



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Fitorremediación con Plantas Acuáticas en Aguas Contaminadas
con Metales Pesados: Revisión Sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Morales Cornejo, Valery (ORCID: 0000-0003-1653-1255)
Paucara Huamani, Yessica Lizbeth (ORCID: 0000-0003-0930-9736)

ASESOR:

Mgtr. Honores Balcázar César Francisco (ORCID: 0000-0003-3202-1327)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Calidad y gestión de los Recursos Naturales

LIMA - PERÚ
2021

DEDICATORIA

A Dios por derramar su bendición sobre mi persona y acompañarme en cada paso que doy, a mi mamita Reyna por todo el apoyo incondicional que me brinda día a día para seguir adelante, a mi papito Juan y mamita Placida que desde el cielo guiaron mis pasos para llegar hasta aquí.

Ante todo, a Dios quien ha sido mi guía, mi fortaleza y por bendecirme en cada momento de mi vida, a mis padres quienes, con su amor, paciencia, apoyo y esfuerzo me han permitido llegar a donde estoy y seguir cumpliendo mis metas, a mis papitos grandes por ser mi impulso y gran apoyo, a toda a mi familia, a mis más grandes seres queridos por todos los consejos, ánimos, soporte y por acompañarme en todas mis anhelos, propósitos y por estar en los momentos más importantes de mi vida en los más difíciles y los más satisfactorios ¡Muchas Gracias!

AGRADECIMIENTOS

A nuestro asesor quien me ayudo a cumplir un objetivo más en mi carrera profesional, a nuestros jurados por ser parte de este sueño cumplido, y a mi mamita Reyna por todo el apoyo económico ¡GRACIAS MAMÁ!

Un profundo agradecimiento a la Universidad Cesar Vallejo, a nuestro asesor quienes me dieron la oportunidad de culminar una etapa muy importante en mi ámbito profesional con todas las oportunidades y conocimientos brindados, a los jurados por también ser parte fundamental de esta gran aspiración que se está haciendo realidad, a mis padres por todo el soporte emocional y económico brindado y a todas las personas que me apoyaron en este camino.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DEL CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
INDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT.....	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	15
3.1. Tipo y diseño de investigación	15
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización.....	16
3.3. Escenario de estudio	19
3.4. Participantes.....	19
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	19
3.6. Procedimientos	20
3.7. Rigor científico	21
3.8. Método de análisis de información	21
3.9. Aspectos éticos.....	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
V. CONCLUSIONES	33
VI. RECOMENDACIONES.....	34

BIBLIOGRAFÍA	35
---------------------------	-----------

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Parámetros de referencia para la calidad del agua</i>	10
<i>Tabla 2. Antecedentes de las plantas acuáticas como fitorremediadoras en medio acuoso</i>	11
<i>Tabla 3. Matriz de categorización apriorística</i>	17
<i>Tabla 4. Plantas más empleadas para la fitorremediación de aguas con iones metálicos</i>	23
<i>Tabla 5. Porcentaje de remoción empleando plantas acuáticas</i>	27
<i>Tabla 6. Factores que afectan la eficiencia de la fitorremediación con plantas acuáticas</i>	31

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Concentración estándar de metales en el agua potable, los efectos sobre la salud, las fuentes de emisiones y la forma en el agua</i>	6
<i>Figura 2. Calidad del agua antes y después de la remediación</i>	10

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Cd: Cadmio
Pb: Plomo
Hg: Mercurio
As: Arsénico
OMS: Organización Mundial de la Salud
Hm: Metales pesados
EPA: Agencia de Protección Ambiental
CE: Conductividad eléctrica
TDS: Sólidos disueltos totales

RESUMEN

El presente trabajo de investigación planteo como objetivo general determinar de qué manera es la fitorremediación con plantas acuáticas en aguas contaminadas con metales pesados, cuya metodología fue una revisión sistemática, de tipo aplicada, con enfoque cualitativo, y diseño narrativo de tópicos.

