados usando macrófitos

En la **Figura 8** se muestra que, los macrófitos en promedio llegaron a remover en un 94% el Pb de las aguas contaminadas; asimismo, se puede apreciar que en un 88% se llegó a remover el Zn, el 87% de Uranio, y Cadmio, un 86% de Cromo, 83% de Hierro, 81% de Cobre, un 77% de Manganeso, 71% de Níquel, 70% de Vanadio, 51 % de Arsénico, 46% de Aluminio y solo un 20% de Mercurio. Por ello, se puede afirmar que en la mayoría de porcentaje de remoción de metales a través de macrófitos, superaron el 50%, evidenciando así, la alta efectividad del tratamiento.

En cuanto a los resultados inferenciales se pudo observar lo siguiente.

- H_0 = La aplicación de macrófitos acuáticos no es efectivo para la remoción de metales pesados en base a una revisión sistemática de publicaciones científicas del periodo 2012-2022.
- H_1 = La aplicación de macrófitos acuáticos es efectivo para la remoción de metales pesados en base a una revisión sistemática de publicaciones científicas del periodo 2012-2022.

Tabla 9. Prueba de hipótesis

AL realizar la prueba de normalidad se pudo determinar que los datos provenían de una distribución normal, es por ello, que se empleó la prueba de análisis de varianza.

ANOVA						
Eficiencia en la remoción						
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Valor crítico para F
Entre grupos	3,111	2	1,556	22,750	,000	10,265
Dentro de grupos	,889	13	,068			
Total	4,000	15				

Acorde con la **Tabla 9** que corresponde al análisis de varianzas, se cumple lo siguiente, el valor de F que se determinó es superior (22,750) al valor crítico de F (10,265); por lo que, existe cierta diferencia entre los grupos evaluados. Asimismo, se puede aseverar a un 95% de confianza y a un valor de $p = 0,000$; que se acepta la hipótesis planteada en el estudio; es decir, se acepta que la aplicación de macrófitos acuáticos es efectivo para la remoción de metales pesados en base a una revisión sistemática de publicaciones científicas del periodo 2012-2022.

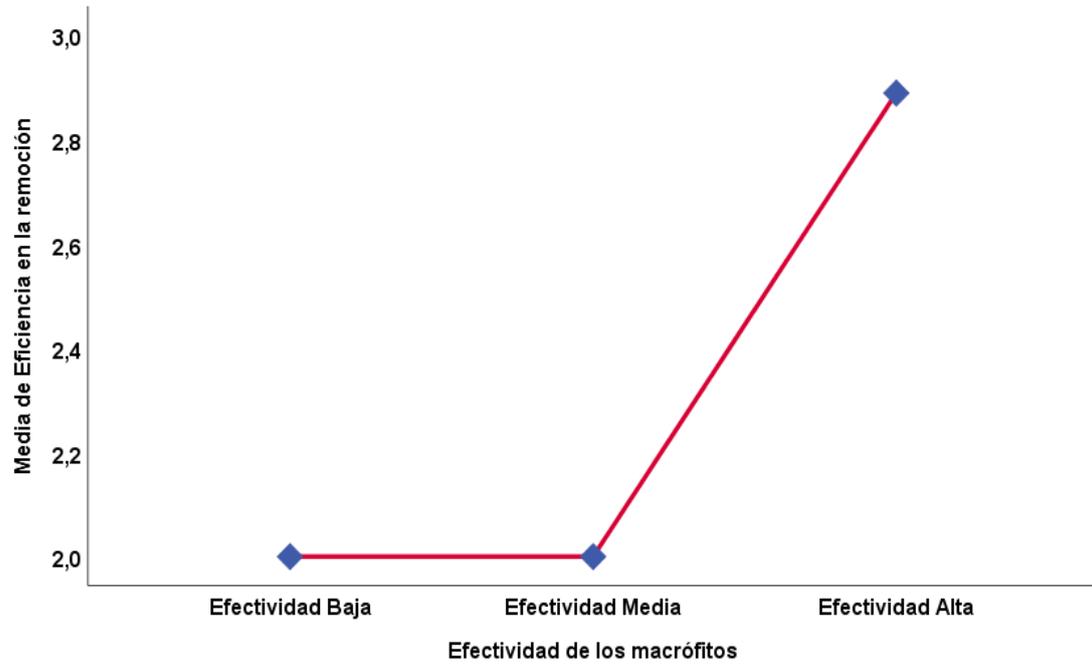


Figura 9. *Gráfico de las medias de la efectividad*

V. DISCUSIÓN

La finalidad de la investigación fue evaluar la efectividad de los macrófitos acuáticos para la remoción de metales pesados de aguas superficiales contaminados en base a una revisión sistemática de publicaciones científicas del periodo 2012-2022. Los resultados de esta revisión sistemática confirman que los macrófitos empleados en las 54 investigaciones analizadas fueron efectivos al remover metales pesados presentes en las aguas contaminadas.

Estos hallazgos guardan relación con Juárez y Carnejo (2021) en su revisión sistemática que seleccionaron 40 artículos relevantes. Los resultados fueron que, los macrófitos tuvieron altos porcentajes de remoción de metales pesados, donde el cadmio se removió en un 94% y el plomo en 97.4%. por lo que, estos macrófitos fueron efectivos en la remoción de estos contaminantes. Asimismo, tiene relación con Palomino et al., (2022) su investigación sistemática, determinó que el macrófito *E. Crassipes*, tuvo un porcentaje de remoción de 93% en agua contaminadas; asimismo, la especie *P. stratiotes* alcanzo un porcentaje de remoción de aproximadamente 86%, esto en 21 días de experimento. Asimismo, guarda relación con Araujo et al., (2022) cuando utilizó macrófitos para la eliminación de uranio y determinó que los macrófitos cuentan con un número de cualidades que pueden ser aprovechables y que pueden ayudar a mitigar el actual impacto ambiental que se vive también mencionó que los resultados de diferentes estudios indican que las plantas verdes (macrófitos) podrían usarse en un sistema de fitorremediación para tratar aguas residuales en comunidades rurales y pequeñas (Alquwaizany, Hussain y Al-Zarah, 2022).

Estos resultados son respaldados por Ruza (2012) al mencionar que los macrófitos son importantes en todos los medios acuáticos debido a que son mediadores de transporte entre atmósfera y sedimentos, provocan un efecto sobre la composición del agua, eliminan nutrientes; es decir, actúan como agentes de depuración. Además, se respalda en Ito y Barfod (2014) cuando afirman que las macrófitas desempeñan un papel importante en la

estructuración y el funcionamiento de los sistemas acuáticos de agua dulce y sirven como fitorremediadores acuáticos. Delgadillo et al., (2010) dice que las macrófitos están adaptados a acrecentar cuando el suelo se encuentre saturado mediante algún líquido, debido a su porosidad. Además, se respalda en Hilt et al., (2022) al manifestar que los macrófitos son elementos estructurantes clave en los cuerpos de agua, debido a que pueden contribuir a la estabilización de las condiciones del agua clara, indicar el estado ecológico del lago y proporcionar varios servicios ecosistémicos.

En cuanto al objetivo específico uno, fue identificar los macrófitos más empleados en las investigaciones como removedores de metales pesados en aguas superficiales contaminados. Los hallazgos mostraron que la especie más empleada fue la *E. crassipes*; asimismo, se apreció que dentro de 11 investigación consideraron a la *L. minor* como parte de su experimentación; de igual forma, se consideró al macrófito *P. stratiotes* en 10 estudios; también, se consideró a *H. verticillata* en 9 investigaciones. Siendo estas las especies más empleadas en las investigaciones.

Estos hallazgos guarda relación con Huaraca y Lujan (2020) donde logró identificar macrófitos con mayor eficiencia como el *L. minor*, *E. crassipes*, *P. stratiotes*, *L. gibba*, *T. Latifolia* entre otros. Concluyendo en que estos macrófitos son escogidos por los investigadores por su alta efectividad en remover contaminantes presentes en el agua contaminada. Ashraf et al., (2020) logró determinar que *E. crassipes*, *P. stratiotes*, *L. minor* y *L. gibba*, cuentan con la capacidad de desarrollar en medios y condiciones de estrés.

También, Jara et al., (2017) en su estudio, analizó a los macrófitos y la calidad del agua. A partir de los hallazgos pudo concluir que el humedal está contaminado con elementos orgánicos ocasionando eutrofización; asimismo, los investigadores identificaron que las especies macrófitos era tolerantes a esta contaminación. Lo mencionado, se respalda en Saralegui et al., (2021) donde menciona que algunos macrófitos acuáticos naturales, se les ha comprobado su capacidad como adsorbentes para metales pesados con

resultados favorables investigar los resultados más importantes del empleo de la fitorremediación.

El objetivo específico número dos fue identificar las técnicas más empleadas para la remoción de metales pesados de aguas superficiales contaminadas. Los cual resultados evidenciaron que, la técnica más empleada en los 54 artículos analizados fue la fitorremediación con un 78,18%.

Hallazgos que tienen concordancia con Alvarado y Ley (2020) quienes en su estudio de revisión sistemática identificaron que la fitorremediación fue una técnica más empleada en las investigaciones consultadas, representando un 38%, porcentaje alto en comparación a las demás técnicas empleadas. Hallazgos que se respaldan Kumar (2021) al afirmar que los macrófitos son efectivos para la eliminación mediante la fitorremediación o biorremediación. También se respaldan en lo mencionado por Quispe et al., (2017) al afirmar que las especies como *Potamogeton*, *Eichhornia*, *Azolla*, *Wolfia*, *Lemna*, *Wolfiallahana* y *Spirodela*, han presentado mejores resultados en cuanto a la remoción de contaminantes y estos son considerados como fitorremediadores y bioacumuladores. De igual forma se apoyan en lo dicho por Marrugo et al., (2017) al decir que entre las diversas especies acuáticas mencionadas, se puede afirmar la *E. crassipes* es tolerante y resistente de metales tóxicos, ácidos oxálicos, formaldehidos, ácidos fórmicos y fenoles, incluso si las aguas contaminadas cuentan con altas concentraciones de estos contaminantes.

Finalmente, el último objetivo fue determinar el porcentaje de remoción de los metales pesados aplicando macrófitos acuáticos en el tratamiento de aguas superficiales. Los resultados mostraron que se logro remover en un 94% el Plomo de las aguas contaminadas; asimismo, un 88% de Zinc, un 87% de Uranio, y Cadmio, un 86%.

Estos resultados guardan relación con Juárez y Carnejo (2021) al determinar que el cadmio se removió en un 94% y el plomo en 97,4%, porcentajes altamente efectivos de remoción. También, concuerda con

Guevara (2021) al evidenciar que los macrófitos empleados en los artículos analizados lograron una remoción de cadmio del 84%. Asimismo, guarda relación con Quinteros (2020) que en su revisión sistemática identificó que los porcentajes de mitigación fueron altos, todo esto gracias a los macrófitos como *C. articulatus* y *P. australis*.