De los estudios analizados se obtuvo que Las plantas más usadas para la fitorremediación de aguas contaminadas con metales pesados son en un 90% las plantas acuáticas pertenecientes a la familia Araceae, Gramíneas y Poaceae; siendo estas utilizadas para la fitorremediación de aguas con iones metálicos, debido a su rentabilidad por la eficiencia para la remoción de iones metálicos, así también los porcentajes de remoción de las plantas acuáticas como fitorremediadoras de aguas contaminadas varían en un 80 al 90%, siendo en un 90% el metal más estudiado el Cd; seguido del Pb, Zn y Cu. Debido a que el Cd se reconoce comúnmente como uno de los contaminantes ambientales más peligrosos que puede afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas en todos los niveles de organización biológica. Por último, los factores que afectan la eficiencia de la fitorremediación con plantas acuáticas, son factores ambientales en las cuales se desarrollan las plantas y operacionales los cuales permiten que dicha flora actúe contra el contaminante. Recomendando estudiar y evaluar la eficiencia entre distintas plantas acuáticas, terrestres y aéreas que impliquen la eliminación de contaminantes presentes en las aguas residuales y estudios a nivel piloto para obtener resultados directos de su eficiencia en su aplicación.

Palabras Claves: Fitorremediación, especies acuáticas, iones metálicos, factores ambientales.

ABSTRACT

The general objective of this research was to determine the phytoremediation with aquatic plants in waters contaminated with heavy metals. The methodology used was a systematic review, applied, with a qualitative approach and a narrative design of topics.

From the studies analyzed, it was found that 90% of the most used plants for phytoremediation of waters contaminated with heavy metals are aquatic plants belonging to the Araceae, Gramineae and Poaceae families; These plants are used for the phytoremediation of water with metal ions, due to their profitability due to their efficiency in the removal of metal ions. The percentages of removal of aquatic plants as phytoremediators of contaminated water vary from 80 to 90%, with Cd being the most studied metal in 90%, followed by Pb, Zn and Cu. Because Cd is commonly recognized as one of the most dangerous environmental pollutants that can affect plant growth and development at all levels of biological organization. Finally, the factors that affect the efficiency of phytoremediation with aquatic plants are environmental factors in which the plants develop and operational factors that allow such flora to act against the contaminant. It is recommended to study and evaluate the efficiency between different aquatic, terrestrial and aerial plants that involve the elimination of pollutants present in wastewater and pilot level studies to obtain direct results of their efficiency in their application.

Key words: Phytoremediation, aquatic species, metal ions, environmental factors.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es una fuente excepcionalmente esencial para la presencia de vida en la tierra y la calidad del agua se ha visto seriamente afectada debido al crecimiento excesivo de la población, las actividades humanas, la rápida industrialización, la utilización no calificada de los recursos hídricos naturales y la urbanización no planificada (Vardhan et al., 2019, p.2).

La rápida industrialización y el progreso de las nuevas tecnologías traen consigo la contaminación ambiental con metales pesados debido a su naturaleza disipadora y la capacidad de penetrar incluso las barreras biológicas menos permeables, donde, estos iones pesados se consideran una grave amenaza para la vida humana y el tratamiento oportuno de las aguas residuales y de los suelos contaminados para la eliminación de estos metales (Ahmed et al., 2020, p.1). Estos iones metálicos tóxicos ingresan al agua, mediante la escorrentía agrícola, y las descargas industriales (Naidu et al., 2016, p.2).

Los metales pesados son un grupo de metales y metaloides con una densidad atómica superior a los 4000 kg / m³, son de naturaleza tóxica, lo que provoca graves enfermedades para la salud de los seres humanos y los animales, incluso en concentraciones muy bajas (Sandoval et al., 2018, p.1). Debido a ello representan un peligro común para la salud en todo el mundo debido a sus efectos tóxicos y a su acumulación en el agua y el cuerpo humano a través del consumo de alimentos (Zhao et al., 2018, p.3). Entre los metales se encuentra el plomo (Pb) es un metal muy tóxico y su liberación al medio ambiente está ligada a una serie de procesos tecnológicos, como la producción de armaduras, la fabricación de acumuladores, la minería y la fundición de metales y otros, además, debido a su naturaleza no biodegradable, su tiempo de permanencia en el medio ambiente es extremadamente largo, incluso para escalas de tiempo geológicas (Zhang et al., 2018, p.1). También están el cadmio (Cd), mercurio (Hg) y arsénico (As) que figuran en la lista de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de los 10 productos químicos de mayor interés público, son más

peligrosos debido a su alta solubilidad en agua, toxicidad y carcinogénesis (Tasharrofi et al., 2018, p.1).