Lo expuesto anteriormente, se respalda en Singh et al., (2022) al mencionar que la eficacia del jacinto de agua (*E. crassipes*) para la reducción de metales pesados de efluentes de la industria tiene porcentajes altos de remoción. También, es respaldado por Chen et al., (2020) y Wang et al., (2022) al decir que una comunidad de macrófitos acuáticos tiene un papel importante en la reducción de la carga de contaminantes de las aguas pluviales o de escorrentía. En general, los sistemas naturales para tratar agua y que utilizan especies de macrófitos podrían considerarse un método exitoso de solución de tratamiento de aguas residuales de bajo costo para mejorar la calidad de los sistemas acuáticos contaminados (Tunçsiper, 2019).

Las plantas macrófitos empleados para tratar aguas grises convencionales pueden desempeñar fundamental al momento de realizar un manejo de estas aguas de origen domésticos e industriales típicas de ciudades, fábricas y granjas (Figueiredo et al., 2019). No obstante, estas PTAR no pueden eliminar las grandes cargas de nutrientes Hasan et al., (2021) y Nabi (2021) afirman que, la contaminación de los sistemas acuáticos por metales pesados afecta fuertemente las relaciones de la cadena trófica mediante del proceso de biomagnificación. Los macrófitos son importantes en todos los medios acuáticos debido a que son mediadores de transporte entre atmosfera y sedimentos, provocan un efecto sobre la composición del agua, eliminan nutrientes ; es decir actúan como agentes de depuración; actúan sobre la contaminación difusa en los humedales y riberas; son indispensables en la producción de oxígenos y eliminación de sustancias tóxicas. Asimismo, los macrófitos sirven como estabilizadores de los sedimentos, tienen influencia sobre el microclima, la calidad y cantidad de luz consumida (Ruza, 2012).

Por todo lo mencionado líneas anteriores, se evidencia que los macrófitos son efectivos en la remoción de contaminantes, debido a su alta eficiencia de remoción, formando parte de la técnica de fitorremediación de aguas contaminadas con metales pesados.

VI. CONCLUSIONES

- La efectividad de los macrófitos fue alta, especies que fueron empleados en las 54 investigaciones seleccionados para esta revisión sistemática
- Los macrófitos identificados como los más usados por las investigaciones analizadas fueron la *E. crassipes*, *L. minor*, *P. estradiotes* y *H. veticillata*; macrófitos que fueron empleados en 15, 11, 10 y 9 artículos científicos respectivamente.
- La técnica más empleada en los 54 artículos analizados fue la fitorremediación (78,18%), empleando macrófitos para la remoción de metales pesados presentes en las aguas contaminadas.
- El porcentaje de remoción de los metales pesados, en los 54 artículos científicos analizados fueron: 94% para Pb; asimismo, 88% llegó a remover Zinc, 87% Uranio, 86% Cromo, 83% Hierro, 81% Cobre, 77% Manganeso, 71% Níquel, 70% Vanadio, 51 % Arsénico, 46% Aluminio y solo 20% Mercurio.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar una investigación experimental a pequeña escala con las especies más eficientes, permitiendo así conocer si es viable la aplicación de la fitorremediación como técnica efectiva.
- Familiarizarse con las búsquedas avanzadas, aplicando operadores booleanos, lo cual permitirá enfocarse netamente en las variables de estudio.
- Revisar si existen otros métodos similares a Newcastle Ottawa para la selección rigurosa de las investigaciones a analizar.

REFERENCIAS

1. ABDALLAH, M., Phytoremediation of heavy metals from aqueous solutions by two aquatic macrophytes, *Ceratophyllum demersum* and *Lemna gibba* L. *Environmental Technology (United Kingdom)*, vol. 33, no. 14, pp. 1609-1614. ISSN 1479487X. DOI 10.1080/09593330.2011.640354.
2. ABDELAAL, M., MASHALY, I., SROUR, D., DAKHIL, M., EL-LIETHY, M., EL-KEBLAWY, A., EL-BAROUGY, R., HALMY, M. y EL-SHERBENY, G., 2021. Phytoremediation perspectives of seven aquatic macrophytes for removal of heavy metals from polluted drains in the Nile delta of Egypt. *Biology*, vol. 10, no. 6. ISSN 20797737. DOI 10.3390/BIOLOGY10060560.
3. ABDUL, A., ZULARISAM, W., IDERIS, Z., ISMI, M. y SULAIMAN, S., 2014. Treatment of industrial wastewater in Gebeng Area, Kuantan Pahang using phytogreen system. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, vol. 32, no. 1, pp. 347-354. ISSN 1308772X.
4. ABU, A., YUSOFF, I., FATT, N., OTHMAN, F. y ASHRAF, M., 2013. Arsenic, zinc, and aluminium removal from gold mine wastewater effluents and accumulation by submerged aquatic plants (*Cabomba piauhyensis*, *Egeria densa*, and *Hydrilla verticillata*). *BioMed Research International*, vol. 2013. ISSN 23146133. DOI 10.1155/2013/890803.
5. ADEWOYE, S., ADENIGBA, V. y ADEWOYE, A., 2021. Phytoremediation of heavy metals from a point source in an drainage systems using Water Hyacinth (*Eichornia crassipes*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 655, no. 1. ISSN 17551315. DOI 10.1088/1755-1315/655/1/012070.
6. AHILA, K., RAVINDRAN, B., MUTHUNARAYANAN, V., NGUYEN, D., NGUYEN, X., CHANG, S., NGUYEN, V. y THAMARASELVI, C., 2021. Phytoremediation potential of freshwater macrophytes for treating dye-containing wastewater. *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 1, pp. 1-13. ISSN 20711050. DOI 10.3390/SU13010329.
7. ALAHUHTA, J., LINDHOLM, M., BAASTRUP-SPOHR, L., GARCÍA-GIRÓN, J., TOIVANEN, M., HEINO, J. y MURPHY, K., 2021. Macroecology of macrophytes in the freshwater realm: Patterns, mechanisms and implications. *Aquatic Botany*, vol. 168, pp. 103325. ISSN 0304-3770. DOI 10.1016/J.AQUABOT.2020.103325.
8. ALI, Z., MOHAMMAD, A., RIAZ, Y., QURAIISHI, U. y MALIK, R., 2018. Treatment efficiency of a hybrid constructed wetland system for municipal wastewater and its suitability for crop irrigation. *International Journal of Phytoremediation*, vol. 20, no. 11, pp. 1152-1161. ISSN 15497879. DOI 10.1080/15226514.2018.1460311.
9. AL-KHAFAJI, M., AL-ANI, F. y IBRAHIM, A., 2018. Removal of Some Heavy Metals from Industrial Wastewater by *Lemna Minor*. *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 22, no. 4, pp. 1077-1082. ISSN 19763808. DOI 10.1007/S12205-017-1112-X.
10. ALQUWAIZANY, A.S., HUSSAIN, G. y AL-ZARAH, A.I., 2022. Changes in physico-chemical composition of wastewater by growing *Phragmites australis* and *Typha latifolia* in an arid environment in Saudi Arabia. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea], vol. 29, no. 26, pp. 39838-39846. [Consulta: 30 junio 2022]. ISSN 16147499. DOI 10.1007/S11356-021-18369-3/TABLES/4. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-18369-3>.
11. ALVARADO, M. y LEY, Y., 2020. Revisión Sistemática: Métodos Biológicos para la Eliminación de Contaminantes Emergentes en Aguas. . Lima:

12. AL-ZURFI, S. y AL-TABATABAI, H., 2020. Aquatic Plant (*Hydrilla Verticillata*) Roles In Bioaccumulation Of Heavy Metals. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, vol. 51, no. 2, pp. 574-584. ISSN 24100862. DOI 10.36103/IJAS.V51I2.984.
13. AMALIA, A., RAHARDJA, B. y TRIASTUTI, R., 2019. The Use of Water Lettuce (*Pistia stratiotes*) as Phytoremediator for Concentration and Deposits of Heavy Metal Lead (Pb) Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Gills. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 236, no. 1. ISSN 17551315. DOI 10.1088/1755-1315/236/1/012055.
14. ASHRAF, Sobia, NAVEED, M., AFZAL, M., SELEIMAN, M.F., AL-SUHAIBANI, N.A., ZAHIR, Z.A., MUSTAFA, A., REFAY, Y., ALHAMMAD, B.A., ASHRAF, Sana, ALOTAIBI, M. y ABDELLA, K.A., 2020. Unveiling the Potential of Novel Macrophytes for the Treatment of Tannery Effluent in Vertical Flow Pilot Constructed Wetlands. *Water* 2020, Vol. 12, Page 549 [en línea], vol. 12, no. 2, pp. 549. [Consulta: 30 junio 2022]. ISSN 2073-4441. DOI 10.3390/W12020549. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/2/549/htm>.
15. AZEH ENGWA, G., UDOKA FERDINAND, P., NWEKE NWALO, F. y UNACHUKWU, M.N., 2019. Mechanism and Health Effects of Heavy Metal Toxicity in Humans. [en línea]. S.l.: Disponible en: www.intechopen.com.
16. BASILE, A., SORBO, S., CONTE, B., CASTALDO COBIANCHI, R., TRINCHELLA, F., CAPASSO, C. y CARGINALE, V., 2012. Toxicity, accumulation, and removal of heavy metals by three aquatic macrophytes. *International Journal of Phytoremediation*, vol. 14, no. 4, pp. 374-387. ISSN 15226514. DOI 10.1080/15226514.2011.620653.
17. BHARTI, S. y KUMAR, T., 2012. Phytoremediation of the coalmine effluent. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 81, pp. 36-42. ISSN 01476513. DOI 10.1016/J.ECOENV.2012.04.009.
18. BIND, A., KUSHWAHA, A., DEVI, G., GOSWAMI, S., SEN, B. y PRAKASH, V., 2019. Biosorption valorization of floating and submerged macrophytes for heavy-metal removal in a multi-component system. *Applied Water Science*, vol. 9, no. 4. ISSN 2190-5487. DOI 10.1007/S13201-019-0976-Y.
19. BOKHARI, S., MAHMOOD, M. y AHMAD, M., 2019. Phytoextraction of Ni, Pb and, Cd by duckweeds. *International Journal of Phytoremediation*, vol. 21, no. 8, pp. 799-806. ISSN 15497879. DOI 10.1080/15226514.2019.1566882.
20. BORRALHO, T., GAGO, D. y ALMEIDA, A., 2020. Study on the application of floating beds of macrophytes (*vetiveria zizanioides* and *phragmites Australis*), in pilot scale, for the removal of heavy metals from agua forte stream (Alentejo-Portugal). *Journal of Ecological Engineering*, vol. 21, no. 3, pp. 153-163. ISSN 22998993. DOI 10.12911/22998993/118285.
21. CABRAL, M., INÁCIO, M., NEVES, O., ALMEIDA, A.A., PINTO, E., OLIVEIROS, B. y FERREIRA DA SILVA, E.A., 2020. Human Health Risk Assessment Due to Agricultural Activities and Crop Consumption in the Surroundings of an Industrial Area. *Exposure and Health*, vol. 12, no. 4, pp. 629-640. ISSN 24519685. DOI 10.1007/s12403-019-00323-x.
22. CALDAS, S.S., ARIAS, J.L.O., ROMBALDI, C., MELLO, L.L., CERQUEIRA, M.B.R., MARTINS, A.F. y PRIMEL, E.G., 2019. Occurrence of pesticides and PPCPs in surface and drinking water in southern Brazil: Data on 4-year monitoring. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, vol. 30, no. 1, pp. 71-80. ISSN 16784790. DOI 10.21577/0103-5053.20180154.