Por lo tanto, es importante desarrollar métodos de tratamiento robustos, ecológicos y económicamente viables para la eliminación de metales pesados del sistema acuático y protección del medio ambiente. Al ser la calidad de las aguas perturbada día a día por diversos contaminantes orgánicos e inorgánicos, entre las diversas estrategias desarrolladas hasta ahora, la técnica de fitorremediación utilizando plantas acuáticas es la más preferible (Ansi et al., 2020, p.1).

Existen, especies de macrófitos acuáticos que tienen la capacidad de hacer frente a estas condiciones estresantes, incluso con una alta concentración de diversos contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua (Eid et al., 2020, p.1). Estas especies son útiles en el tratamiento de aguas contaminadas mediante tecnologías de fitorremediación y entre las diversas especies de plantas acuáticas, *Azolla*, *Eichhornia*, *Lemna*, *Potamogeton*, *Spirodela*, *Wolfia* y *Wolfiallahan* han sido reportados como fitorremediadores y también son altamente eficientes para reducir la contaminación acuática a través de la bioacumulación de contaminantes en sus tejidos corporales (Verla et al., 2018, p.3).

Es por tal motivo que el presente estudio tiene por problema general: ¿Cómo es la fitorremediación con plantas acuáticas en aguas contaminadas con metales pesados? y como problemas específicos: ¿Cuáles son las plantas más usadas para la fitorremediación de aguas contaminadas con metales pesados?, ¿Cuáles son los porcentajes de remoción de las plantas acuáticas como fitorremediadoras de aguas contaminadas? Y ¿Cuáles son los factores que afectan la eficiencia de fitorremediación con plantas acuáticas?

Así mismo surge el objetivo general: Determinar de qué manera es la fitorremediación con plantas acuáticas en aguas contaminadas con metales pesados y como objetivos específicos: Analizar cuáles son las plantas más usadas para la fitorremediación de aguas contaminadas con metales pesados, Definir los porcentajes de remoción de las

plantas acuáticas como fitorremediadoras de aguas contaminadas y como tercer objetivo, Definir los factores que afectan la eficiencia de la fitorremediación con plantas acuáticas.

Justificándose el presente estudio mediante un aporte académico, basándose en la recopilación de información actualizada a nivel mundial acerca de la aplicación de plantas acuáticas como fitorremediadoras para aguas contaminadas, señalando de esta manera que la finalidad del estudio es en base a un porte literario académico, para brindar información a futuros investigadores que deseen tratar y ahondar en las maneras de reducir la contaminación del agua con metales pesados; recalcando.

II. MARCO TEÓRICO

La contaminación del agua se ha convertido en uno de los problemas más graves que aumenta día a día y amenaza la sostenibilidad de los organismos vivos debido al rápido ritmo de industrialización y aumento de la población (Edebali S. et al., 2018, p.1). Siendo analizadas solo algunas de las causas que lo generan; donde los recursos más afectados son: ríos, bahías, océanos y estanques (Mareddy A., 2017, p.217).

La contaminación del agua se define como, 'Cualquier alteración directa o indirecta de las propiedades físicas, térmicas, químicas, biológicas, radiactivas de cualquier parte del medio ambiente por descarga, emisión o depósito de desechos que afecte adversamente cualquier uso beneficioso o cause una afección peligrosa para la salud pública (Balasurita A., 2018, p.1). De acuerdo con ello, se puede señalar como fuente de contaminación a las erupciones de volcanes, la descomposición de rocas que contienen metales y las actividades humanas como la extracción de minerales, la minería y las prácticas agrícolas, y diversas industrias son fuentes de entrada de metales pesados al medio ambiente (Palapa T. y Maramis A., 2015, p.1).

Entre estos, las erupciones volcánicas y la erosión de las rocas son fuentes naturales, mientras que la extracción de minerales, la minería, las industrias, las prácticas agrícolas y varias otras actividades de desarrollo se consideran entre las actividades antropogénicas y tales actividades desencadenan el transporte de metales pesados (HM) al medio ambiente, lo que perturba aún más Ciclos biogeoquímicos (Kapoor D. y Singh M., 2021, p.1).

El agua subterránea generalmente está menos contaminada, pero la tendencia es a la baja; ya que, los acuíferos pueden tardar décadas en reponerse y en estar contaminados; el plazo para una posible remediación es igualmente extenso (Gong W. et al., 2019, p.1). Siendo los elementos potencialmente tóxicos, como As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb y Zn, a menudo están presentes en las descargas de la minería y la fundición, el tratamiento de aguas residuales, la esorrentía de carreteras y la fabricación de

baterías, pigmentos y tintes, productos electrónicos y aleaciones (Mohajerani A. y Krabatak B., 2020, p.4).

Estos metales pesados se consideran tóxicos eminentes del medio ambiente ya que son muy tóxicos, tenaces y de naturaleza incremental; ahora, la contaminación de los ecosistemas acuáticos debido a estas causas que introducen los metales pesados puede generar problemas ambientales y, por lo tanto, impactos adversos para la salud (Jordan et al., 2014, p.1).

Teniendo en cuenta que, destruye importantes fuentes de alimentos y contamina el agua potable con sustancias químicas que pueden causar daños inmediatos y a largo plazo a la salud humana (Fakhimi et al., 2021, p.12). La contaminación del agua también a menudo daña gravemente los ecosistemas acuáticos, ya que, los ríos, lagos y océanos se utilizan como alcantarillas abiertas para desechos industriales y residenciales (Flávio H. et al., 2017, p.3). Los pesticidas, herbicidas, productos derivados del petróleo, metales pesados (como mercurio, plomo y zinc), detergentes y desechos industriales pueden matar los organismos acuáticos o hacer que el ambiente sea tan inhóspito que las especies ya no pueden prosperar (Devarajan Naresh et al., 2016, p.4).

También, la contaminación del agua destruye importantes fuentes de alimentos y contamina el agua potable con sustancias químicas que pueden causar daños inmediatos y a largo plazo a la salud humana a menudo dañando gravemente los ecosistemas acuáticos; como ríos, lagos y océanos (Ajibade Fidelis et al., 2021, p.2).

Esto quiere decir, que los contaminantes de HM en el agua suelen ser muy peligrosos para los organismos presentando efectos tóxicos, como daños al riñón, anemia y fitotoxicidad, cuando están presentes en dosis más elevadas (Liu et al., 2019, p.84).

Figura 1. Concentración estándar de metales en el agua potable, los efectos sobre la salud, las fuentes de emisiones y la forma en el agua

Metal	Efectos	Normas de agua potable	Fuentes de emisiones
Arsénico	<p>Provoca melanosis, queratosis e hiperpigmentación en humanos.</p> <p>Inmunotóxico</p> <p>Genotoxicidad por generación de especies reactivas de oxígeno y peroxidación lipídica.</p> <p>Modulación de la expresión del correceptor.</p> <p>Provoca efectos tóxicos y cancerígenos</p>	<p>Directriz de la OMS de 10mg/L</p> <p>Por comunidad Europea: mg/L</p> <p>Normas sanitarias para el agua potable (china) 0.01 mg/L</p>	<p>Extracción y fundición de arsénico de carbón.</p> <p>Producción industrial con arsénico como materia prima.</p>
Cadmio	<p>Efectos agudos en niños</p> <p>Bronquitis</p> <p>Causar graves daños a los riñones y huesos en humanos enfisema, anemia.</p>	<p>Por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) máxima: 0.005 mg/L.</p> <p>Por Comunidad Europea: 0.2 mg/L</p> <p>Normas sanitarias para el agua potable (china) 0.005 mg/L</p>	<p>Galvanoplastia Metalurgia no ferrosa.</p> <p>Combustión de combustibles</p> <p>Impresión pigmentos y</p> <p>Baterías</p> <p>Industrias químicas</p>
Níquel	<p>Alta fitotoxicidad</p> <p>Fauna dañina</p> <p>Eczema de manos</p> <p>Alta conc. Puede causar daño al ADN</p>	<p>Por la EPA conc. Máxima: 0.1 mg/L.</p> <p>Por Comunidad Europea: .01 mg/L</p> <p>Normas sanitarias para el agua potable (china) 0.02 mg/L</p>	<p>Extracción y fundición de mineral de Ni</p> <p>Proceso de producción y procesamiento de acero aleado</p> <p>Carbón, combustión de petróleo emisiones de polvo</p> <p>Galvanoplastia, niquelad y proceso de producción</p>