23. CHANDANSHIVE, V., RANE, N., TAMBOLI, A., GHOLAVE, A., KHANDARE, R. y GOVINDWAR, S., 2017. Co-plantation of aquatic macrophytes *Typha angustifolia* and *Paspalum scrobiculatum* for effective treatment of textile industry effluent. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 338, pp. 47-56. ISSN 18733336. DOI 10.1016/J.JHAZMAT.2017.05.021.
24. CHAUDHARY, E. y SHARMA, P., 2019. Chromium and cadmium removal from wastewater using duckweed - *Lemna gibba* L. and ultrastructural deformation due to metal toxicity. *International Journal of Phytoremediation*, vol. 21, no. 3, pp. 279-286. ISSN 15497879. DOI 10.1080/15226514.2018.1522614.
25. CHAUDHURI, D., MAJUMDER, A., MISRA, A.K. y BANDYOPADHYAY, K., 2014. Cadmium Removal by *Lemna minor* and *Spirodela polyrhiza*. *International Journal of Phytoremediation*, vol. 16, no. 11, pp. 1119-1132. ISSN 15226514. DOI 10.1080/15226514.2013.821446.
26. CHEN, Daoqian, ZHANG, H., WANG, Q., SHAO, M., LI, X., CHEN, Dongmei, ZENG, R. y SONG, Y., 2020. Intraspecific variations in cadmium tolerance and phytoaccumulation in giant duckweed (*Spirodela polyrhiza*). *Journal of Hazardous Materials*, vol. 395, pp. 122672. ISSN 0304-3894. DOI 10.1016/J.JHAZMAT.2020.122672.
27. CHEN, W.H., HOANG, A.T., NIŽETIĆ, S., PANDEY, A., CHENG, C.K., LUQUE, R., ONG, H.C., THOMAS, S. y NGUYEN, X.P., 2022. Biomass-derived biochar: From production to application in removing heavy metal-contaminated water. *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 160, pp. 704-733. ISSN 0957-5820. DOI 10.1016/J.PSEP.2022.02.061.
28. CIAPPONI, A., 2021. La declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para reportar revisiones sistemáticas. [en línea]. S.I.: Disponible en: <http://www.prisma-state>.
29. COSSIO, A. y LEÓN, C., 2021. Uso de bioadsorbentes en la remoción de cadmio en medio acuoso: Una revisión sistemática y metaanálisis, 2021. . S.I.:
30. COUTO, E., ASSEMANY, P.P., ASSIS CARNEIRO, G.C. y FERREIRA SOARES, D.C., 2022. The potential of algae and aquatic macrophytes in the pharmaceutical and personal care products (PPCPs) environmental removal: a review. *Chemosphere*, vol. 302, pp. 134808. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.134808.
31. CVETKOVIĆ, A., MAGUIÑA, J., SOTO, A., LAMA, J. y CORREA, L., 2021. ESTUDIOS TRANSVERSALES. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, vol. 21, no. 1, pp. 164-170. ISSN 18145469. DOI 10.25176/rfmh.v21i1.3069.
32. DE ARAUJO, L.G., VIEIRA, L.C., CANEVESI, R.L.S., DA SILVA, E.A., WATANABE, T., DE PADUA FERREIRA, R.V. y MARUMO, J.T., 2022. Biosorption of uranium from aqueous solutions by *Azolla* sp. and *Limnobium laevigatum*. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea], vol. 29, no. 30, pp. 45221-45229. [Consulta: 30 junio 2022]. ISSN 16147499. DOI 10.1007/S11356-022-19128-8/FIGURES/6. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-19128-8>.
33. DELGADILLO, O., CAMACHO, A., PÉREZ, F. y ANDRADE, M., [sin fecha]. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. . S.I.:
34. DZUL ESCAMILLA, M., 2013. *¿Qué es el diseño No-Experimental?* 2013. S.I.: s.n.
35. ECHEVARRIA PARDO, P.I., 2018. REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y OTROS CONTAMINANTES UTILIZANDO HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL: EFECTO DEL TIPO DE MEDIO DE SOPORTE Y LA PRESENCIA DE VEGETACIÓN. [en línea]. S.I.: [Consulta: 30 junio 2022]. Disponible en: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3028560>.

36. ECKERT, S., GRAJALES, H., PALACIO, J., JIMENEZ, L. y POHLON, E., 2020. Perspectives of using the water hyacinth (*Eichhornia heterosperma*) for self-purification in a Colombian water reservoir. *Fundamental and Applied Limnology*, vol. 193, no. 4, pp. 347-357. ISSN 23637110. DOI 10.1127/FAL/2020/1231.
37. EMILIANI, J., OYARCE, W., BERGARA, D., SALVATIERRA, L., NOVO, L. y PÉREZ, L., 2020. Variations in the phytoremediation efficiency of metal-polluted water with *Salvinia biloba*: Prospects and toxicological impacts. *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 6. ISSN 20734441. DOI 10.3390/W12061737.
38. ERGÖNÜL, M., NASSOUHI, D., ÇELİK, M. y ATASAĞUN, S., 2021. A comparison of the removal efficiencies of *Myriophyllum spicatum* L. for zinc oxide nanoparticles (ZnO NP) in different media: a microcosm approach. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, no. 7, pp. 8556-8568. ISSN 16147499. DOI 10.1007/S11356-020-11113-3.
39. ESPINOZA, C., 2010. *Metodología de investigación tecnológica*. S.I.: Universidad Nacional del Centro del Perú. ISBN 978-612-00-0222-3.
40. FARIAS, D.R., HURD, C.L., ERIKSEN, R.S. y MACLEOD, C.K., 2018. Macrophytes as bioindicators of heavy metal pollution in estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 128, pp. 175-184. ISSN 0025-326X. DOI 10.1016/J.MARPOLBUL.2018.01.023.
41. FAU, C., NABZO, S., FAU, C. y NABZO, S., 2020. Metaanálisis: bases conceptuales, análisis e interpretación estadística. *Revista mexicana de oftalmología* [en línea], vol. 94, no. 6, pp. 260-273. [Consulta: 3 julio 2022]. ISSN 2604-1227. DOI 10.24875/RMO.M20000134. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2604-12272020000600260&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
42. FERNÁNDEZ-LUQUEÑO, F., LÓPEZ-VALDEZ, F., GAMERO-MELO, P., LUNA-SUÁREZ, S., NADIA AGUILERA-GONZÁLEZ, E., MARTÍNEZ, A.I., DEL SOCORRO GARCÍA-GUILLERMO, M., HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, G., HERRERA-MENDOZA, R., ANTONIO ÁLVAREZ-GARZA, M. y RUBÍ PÉREZ-VELÁZQUEZ, I., 2013. Heavy metal pollution in drinking water-a global risk for human health: A review. [en línea], vol. 7, no. 7, pp. 567-584. ISSN 1996-0786. DOI 10.5897/AJEST12.197. Disponible en: <http://www.academicjournals.org/AJEST>.
43. FERNÁNDEZ SAN JUAN, M.R., ALBORNOZ, C.B., LARSEN, K. y NAJLE, R., 2018. Bioaccumulation of heavy metals in *Limnobium laevigatum* and *Ludwigia peploides*: their phytoremediation potential in water contaminated with heavy metals. *Environmental Earth Sciences* [en línea], vol. 77, no. 11, pp. 1-8. [Consulta: 2 julio 2022]. ISSN 18666299. DOI 10.1007/S12665-018-7566-4/TABLES/1. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-018-7566-4>.
44. FERREIRA GONZÁLEZ, I., URRÚTIA, G. y ALONSO-COELLO, P., 2011. Systematic reviews and meta-analysis: Scientific rationale and interpretation. *Revista Española de Cardiología*, vol. 64, no. 8, pp. 688-696. ISSN 15792242. DOI 10.1016/j.recesp.2011.03.029.
45. FIGUEIREDO, C.C. de, CHAGAS, J.K.M., DA SILVA, J. y PAZ-FERREIRO, J., 2019. Short-term effects of a sewage sludge biochar amendment on total and available heavy metal content of a tropical soil. *Geoderma*, vol. 344, pp. 31-39. ISSN 0016-7061. DOI 10.1016/J.GEODERMA.2019.01.052.

46. GABALLAH, M., ISMAIL, K., BELTAGY, A., ZEIN ELDIN, A. y ISMAIL, M., 2019. Wastewater Treatment Potential of Water Lettuce (*Pistia stratiotes*) with Modified Engineering Design. *Journal of Water Chemistry and Technology*, vol. 41, no. 3, pp. 197-205. ISSN 1063-455X. DOI 10.3103/S1063455X1903010X.
47. GABALLAH, M.S., ISMAIL, K., ABOAGYE, D., ISMAIL, M.M., SOBHI, M. y STEFANAKIS, A.I., 2021. Effect of design and operational parameters on nutrients and heavy metal removal in pilot floating treatment wetlands with *Eichhornia Crassipes* treating polluted lake water. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea], vol. 28, no. 20, pp. 25664-25678. [Consulta: 4 julio 2022]. ISSN 16147499. DOI 10.1007/S11356-021-12442-7/FIGURES/7. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-12442-7>.
48. GABRIEL, F., FERREIRA, A.D., QUEIROZ, H.M., VASCONCELOS, A.L.S., FERREIRA, T.O. y BERNARDINO, A.F., 2021. Long-term contamination of the Rio Doce estuary as a result of Brazil's largest environmental disaster. *Perspectives in Ecology and Conservation*, vol. 19, no. 4, pp. 417-428. ISSN 2530-0644. DOI 10.1016/J.PECON.2021.09.001.
49. GARCÍA, P., FERNÁNDEZ, R. y CIRUJANO, S., 2010. *Habitantes del agua: Macrófitos*. S.I.: Consejería de Medio Ambiente.
50. GENG, N., XIA, Y., LU, D., BAI, Y., ZHAO, Y., WANG, H., REN, L., XU, C., HUA, E., SUN, G. y CHEN, X., 2022. The bacterial community structure in epiphytic biofilm on submerged macrophyte *Potamogeton crispus* L. and its contribution to heavy metal accumulation in an urban industrial area in Hangzhou. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 430, pp. 128455. ISSN 0304-3894. DOI 10.1016/J.JHAZMAT.2022.128455.
51. GERARDO, B., CABRAL, M., NOGUEIRA, J., PINTO, P., ALMEIDA, A., PINTO, E., MARINHO, P., DINIZ, L. y MOREIRA, P., 2020. Associations between Trace Elements and Cognitive Decline_ An Exploratory 5-Year Follow-Up Study of an Elderly Cohort _ Enhanced Reader. ,
52. GOSWAMI, C., BANDYOPADHYAY, K. y MAJUMDER, A., 2019. Spirodela polyrhiza: A potential accumulator of pb from contaminated water. *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 21 LNCE, pp. 16-21. ISSN 23662565. DOI 10.1007/978-3-030-02707-0_3.
53. GOSWAMI, C., MAJUMDER, A., MISRA, A. y BANDYOPADHYAY, K., 2014. Arsenic Uptake by Lemna minor in Hydroponic System. *International Journal of Phytoremediation*, vol. 16, no. 12, pp. 1221-1227. ISSN 15497879. DOI 10.1080/15226514.2013.821452.
54. GUEVARA, G., VERDESOTO, A. y CASTRO, N., 2020. Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Recimundo* [en línea], vol. 4, pp. 163-173. [Consulta: 2 octubre 2022]. ISSN 2588-073X. DOI 10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173. Disponible en: <http://recimundo.com/index.php/es/article/view/860>.
55. GUEVARA, J., 2021. Revisión sistemática sobre la fitorremediación de cadmio en aguas residuales mediante *Azolla* (*Azolla filiculoides*) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). . Tarapoto:
56. GUZMAN, M., ARRIBASPLATA, M., OBISPO, M. y THAIS, S., 2022. EVALUATION OF HEAVY METAL REMOVAL FROM CONTAMINATED EFFLUENTS USING PHRAGMITES AUSTRALIS (CAV.) TRIN. EX STEUD. AND SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS (C.A. MEY.). *SME Annual Conference and Expo 2022*, pp. 224-226.