Zinc	Anemia Fitotóxico Dolor abdominal, etc. Falta de coordinación muscular	Por la EPA conc. Máxima: 5 mg/L. Por Comunidad Europea: 5 mg/L Normas sanitarias para el agua potable (china) 1.0 mg/L	Minería y metalurgia Fábrica de instrumentación de galvanoplastia Molinos de papel
Cobre	Fitotóxico Daños en una variedad de fauna acuática. Irritación del sistema nervioso central seguida de depresión Irritación y corrosión de las mucosas	Por la EPA conc. Máxima: 1.0 mg/L. Por Comunidad Europea: 3 mg/L Normas sanitarias para el agua potable (china) 1.0 mg/L	Minería y fundición de cobre Procesamiento de metales Fabricación de maquinaria Producción de acero
Cromo	Irritación de la mucosa gastrointestinal. Necrointestinal. Necrosis, nefritis y muerte en humanos (10 mg/kg de peso corporal como cromo hexavalente)	Por la EPA conc. Máxima: (hexavalente y trivalente) total 1.0 mg/L. Por Comunidad Europea: 0.5 mg/L Normas sanitarias para el agua potable (china) 0.05 mg/L	Curtidurías Aplicaciones de fabricación de pulpa y caucho

Fuente: Luo X. y Deng F., 2018, p.85

Como se muestra en la figura N°1, muestra la concentración estándar de metales en el agua potable, los efectos sobre la salud, las fuentes de emisión y la forma en el agua; tanto el cobre como el zinc son elementos esenciales en el cuerpo humano y animal, sin embargo, presentan efectos tóxicos en la salud del ser humano. Varios metales pesados pueden inducir riesgos de cáncer (por ejemplo, el arsénico inorgánico [As]) y/o de no cáncer (por ejemplo, el mercurio [Hg]) en los seres humanos (Chowdhury Shakhawat et al., 2016, p.1).

Por otro lado, para clasificar los contaminantes del agua se aplican términos como fuente puntual o fuente difusa, donde la contaminación de fuente puntual es una fuente única identificable que se origina en lugares separados e incluye el tratamiento de aguas residuales *Escherichia coli.*, arsénico, mercurio y cromo total, y una disminución en cadmio, plomo y cobre (Sany S. et al., 2019, p.5). y las contaminaciones difusas generadas después de las lluvias en las cuencas industriales (escorrentías de raíces y carreteras, lixiviación de la incineración de desechos y emisiones industriales depositadas en las cuencas hidrográficas; así también contribuyen a las altas cargas de metales en los ríos (Scholz M., 2016, p.339).

El índice de contaminación del agua es aplicado a cualquier tipo de recurso hídrico (Hossain M. y Patra P., 2020, p.1). Este índice da un número comparable con respecto al límite máximo permitido más bajo para un HM específico, y se calcula de acuerdo a Sharma et al., (2021, p.4) como se ve en la ecuación N°1:

$$WPI_i = \frac{(M_i - M_{in_i})}{R_i} \dots\dots\dots \text{Ecuación N°1}$$

donde, R_{0i} es el rango de los topes permitidos para un HM específico, tomado de la Organización Mundial de la Salud (2011), y Min_i es el límite mínimo aceptable.