57. HAFEZ, S., HASSAN, A., EL-SHAHAT, R. y KASSEM, M., 2021. Accumulation of Iron, Zinc and Lead by *Azolla pinnata* and *Lemna minor* and activity in contaminated water. *Egyptian Journal of Chemistry*, vol. 64, no. 9, pp. 5017-5030. ISSN 23570245. DOI 10.21608/EJCHEM.2021.50016.3036.
58. HANAFIAH, M., HASAN, R., NIZAM, N. y AZIZ, N., 2021. Water quality of the Klang river, Selangor, Malaysia and heavy metal removal using phytoremediation. *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 19, no. 5, pp. 3655-3677. ISSN 17850037. DOI 10.15666/AEER/1905_36553677.
59. HASANI, Q., PRATIWI, N., EFFENDI, H., WARDIATNO, Y., GUK, J., MAHARANI, H. y RAHMAN, M., 2021. *Azolla Pinnata* as Phytoremediation Agent of Iron (Fe) in Ex Sand Mining Waters. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, vol. 20, no. 1, pp. 1-12. ISSN 16851994. DOI 10.12982/CMUJNS.2021.017.
60. HASANI, Q., PRATIWI, N., WARDIATNO, Y., EFFENDI, H., MARTIN, A.N., EFENDI, E., PIRDAUS, P. y WAGIRAN, 2021. Phytoremediation of iron in ex-sand mining waters by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Biodiversitas*, vol. 22, no. 2, pp. 838-845. ISSN 20854722. DOI 10.13057/BIODIV/D220238.
61. HASAN, M.N., ALTAF, M.M., KHAN, N.A., KHAN, A.H., KHAN, A.A., AHMED, S., KUMAR, P.S., NAUSHAD, M., RAJAPAKSHA, A.U., IQBAL, J., TIRTH, V. y ISLAM, S., 2021. Recent technologies for nutrient removal and recovery from wastewaters: A review. *Chemosphere*, vol. 277, pp. 130328. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.130328.
62. HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P., 2014. *Metodología de la investigación* [en línea]. S.l.: Mac Graw Hill. [Consulta: 13 julio 2022]. ISBN 978-1-4562-2396-0. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>.
63. HERNÁNDEZ, R. y MENDOZA, C., 2019. *Metodología de la investigación*. S.l.: Mc Graw Hill.
64. HILT, S., VERMAAT, J.E. y VAN DE WEYER, K., 2022. Macrophytes. *Encyclopedia of Inland Waters* [en línea], pp. 14-25. [Consulta: 1 julio 2022]. DOI 10.1016/B978-0-12-819166-8.00043-8. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128191668000438>.
65. HUARACA, A. y LUJAN, C., 2020. Revisión Sistemática: Fitorremediación empleando plantas hiperacumuladoras acuáticas para la eliminación de metales pesados en aguas contaminadas. . Lima:
66. HUYNH, A., CHEN, Y. y TRAN, B., 2021. A small-scale study on removal of heavy metals from contaminated water using water hyacinth. *Processes*, vol. 9, no. 10. ISSN 22279717. DOI 10.3390/PR9101802.
67. IHA, D. y BIANCHINI, 2015. Phytoremediation of Cd, Ni, Pb and Zn by *Salvinia minima*. *International Journal of Phytoremediation*, vol. 17, no. 10, pp. 929-935. ISSN 15497879. DOI 10.1080/15226514.2014.1003793.
68. INCIO, P. y QUINTEROS, B., 2020. Revisión sistemática y meta-análisis sobre el tratamiento de las aguas residuales domésticas con humedales artificiales de macrófitas emergentes. . Lima:
69. INEI, 2021. Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2021. . S.l.:
70. ISLAM, S., UENO, Y., SIKDER, T. y KURASAKI, M., 2013. Phytofiltration of Arsenic and Cadmium From the Water Environment Using *Micranthemum Umbrosum* (J.F. Gmel)

- S.F. Blake As A Hyperaccumulator. *International Journal of Phytoremediation*, vol. 15, no. 10, pp. 1010-1021. ISSN 15226514. DOI 10.1080/15226514.2012.751356.
71. ISMAEL, M., MOKHTAR, A., ADIL, H., LI, X. y LÜ, X., 2022. Appraisal of heavy metals exposure risks via water pathway by using a combination pollution indices approaches, and the associated potential health hazards on population, Red Sea State, Sudan. *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 127. ISSN 14747065. DOI 10.1016/j.pce.2022.103153.
 72. ITO, Y. y BARFOD, A., 2014. An updated checklist of aquatic plants of Myanmar and Thailand. *Biodiversity Data Journal* [en línea], vol. 2, pp. e1019. [Consulta: 1 julio 2022]. ISSN 1314-2828. DOI 10.3897/BDJ.2.e1019. Disponible en: <http://bdj.pensoft.net/articles.php?id=1019>.
 73. JARA-PEÑA, E., GÓMEZ C, J., MONTOYA T, H., SÁNCHEZ, T., TAPIA, L., CANO, N. y DEXTRE, A., 2017. Acumulación de metales pesados en *Calamagrostis rigida* (Kunth) Trin. ex Steud. (Poaceae) y *Myriophyllum quitense* Kunth (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú. *Arnaldoa* [en línea], vol. 24, no. 2, pp. 583-598. [Consulta: 2 junio 2022]. ISSN 18158242. DOI 10.22497/arnaldoa.242.24210. Disponible en: <http://journal.upao.edu.pe/Arnaldoa/article/view/788>.
 74. JIANG, B., XING, Y., ZHANG, B., CAI, R., ZHANG, D. y SUN, G., 2018. Effective phytoremediation of low-level heavy metals by native macrophytes in a vanadium mining area, China. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, no. 31, pp. 31272-31282. ISSN 16147499. DOI 10.1007/S11356-018-3069-9.
 75. JUÁREZ, V. y CORNEJO, Z., 2021. Revisión Sistemática: Tecnologías Biológicas para el Tratamiento de Aguas Contaminadas por Cadmio (II) y Plomo (II). . Lima:
 76. KERLINGER, F. y HOWARD, L., 2002. *Investigacion del comportamiento: Técnicas y Metodología*. 2002. S.l.: s.n.
 77. KHALID, K. y GANJO, D., 2021a. Native aquatic plants for phytoremediation of metals in outdoor experiments: implications of metal accumulation mechanisms, Soran City-Erbil, Iraq. *International Journal of Phytoremediation*, vol. 23, no. 4, pp. 374-386. ISSN 15497879. DOI 10.1080/15226514.2020.1815645.
 78. KHALID, K. y GANJO, D., 2021b. Removal of Pb and Zn in municipal wastewater by a consortium of four aquatic plants in vertical subsurface flow constructed wetland (VSF-CW). *International Journal of Environmental Studies*, vol. 78, no. 2, pp. 341-357. ISSN 10290400. DOI 10.1080/00207233.2020.1811568.
 79. KUMAR, A., SUBRAHMANYAM, G., MONDAL, R., CABRAL-PINTO, M.M.S., SHABNAM, A.A., JIGYASU, D.K., MALYAN, S.K., FAGODIYA, R.K., KHAN, S.A. y YU, Z.G., 2021. Bio-remediation approaches for alleviation of cadmium contamination in natural resources. *Chemosphere*, vol. 268, pp. 128855. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.128855.
 80. KUMAR, S., THAKUR, N., SINGH, A.K., GUDADE, B.A., GHIMIRE, D. y DAS, S., 2022. Aquatic macrophytes for environmental pollution control. *Phytoremediation Technology for the Removal of Heavy Metals and Other Contaminants from Soil and Water*, pp. 291-308. DOI 10.1016/B978-0-323-85763-5.00023-4.
 81. KUMAR, V., PARIHAR, R.D., SHARMA, A., BAKSHI, P., SINGH SIDHU, G.P., BALI, A.S., KARAOUZAS, I., BHARDWAJ, R., THUKRAL, A.K., GYASI-AGYEI, Y. y RODRIGO-COMINO, J., 2019. Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate

- statistical analyses. *Chemosphere*, vol. 236, pp. 124364. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2019.124364.
82. LIN, H., LIU, J., DONG, Y., REN, K. y ZHANG, Y., 2018. Absorption characteristics of compound heavy metals vanadium, chromium, and cadmium in water by emergent macrophytes and its combinations. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, no. 18, pp. 17820-17829. ISSN 16147499. DOI 10.1007/S11356-018-1785-9.
 83. LI, Q., ZHAN, J., CHEN, B., MENG, X. y PAN, X., 2016. Removal of Pb, Zn, Cu, and Cd by Two Types of Eichhornia crassipes-Web of Science Core Collection. [en línea]. [Consulta: 30 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000369974800002>.
 84. MAGRIS, R.A., MARTA-ALMEIDA, M., MONTEIRO, J.A.F. y BAN, N.C., 2019. A modelling approach to assess the impact of land mining on marine biodiversity: Assessment in coastal catchments experiencing catastrophic events (SW Brazil). *Science of The Total Environment*, vol. 659, pp. 828-840. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/J.SCITOTENV.2018.12.238.
 85. MAINE, M., HADAD, H., SÁNCHEZ, G., MUFARREGE, M., DI LUCA, G., CAFFARATTI, S. y PEDRO, M., 2013. Sustainability of a constructed wetland faced with a depredation event. *Journal of Environmental Management*, vol. 128, pp. 1-6. ISSN 03014797. DOI 10.1016/J.JENVMAN.2013.04.054.
 86. MAMANI, W., SUÁREZ, N. y GARCÍA, C., 2003. *Contaminación del agua e impactos por actividad hidrocarburífera* [en línea]. La Paz: Fortaleza. [Consulta: 7 noviembre 2022]. ISBN 9990568324. Disponible en: https://books.google.com.pe/books?id=1-QU0Xw9VXwC&printsec=copyright&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.
 87. MANI, D. y KUMAR, C., 2014. Biotechnological advances in bioremediation of heavy metals contaminated ecosystems: an overview with special reference to phytoremediation. , DOI 10.1007/s13762-013-0299-8.
 88. MARAJAN, C., NEGING, M., AKBAR, N.A., KENNEDY, F. y JOHNNY, N.H., 2018. Phytoremedial potential of aquatic macrophytes for the removal of copper in contaminated waters. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 429, no. 1. ISSN 1757899X. DOI 10.1088/1757-899X/429/1/012032.
 89. MARRUGO-NEGRETE, J., ENAMORADO-MONTES, G., DURANGO-HERNÁNDEZ, J., PINEDO-HERNÁNDEZ, J. y DÍEZ, S., 2017. Removal of mercury from gold mine effluents using *Limnocharis flava* in constructed wetlands. *Chemosphere*, vol. 167, pp. 188-192. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2016.09.130.
 90. MAZUMDAR, K. y DAS, S., 2021. Multi-metal effluent removal by *Centella asiatica* (L) Urban: Prospects in phytoremediation. *Environmental Technology & Innovation*, vol. 22, pp. 101511. ISSN 2352-1864. DOI 10.1016/J.ETI.2021.101511.
 91. MISHRA, S., MOHANTY, M., PRADHAN, C., PATRA, H.K., DAS, R. y SAHOO, S., 2013. Physico-chemical assessment of paper mill effluent and its heavy metal remediation using aquatic macrophytes - A case study at JK Paper mill, Rayagada, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 185, no. 5, pp. 4347-4359. ISSN 01676369. DOI 10.1007/S10661-012-2873-9.
 92. MORENO, B., MUÑOZ, M., CUELLAR, J., DOMANCIC, S. y VILLANUEVA, J., 2018. Revisiones Sistemáticas: definición y nociones básicas. *Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral* [en línea], vol. 11, no. 3, pp. 184-186. [Consulta: 7 noviembre 2022]. ISSN 0719-0107. DOI 10.4067/S0719-01072018000300184.

- Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-01072018000300184&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
93. MOUSALLI, G., 2015. Métodos y Diseños de Investigación Cuantitativa. [en línea], DOI 10.13140/RG.2.1.2633.9446. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/303895876>.
 94. MURO, D., MUSSALI, P., VALENCIA, L., FLORES, K. y TOVAR, E., 2020. Morphological, physiological, and genotoxic effects of heavy metal bioaccumulation in *Prosopis laevigata* reveal its potential for phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 27, no. 32, pp. 40187-40204. ISSN 16147499. DOI 10.1007/S11356-020-10026-5.
 95. MUTHUKUMARAN, M., 2022. Aquatic plant remediation to control pollution. *Biological Approaches to Controlling Pollutants*, pp. 365-397. DOI 10.1016/B978-0-12-824316-9.00004-5.
 96. NABI, M., 2021. Heavy metals accumulation in aquatic macrophytes from an urban lake in Kashmir Himalaya, India. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, vol. 16, pp. 100509. ISSN 2215-1532. DOI 10.1016/J.ENMM.2021.100509.
 97. OLADOYE, P.O., OLOWE, O.M. y ASEMOLAYE, M.D., 2022. Phytoremediation technology and food security impacts of heavy metal contaminated soils: A review of literature. *Chemosphere*, vol. 288, pp. 132555. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.132555.
 98. OTZEN, C., 2017. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio Sampling Techniques on a Population Study. *Int. J. Morphol.* S.I.:
 99. PABÓN, Sergio, BENITEZ, R., SARRIA, rosa y GALLO, A., 2020. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Scielo* [en línea], vol. 14, no. 27, pp. 1-10. [Consulta: 28 octubre 2022]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v14n27/1909-8367-ecei-14-27-9.pdf>.
 100. PABÓN, S. E., BENÍTEZ, R., SARRIA, R.A., GALLO, J.A., PABÓN, S.E., BENÍTEZ, R., SARRIA, R.A. y GALLO, J.A., 2020. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería* [en línea], vol. 14, no. 27, pp. 9-18. [Consulta: 3 julio 2022]. ISSN 1909-8367. DOI 10.31908/19098367.0001. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672020000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=es.
 101. PALOMINO, Yasmin., VILCHEZ, Lesli., MATENCIOS, Carlos., CORNEJO, José., CAMARGO, Steve. y CANALES, Verónica., 2022. Systematic Review of the Efficiency of Aquatic Plants in the Wastewater Treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. S.I.: IOP Publishing Ltd, DOI 10.1088/1755-1315/1009/1/012004.
 102. PARNIAN, A., CHOROM, M., JAAFARZADEH, N. y DINARVAND, M., 2016a. Use of two aquatic macrophytes for the removal of heavy metals from synthetic medium. *Ecohydrology and Hydrobiology*, vol. 16, no. 3, pp. 194-200. ISSN 20803397. DOI 10.1016/J.ECOHYD.2016.07.001.
 103. PARNIAN, A., CHOROM, M., JAAFARZADEH, N. y DINARVAND, M., 2016b. Use of two aquatic macrophytes for the removal of heavy metals from synthetic medium. *Ecohydrology & Hydrobiology*, vol. 16, no. 3, pp. 194-200. ISSN 1642-3593. DOI 10.1016/J.ECOHYD.2016.07.001.

104. PEÑA-GUZMÁN, C., ULLOA-SÁNCHEZ, S., MORA, K., HELENA-BUSTOS, R., LOPEZ-BARRERA, E., ALVAREZ, J. y RODRIGUEZ-PINZÓN, M., 2019. Emerging pollutants in the urban water cycle in Latin America: A review of the current literature. *Journal of Environmental Management*, vol. 237, pp. 408-423. ISSN 0301-4797. DOI 10.1016/J.JENVMAN.2019.02.100.
105. QUEIROZ, H.M., NÓBREGA, G.N., FERREIRA, T.O., ALMEIDA, L.S., ROMERO, T.B., SANTAELLA, S.T., BERNARDINO, A.F. y OTERO, X.L., 2018. The Samarco mine tailing disaster: A possible time-bomb for heavy metals contamination? *Science of The Total Environment*, vol. 637-638, pp. 498-506. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/J.SCITOTENV.2018.04.370.
106. QUISPE BALDEÓN, L., ARIAS CHAVEZ, J.B., MARTINEZ SUAREZ, C.F. y CRUZ HUARANGA, M., 2017. Eficiencia de la especie macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adopción al medio en una laguna experimental. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, vol. 3, no. 1. ISSN 2313-7991. DOI 10.17162/rictd.v1i1.899.
107. RAI, P., 2018. Heavy metal phyto-technologies from Ramsar wetland plants: green approach. *Chemistry and Ecology*, vol. 34, no. 8, pp. 786-796. ISSN 10290370. DOI 10.1080/02757540.2018.1501476.
108. RAI, P., 2019. Heavy metals/metalloids remediation from wastewater using free floating macrophytes of a natural wetland. *Environmental Technology and Innovation*, vol. 15. ISSN 23521864. DOI 10.1016/J.ETI.2019.100393.
109. RIOS, R., 2017. *Metodología para la investigación y redacción* [en línea]. 1. España: 2017. ISBN 978-84-17211-23-3. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros/libro.php?id=1662>.
110. RIZK, R., JUZSAKOVA, T., BEN ALI, M., RAWASH, M.A., DOMOKOS, E., HEDFI, A., ALMALKI, M., BOUFAHJA, F., SHAFIK, H.M. y RÉDEY, Á., 2022. Comprehensive environmental assessment of heavy metal contamination of surface water, sediments and Nile Tilapia in Lake Nasser, Egypt. *Journal of King Saud University - Science*, vol. 34, no. 1, pp. 101748. ISSN 1018-3647. DOI 10.1016/J.JKSUS.2021.101748.
111. RIZK, R., JUZSAKOVA, T., CRETESCU, I., RAWASH, M., SEBESTYÉN, V., LE PHUOC, C., KOVÁCS, Z., DOMOKOS, E., RÉDEY, Á. y SHAFIK, H., 2020. Environmental assessment of physical-chemical features of Lake Nasser, Egypt. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea], vol. 27, no. 16, pp. 20136-20148. [Consulta: 30 junio 2022]. ISSN 16147499. DOI 10.1007/S11356-020-08366-3/FIGURES/11. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-08366-3>.
112. ROMERO, A., CHAVEZ, A., BALDERAS, P., ROA, G., GONZALES, N. y BALDERAS, A., 2017. Tolerance and hyperaccumulation of a mixture of heavy metals (Cu, Pb, Hg, and Zn) by four aquatic macrophytes. *International Journal of Phytoremediation*, vol. 19, no. 3, pp. 239-245. ISSN 15497879. DOI 10.1080/15226514.2016.1207610.
113. ROSENDO, J.C.M., DA PAZ, G.M. y ROSENDO, A., 2022. Constructed wetlands applied on domestic wastewater for decentralized systems: concepts, processes, modalities, combinations and enhancements; a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology 2022 21:2* [en línea], vol. 21, no. 2, pp. 371-397. [Consulta:

- 29 junio 2022]. ISSN 1572-9826. DOI 10.1007/S11157-022-09616-1. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-022-09616-1>.
114. RUS ARIAS, E., 2021. Investigación descriptiva. *Economipedia.com* [en línea]. [Consulta: 7 junio 2022]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/investigacion-descriptiva.html#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20descriptiva%20analiza%20las,medidas%20de%20posici%C3%B3n%20o%20dispersi%C3%B3n>.
 115. RUZA, J., 2012. *Catálogo y claves de identificación de organismos del grupo macrófitos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico*. Primera. S.l.: Ministerio de Agricultura, alimentos y medio ambiente.
 116. SÁ, F., LONGHINI, C.M., COSTA, E.S., DA SILVA, C.A., CAGNIN, R.C., GOMES, L.E. de O., LIMA, A.T., BERNARDINO, A.F. y NETO, R.R., 2021. Time-sequence development of metal(loid)s following the 2015 dam failure in the Doce river estuary, Brazil. *Science of The Total Environment*, vol. 769, pp. 144532. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/J.SCITOTENV.2020.144532.
 117. SAHA, P., SHINDE, O. y SARKAR, S., 2017. Phytoremediation of industrial mines wastewater using water hyacinth. *International Journal of Phytoremediation*, vol. 19, no. 1, pp. 87-96. ISSN 15497879. DOI 10.1080/15226514.2016.1216078.
 118. SARALEGUI, Andrea B., WILLSON, V., CARACCILO, N., PIOL, M.N. y BOEYKENS, S.P., 2021. Macrophyte biomass productivity for heavy metal adsorption. *Journal of environmental management* [en línea], vol. 289. [Consulta: 3 julio 2022]. ISSN 1095-8630. DOI 10.1016/J.JENVMAN.2021.112398. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33819648/>.
 119. SARALEGUI, Andrea, WILLSON, V., CARACCILO, N., PIOL, N. y BOEYKENS, S., 2021. Macrophyte biomass productivity for heavy metal adsorption. *Journal of Environmental Management*, vol. 289. ISSN 10958630. DOI 10.1016/J.JENVMAN.2021.112398.
 120. SARASWAT, S. y RAI, P., 2018. Aquatic macrophytes mediated remediation of toxic metals from moderately contaminated industrial effluent. *International Journal of Phytoremediation*, vol. 20, no. 9, pp. 876-884. ISSN 15497879. DOI 10.1080/15226514.2018.1438359.
 121. SCHÜCK, M. y GREGER, M., 2020. Screening the capacity of 34 wetland plant species to remove heavy metals from water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, no. 13, pp. 1-12. ISSN 16604601. DOI 10.3390/IJERPH17134623.
 122. SINGH, J., KUMAR, V., KUMAR, Pankaj, KUMAR, Piyush, YADAV, K., CABRAL, M., KAMYAB, H. y CHELLIAPAN, S., 2021. An experimental investigation on phytoremediation performance of water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) for pollutants removal from paper mill effluent. *Water Environment Research*, vol. 93, no. 9, pp. 1543-1553. ISSN 15547531. DOI 10.1002/WER.1536.
 123. SINGH, J., KUMAR, V., KUMAR, P. y KUMAR, P., 2022. Kinetics and prediction modeling of heavy metal phytoremediation from glass industry effluent by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *International Journal of Environmental Science and Technology* [en línea], vol. 19, no. 6, pp. 5481-5492. [Consulta: 29 junio 2022]. ISSN 17352630. DOI 10.1007/S13762-021-03433-9/FIGURES/4. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-021-03433-9>.