La contaminación del agua se ha convertido en un problema desafiante en todo el mundo que causa escasez de agua útil y, por lo tanto, ha habido una demanda urgente para desarrollar una tecnología de tratamiento de aguas contaminadas por diversos contaminantes como es el caso de los HM (Ameta S., 2018, p3).

Actualmente, los métodos de tratamiento convencionales no siempre son efectivos para la eliminación completa de los contaminantes del agua; debido a ello, la fitorremediación ofrece una oportunidad para aumentar la posibilidad financiera de los programas de fitorremediación y para reducir los riesgos de eliminación mediante la utilización de biomasa vegetal enriquecida con metales en energía y recuperación de

metales con el proceso de quemado (Pandey V. y Bajpai O., 2019, p.1). La fitorremediación consiste en un conjunto de tecnologías basadas en el uso de plantas de ocurrencia natural o genéticamente modificadas, con el fin de reducir, remover, romper o inmovilizar contaminantes y funcionando como una alternativa para reemplazar los métodos convencionales de tratamiento de efluentes debido a su sustentabilidad - bajo costo de mantenimiento y energía (Gomez et al., 2014, p.1).

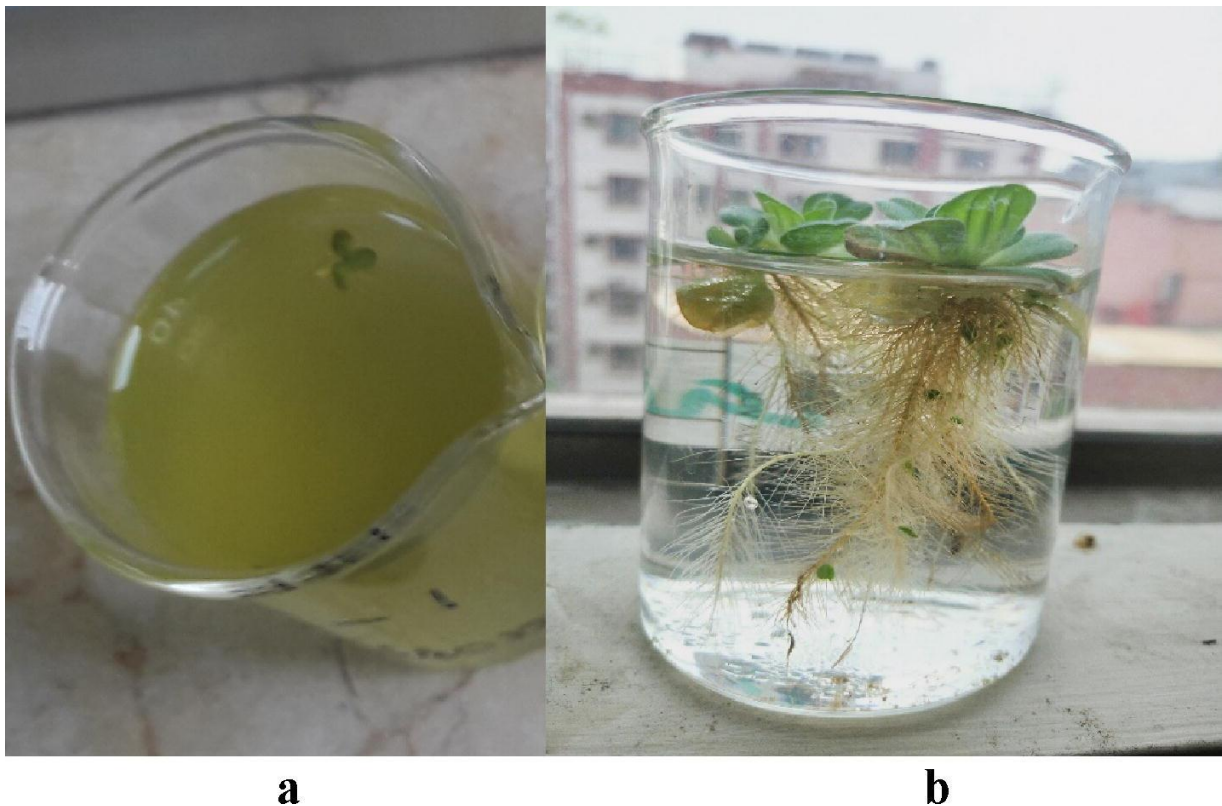
Además, se han utilizado diversas fitotecnologías como la fitodegradación, fitoestabilización, rizofiltración, rizodegradación y fitovolatilización (Shahabaldin Rezanía et al., 2016, p.1). Entre las variedades de sistema de fitorremediación que usan plantas se encuentra la clasificación de: plantas flotantes y otras con medio de soporte; siendo la utilización de plantas acuáticas las encargadas de una gran cantidad de contaminantes eliminados del medio acuoso (Mendoza et al., 2018, p.2).