124. SMOLYAKOV, B., 2012. Uptake of Zn, Cu, Pb, and Cd by water hyacinth in the initial stage of water system remediation. *Applied Geochemistry*, vol. 27, no. 6, pp. 1214-1219. ISSN 08832927. DOI 10.1016/J.APGEOCHEM.2012.02.027.
125. SRICOTH, T., MEEINKUIRT, W., PICHTEL, J., TAEPRAYOON, P. y SAENGWILAI, P., 2018. Synergistic phytoremediation of wastewater by two aquatic plants (*Typha angustifolia* and *Eichhornia crassipes*) and potential as biomass fuel. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, no. 6, pp. 5344-5358. ISSN 16147499. DOI 10.1007/S11356-017-0813-5.
126. SWE, T., LOMBARDO, P., BALLOT, A., THRANE, J.E., SAMPLE, J., ERIKSEN, T.E. y MJELDE, M., 2021. The importance of aquatic macrophytes in a eutrophic tropical shallow lake. *Limnologica*, vol. 90, pp. 125910. ISSN 0075-9511. DOI 10.1016/J.LIMNO.2021.125910.
127. THANI, S., GHAZI, R., WAHAB, I., AMIN, M., HAMZAH, Z. y YUSOFF, N., 2020. Optimization of phytoremediation of nickel by *alocasia puber* using response surface methodology. *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 10. ISSN 20734441. DOI 10.3390/W12102707.
128. TUNÇSIPER, B., 2019. Combined natural wastewater treatment systems for removal of organic matter and phosphorus from polluted streams. *Journal of Cleaner Production*, vol. 228, pp. 1368-1376. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/J.JCLEPRO.2019.04.211.
129. WANG, X., WANG, L., FAN, J. y MA, F., 2022. Asymmetric interaction and concurrent remediation of copper and atrazine by *Acorus tatarinowii* in an aquatic system. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 435, pp. 128888. ISSN 0304-3894. DOI 10.1016/J.JHAZMAT.2022.128888.
130. WANG, X., ZHANG, B., WU, D., HU, L., HUANG, T., GAO, G., HUANG, S. y WU, S., 2021. Chemical forms governing Cd tolerance and detoxification in duckweed (*Landoltia punctata*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 207, pp. 111553. ISSN 0147-6513. DOI 10.1016/J.ECOENV.2020.111553.
131. XINWEI, H., YONGDONG, W., NAN, H., YINHUA, S. y DEXIN, D., 2018. Bioremediation of effluent from a uranium mill tailings repository in South China by *Azolla–Anabaena*. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 317, no. 2, pp. 739-746. ISSN 15882780. DOI 10.1007/S10967-018-5934-X.
132. YAKOVLEV, E., DRUZHININA, A., DRUZHININ, S., ZYKOV, S. y IVANCHENKO, N., 2021. Assessment of physical and chemical properties, health risk of trace metals and quality indices of surface waters of the rivers and lakes of the Kola Peninsula (Murmansk Region, North–West Russia). *Environmental Geochemistry and Health* [en línea], vol. 44, no. 8, pp. 2465-2494. [Consulta: 30 junio 2022]. ISSN 15732983. DOI 10.1007/S10653-021-01027-5/FIGURES/7. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10653-021-01027-5>.
133. YILDIZ TÖRE, G. y ÖZKOÇ, Ö.B., 2022. Recent developments in aquatic macrophytes for environmental pollution control: A case study on heavy metal removal from lake water and agricultural return wastewater with the use of duckweed (*Lemnaceae*). *Phytoremediation Technology for the Removal of Heavy Metals and Other Contaminants from Soil and Water*, pp. 75-127. DOI 10.1016/B978-0-323-85763-5.00005-2.
134. YU, S., PANG, H., HUANG, S., TANG, H., WANG, S., QIU, M., CHEN, Z., YANG, H., SONG, G., FU, D., HU, B. y WANG, X., 2021. Recent advances in metal-organic

framework membranes for water treatment: A review. *Science of The Total Environment*, vol. 800, pp. 149662. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/J.SCITOTENV.2021.149662.

135. ZHOU, Q., YANG, N., LI, Y., REN, B., DING, X., BIAN, H. y YAO, X., 2020a. Total concentrations and sources of heavy metal pollution in global river and lake water bodies from 1972 to 2017. *Global Ecology and Conservation*, vol. 22. ISSN 23519894. DOI 10.1016/j.gecco.2020.e00925.
136. ZHOU, Q., YANG, N., LI, Y., REN, B., DING, X., BIAN, H. y YAO, X., 2020b. Total concentrations and sources of heavy metal pollution in global river and lake water bodies from 1972 to 2017. *Global Ecology and Conservation*, vol. 22. ISSN 23519894. DOI 10.1016/j.gecco.2020.e00925.
137. ZUO, Q., CHEN, H., DOU, M., ZHANG, Y. y LI, D., 2015. Experimental analysis of the impact of sluice regulation on water quality in the highly polluted Huai River Basin, China. *Environmental Monitoring and Assessment* [en línea], vol. 187, no. 7, pp. 1-15. [Consulta: 30 junio 2022]. ISSN 15732959. DOI 10.1007/S10661-015-4642-Z/FIGURES/8. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-015-4642-z>.

ANEXOS

ANEXO 1

Matriz de consistencia

Revisión sistemática: Efectividad de limpieza con plantas macrófitos en aguas superficiales contaminadas con metales pesados en el periodo 2012 - 2022.

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables o Indicadores		
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable 1: Agua superficial contaminada		
<p>¿Los macrófitos acuáticos son eficientes para la remoción de metales pesados de aguas superficiales contaminados en base a una revisión sistemática de publicaciones científicas del periodo 2010-2022?</p>	<p>Evaluar la efectividad del uso de macrófitos acuáticos para la remoción de metales pesados de aguas superficiales contaminados en base a una revisión sistemática de publicaciones científicas del periodo 2012-2022.</p>	<p>La aplicación de macrófitos acuáticos es efectivo para la remoción de metales pesados en base a una revisión sistemática de publicaciones científicas del periodo 2012-2022.</p>	<p>Dimensiones</p> <p>Metales pesados</p> <p>Parámetros químicos (pH)</p>	<p>Indicador</p> <p>Mg/L</p> <p>pH</p>	<p>Escala de valores</p> <p>Razón</p>
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Variable 2: Plantas macrófitos		
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son los macrófitos más empleados como removedores de metales pesados en aguas superficiales contaminados, 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar los macrófitos más empleados en las investigaciones como removedores de metales pesados en aguas superficiales contaminados 	<ul style="list-style-type: none"> • Las tecnologías con macrófitos son sustentables para remover metales pesados de ambientes acuáticos. 	<p>Dimensiones</p> <p>Macrófitos</p> <p>Bioacumulación</p>	<p>Indicador</p> <p>Especie</p> <p>Factor de Bioacumulación (mg/Kg)</p>	<p>Escala de valores</p> <p>Razón</p>

<p>según la base de datos obtenidos?</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las técnicas más empleadas para la remoción de metales pesados de aguas superficiales contaminadas con metales pesados? • ¿Cuál es el porcentaje de remoción de los metales pesados aplicando macrófitos acuáticos en el tratamiento de aguas superficiales? 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar las técnicas más empleadas para la remoción de metales pesados de aguas superficiales contaminadas • Determinar el porcentaje de remoción de los metales pesados aplicando macrófitos acuáticos en el tratamiento de aguas superficiales. 	<p>Temperatura</p>	<p>Factor de traslocación</p>
<p>Diseño de Investigación:</p>	<p>Población y Muestra</p>	<p>Técnicas e instrumentos</p>	<p>Método de análisis de datos</p>
<p>Enfoque: Cuantitativo</p>	<p>Población: 415 artículos</p>	<p>Técnicas: Análisis documental</p>	<p>Descriptiva: SPSS, GraphPad, Excel</p>
<p>Tipo: Aplicada</p>	<p>Muestra: 54 artículos originales</p>	<p>Instrumentos: Ficha de registro</p>	<p>Inferencia: SPSS</p>
<p>Diseño: No experimental- transversal - descriptivo</p>	<p>Muestreo: No probabilístico</p>		

ANEXO 2

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Escala
Agua superficial contaminada	Es la alteración de las características de un cuerpo de agua, cuyos resultados suelen ser desfavorables para la vida humana, vegetación, fauna y flora. Hay muchas causas de contaminación del agua que conducen a la presencia de sustancias tóxicas pesadas como el arsénico, el cobre y el plomo incluso en el agua potable (Mamani, Suárez y García 2003).	Se recopiló los datos mediante una ficha de observación en el cual se tuvo en consideración a los 54 artículos seleccionados, donde las dimensiones fueron: Metales pesados, parámetros químicos (pH).	Metales pesados Parámetros químicos (pH)	Mg/L pH	Razón
Plantas macrófitos	El término macrófito describe toda la vegetación acuática macroscópica. Este término se refiere a las plantas vasculares con flores, así como algunas algas, hepáticas acuáticas, musgos y helechos (García, Fernández y Cirujano 2010).	Para determinar la eficiencia de estos macrófitos es indispensable tener en cuenta el tipo de macrófitos, bioacumulación la temperatura ambiental.	Macrófitos Bioacumulación Temperatura	Especies Factor de Bioacumulación Factor de traslocación Grados Celsius (C°)	Razón

ANEXO 3 Validez de Instrumentos

FICHA DE REGISTRO

Ficha 1					Caracterización de los artículos que se incluyeron en la investigación															
Título					Revisión sistemática: Efectividad de limpieza con plantas macrófitos en aguas superficiales contaminadas con metales pesados en el periodo 2012 - 2022.															
Línea de Investigación					Calidad y Gestión de los recursos naturales															
Responsable					Caurino Garcia Jairo Jaime															
Asesor					Dr. Benites Alfaro Elmer Gonzales															
N°	Autor (es)	Título	Lugar	Macrofito usado	Tipo de análisis estadístico	Tiempo del estudio (días)	Resultados	Conclusiones	Técnica	Tipo de agua	Metales	Concentración Inicial promedio (mg/L)	Concentración final promedio (mg/L)	pH	Temperatura	Repeticiones	Tratamiento	Factor de Bioacumulación (mg/Kg)	Factor de traslocación	Eficiencia


 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450


 Juan Julio Ordoñez Galarza
 DNI: 08447308


 Danny Uzarzaga Aguirreaga
 Ingeniero Químico
 Reg. CIP N° 25553

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Acosta Suasnabar, Eusterio Horacio**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente UCV Lima Norte.**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería Química Ambiental.**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Caracterización de las investigaciones incluidos en la revisión.**
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: **Caurino Garcia Jairo Jaime**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

85%

Lima, 24 de junio de 2022


 Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar
 CIP N° 25450

I. DATOS GENERALES

1.6. Apellidos y Nombres: Dr. Ing. ORDOÑEZ GALVEZ, Juan Julio.

1.7. Cargo e institución donde labora: Docente de la Universidad Cesar Vallejo

1.8. Especialidad o línea de investigación: Hidrólogo Ambiental.

1.9. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Caracterización de las aguas contaminadas por metales pesados.

1.10. Autor(A) de Instrumento: Caurino Garcia Jairo Jaime

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, Hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación

El Instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

90%

Lima, 24 de junio 2022

Juan Julio Ordoñez Galvez

DNI: 08447308

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Ing. LIZARZABURU AGUINAGA, Danny Alonso.**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente Asociado de la Universidad Cesar Vallejo.**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Gestión Ambiental.**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Caracterización de las investigaciones incluidos en la revisión.**
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: **Caurino Garcia Jairo Jaime**

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

X



IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

85%

Lima, 28 de junio de 2022

ANEXO 4 Gráficos de Normalidad

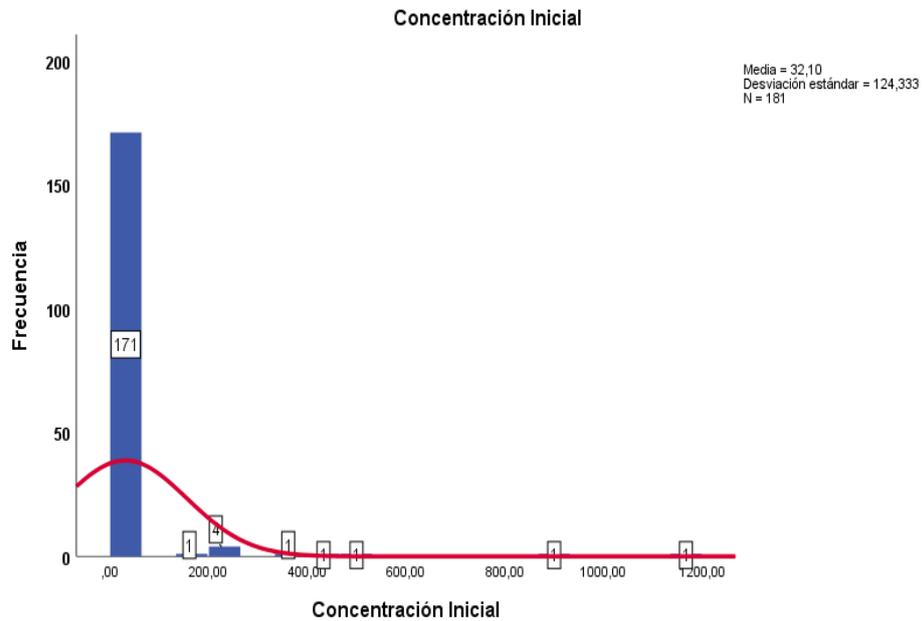


Figura 10. Gráfico de normalidad de la concentración inicial

En la **Figura 10** se muestra gráficamente como los datos de concentración inicial que fueron recopilados de los 54 artículos considerados como relevantes; no provienen de una distribución normal, debido a que en algunos de estos artículos consideraron en sus soluciones acuosas concentraciones mayores a 200 mg/L del metal pesado y en otras investigaciones analizador agua residuales proveniente de industrias o efluentes domésticos donde las concentraciones de metales pesados fueron bajas que oscilaban de entre 0,03 hasta 50 mg/L.

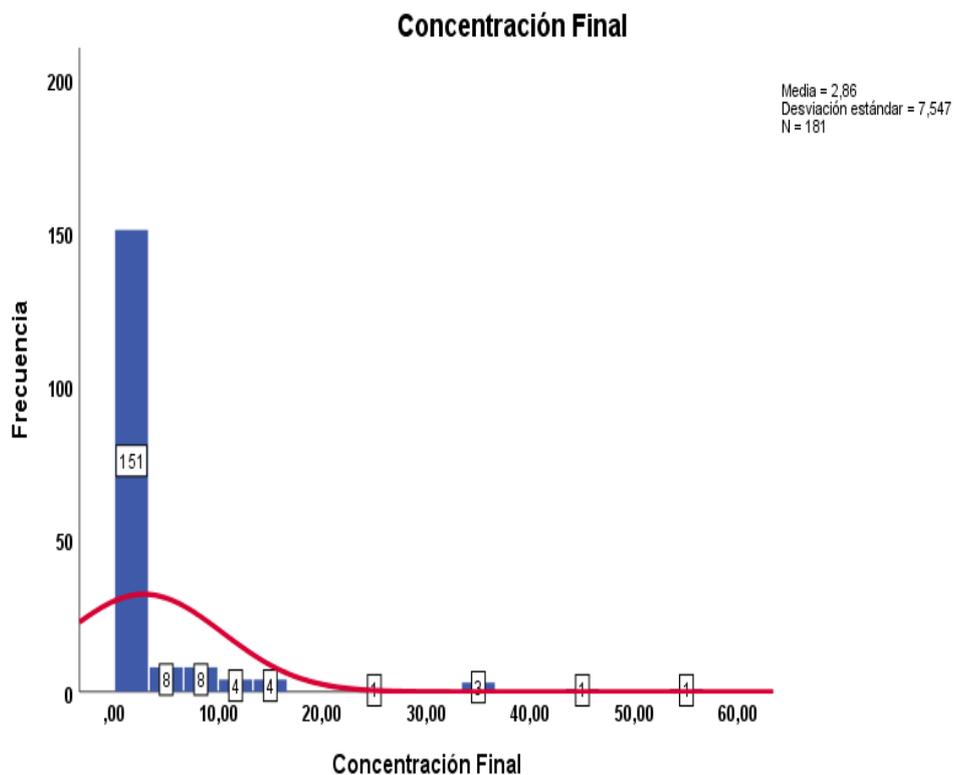


Figura 11. *Gráfico de normalidad de la concentración final*

De la **Figura 11** se puede apreciar que los datos de concentración final obtenidos de los 54 artículos estudiados no siguen el gráfico de normalidad de Gauss, afirmando que los datos no son normales. Esto se debe a que en algunos estudios se obtuvieron concentraciones finales mayores a 50 mg/L y en otros estudios se obtuvieron concentraciones finales de entre 0,001 hasta 14 mg/L, resultados que son muy dispersos.

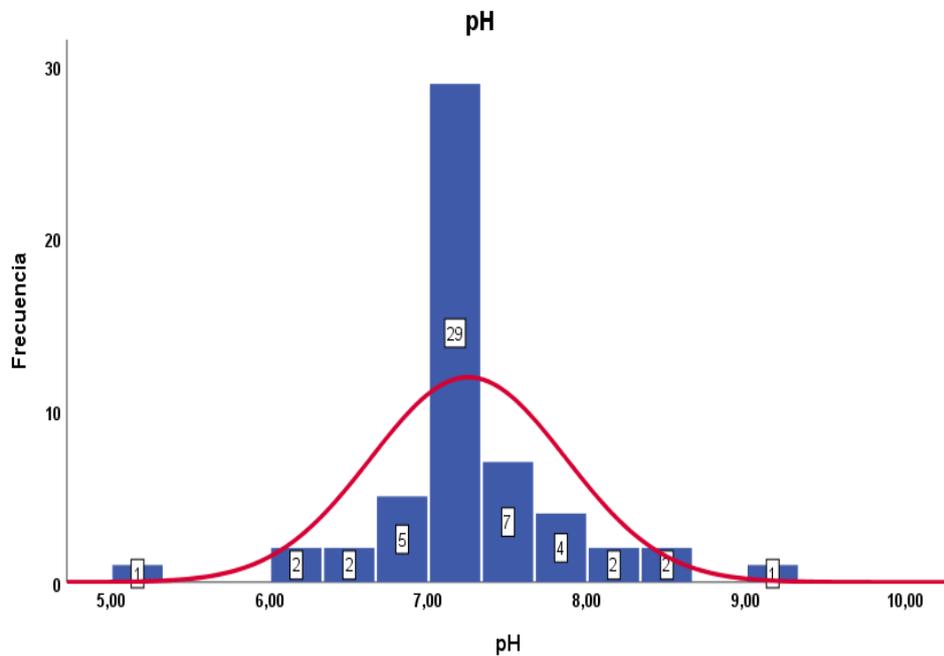


Figura 12. *Gráfico de normalidad del pH*

De la **Figura 12** se muestra que los datos se acercan a una distribución normal; sin embargo, 29 artículos, que es la mayoría, registraron pH de entre 7 a 7,3, lo que hace que los datos no sean normales; también, se puede apreciar que existen 5 investigaciones que registraron pH de 5 y 9, valores muy alejado del registro de pH de los demás estudios. Por ello, estos datos analizados so no normales.

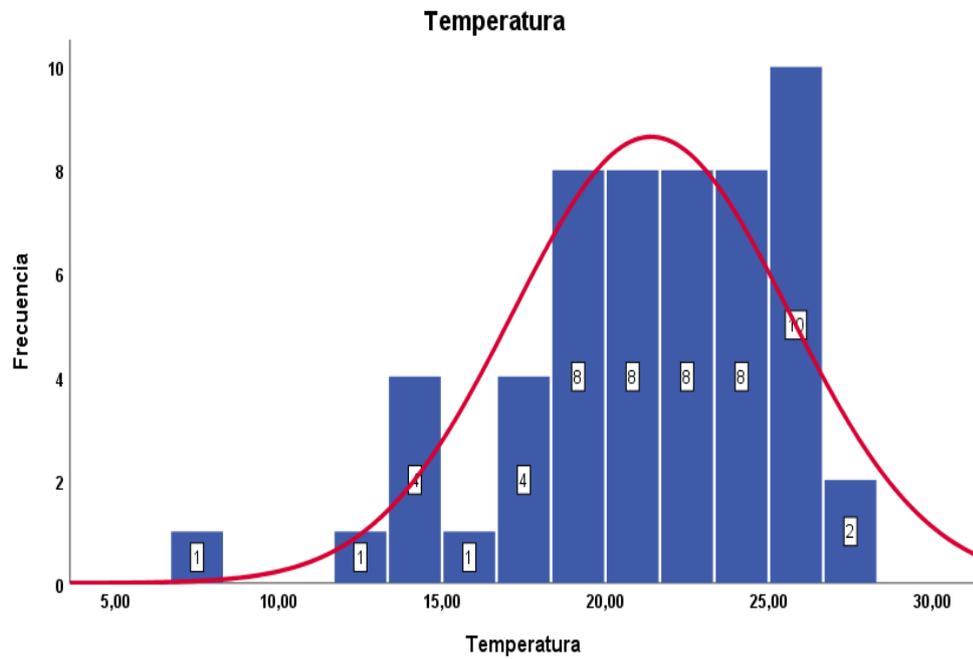


Figura 13. *Gráfico de normalidad de la temperatura*

En la

Figura 13 se muestra que los datos de temperatura de los 54 artículos seleccionados tienen una tendencia de normalidad ya que la mayoría de los datos están entre los valores de 20 a 24 grados Celsius, lo que hace que estos datos sean normales. Sin embargo, se puede apreciar que 10 investigaciones registraron temperaturas de entre 25 a 27 grados Celsius; asimismo, se observa que existió una investigación que registró una temperatura de alrededor 8 grados Celsius.

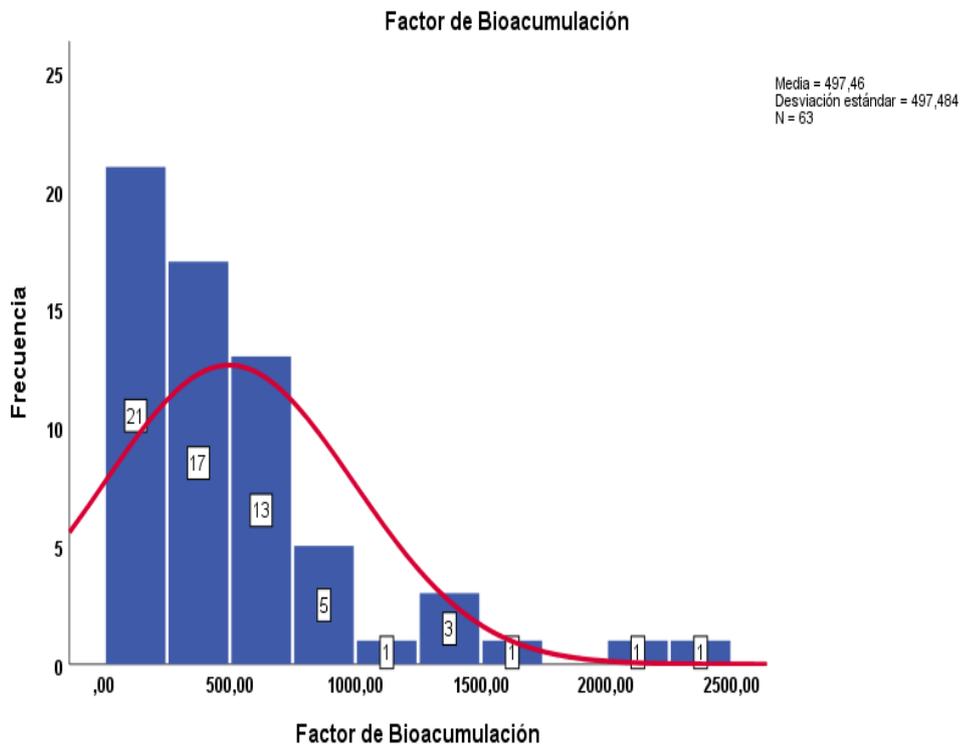


Figura 14. Gráfico de normalidad del Factor de Bioacumulación

De la **Figura 14** se puede apreciar que los datos acerca el factor de bioacumulación, recopilados de los 54 artículos relevantes, provienen de una distribución no normal, debido que las concentraciones en los macrófitos son variables; asimismo, se aprecia que en 21 macrófitos las concentraciones estuvieron de entre 0,004 hasta 250 mg/Kg, en 30 macrófitos, las concentraciones registrados fueron de entre aproximadamente 270 mg/Kg hasta 500 mg/Kg; además, en solo dos macrófitos se llegó a registrar valores de entre 2000 a 2500 mg/Kg.

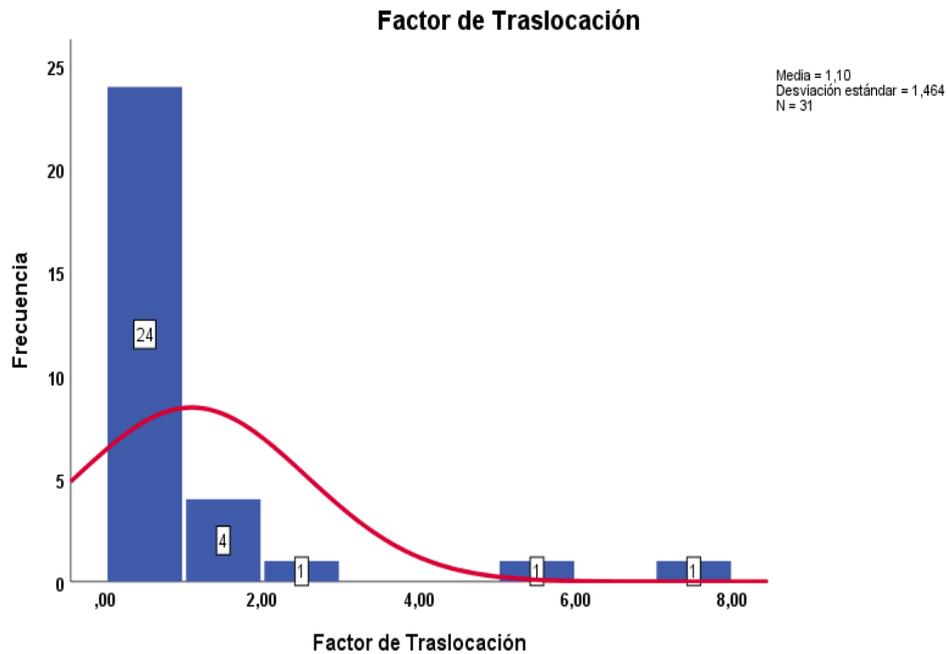


Figura 15. *Gráfico de normalidad del factor de traslocación*

De la **Figura 15** se puede observar que los datos sobre el factor de traslocación provenientes de los artículos revisados, 24 macrófitos, registraron valor de FT de aproximadamente 0,00 hasta 1; asimismo, se observa que 4 macrófitos tuvieron FT de entre 1 hasta 2, y solo 2 macrófitos registrados FT de alrededor 5 y 8. Por ello, es que estos datos de FT no provienen de una distribución normal, tal como se observa en el gráfico.

ANEXO 4

Búsqueda de las investigaciones en la base de datos de Scopus



Scopus

[Search](#) [Sources](#) [SciVal](#) [?](#) [🔔](#) [🏠](#)

The new, enhanced version of the search results page is available. [Try the new version](#)

244 document results

TITLE-ABS-KEY (phytoremediation OR bioaccumulation OR bioabsorption AND macrophytes AND water AND "Heavy Metals") AND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2023) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2014) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2013) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2012)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE, "j"))

[✎ Edit](#) [📄 Save](#) [🔔 Set alert](#)

Search within results...

Refine results

[Limit to](#) [Exclude](#)

[Open Access](#)

[Documents](#) [Secondary documents](#) [Patents](#)

[View Mendeley Data \(23\)](#)

Analyze search results

[Show all abstracts](#) Sort on: [Date \(newest\)](#)

All [CSV export](#) [Download](#) [View citation overview](#) [View cited by](#) [Save to list](#) [...](#) [🖨](#) [✉](#) [📄](#)

[Open Access](#) Document title Authors Year Source Cited by

ANEXO 5

Búsqueda de las investigaciones en la base de datos de WoS

Advanced Search > Results for TS=(macrophyte... > Results for TS=(macrophyte... > Results for TS=(macrophyte... > Results for TS=(macrophytes AND "heavy metals" AND phytoremediation A...

251 results from Web of Science Core Collection for:

Q TS=(macrophytes AND "heavy metals" AND phytoremediation AND water*) [Analyze Results](#) [Citation Report](#) [Create Alert](#)

Refined By: Languages: English X Publication Years: 2012 or 2013 or 2014 or 2015 or 2016 or 2017 or 2018 or 2019 or 2020 or 2021 or 2022 X [Clear all](#)

[Copy query link](#)

Publications You may also like...

Refine results

Search within results...

Filter by Marked List ^

Quick Filters

- Highly Cited Papers 2
- Review Article 21
- Early Access 3
- Open Access 66
- Enriched Cited References 26

Citation Topics Meso v

- 3.91 Contamination & Phytoremediation 189

0/251 [Add To Marked List](#) [Export v](#) Sort by: Relevance < 1 of 6 >

1 **THE USE OF WATER PLANTS IN BIOMONITORING AND PHYTOREMEDIATION OF WATERS POLLUTED WITH HEAVY METALS** 20 Citations

[Krems, P; Rajfur, M; \(...\); Klos, A](#)

2013 | [ECOLOGICAL CHEMISTRY AND ENGINEERING S-CHEMIA I INZYNIERIA EKOLOGICZNA S](#) 20 (2) , pp.353-370 101 References

The publication is a synthetic review of many years of research on the possibility of using water plants (macrophytes) to assess pollution of surface waters and the possibility of using the biomass in phytoremediation processes. The results of the research of kinetics and equilibria of heavy metals sorption and desorption conditions were presented in order to repeatedly use the biomass, as well ... [Show more](#)

[Free Full Text from Publisher](#) ... [Related records](#)

2 **Phytoremediation Potential of Aquatic Macrophyte, Azolla** 134 Citations

[Sood, A; Uniyal, P; \(...\); Ahluwalia, AS](#)

Mar 2012 | [AMBIO](#) 41 (2) , pp.122-137 131 References

Aquatic macrophytes play an important role in the structural and functional aspects of aquatic ecosystems by altering water movement regimes,



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, RUBEN VICTOR MUNIVE CERRON, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis Completa titulada: "Revisión sistemática: Efectividad de limpieza con plantas macrófitos de aguas superficiales contaminadas con metales pesados en el periodo 2012 - 2022.", cuyo autor es CAURINO GARCIA JAIRO JAIME, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 11.00%, 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 Completa 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, 01 de Diciembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
RUBEN VICTOR MUNIVE CERRON DNI: 19889810 ORCID: 0000-0001-8951-2499	Firmado electrónicamente por: RMUNIVEC el 16-12- 2022 10:08:39

Código documento Trilce: TRI - 0465372