Las especies de plantas acuáticas desempeñan un papel importante en la eliminación de Cd de las aguas residuales que atraviesan los humedales; donde, las macrófitas de los humedales absorben directamente los metales, o afectan indirectamente las eficiencias de remoción, aumentando el tiempo de residencia y reduciendo las velocidades del agua, lo que a su vez mejora la sedimentación (Javed et al., 2019, p.2). Tienen la capacidad de absorber el exceso de contaminantes tales como contaminantes orgánicos e inorgánicos, metales pesados y farmacéuticos presentes en las aguas residuales agrícolas, domésticas e industriales (Mustafa H. y Hayder G., 2021, p.1).

Entre las diversas especies de plantas acuáticas, *Azolla*, *Eichhornia*, *Lemna*, *Potamogeton*, *Spirodela*, *Wolfia* y *Wolfiella* han sido reportadas como fitorremediadoras y también son altamente eficientes para reducir la contaminación acuática a través de la bioacumulación de contaminantes en sus tejidos corporales (Ansari et al., 2020, p.2). Las plantas acuáticas, *Salvinia molesta* y *Pistia stratiotes* han sido ampliamente utilizados para el tratamiento de aguas residuales agrícolas, domésticas e industriales (Anand et al., 2017, p.1).

En la figura 2 se denota una muestra de agua antes de la remediación (sin macrófitas)
 b. Mejora de la calidad del agua después de 168 h (7 días) de fitorremediación (con macrófitas en la foto).

Figura 2. Calidad del agua antes y después de la remediación.



Fuente: Mustafa H. y Hayder G., 2021, p.6

De igual manera, los parámetros de referencia para determinar la calidad del agua son el pH, Ce, Turbiedad, entre otros; como se muestra en la Imagen N°3.

Tabla 1. Parámetros de referencia para la calidad del agua

Parámetros	Valor de referencia
pH	6,5-7,0
CE	<400 uS / cm
TDS	<300 mg / l
NaCl	<1%
Turbiedad	<5 NTU

Fuente: Extraído de Leung et al., 2017, p.6

De acuerdo a la realidad problemática planteada en la investigación se recolectó 40 antecedentes de los cuales se detallan en la tabla N° 2 los 15 más resaltantes; detallando especies acuáticas y los resultados obtenidos.

Tabla 2. Antecedentes de las plantas acuáticas como fitorremediadoras en medio acuoso.

Especie acuática	Fuente	Resultado	Autor(es)
Jacinto de agua	Sciencedirect	El jacinto de agua (<i>Eichhornia</i>) es altamente resistente y puede tolerar la toxicidad de metales pesados, y otros contaminantes incluso en sus altas concentraciones.	Rezania Shahabaldin et al., 2016
<i>Pontederia cordata</i>	Sciencedirect	49.95% -76.90% del Cd 2+ fue secuestrado en las raíces de las plantas, restringiendo la translocación de raíces a brotes, lo que se considera un mecanismo de tolerancia.	Xin Jianpan et al., 2020
<i>Phragmites karka</i> y <i>Arundo donax</i>	Redalyc	Los resultados revelaron la remediación significativa pero diferencial de metales pesados (31.0 a 73.3%; $p \leq 0,01$) y potencial de defensa antioxidante (en términos de actividad enzimática)	Rai Prabhat K., 2021
<i>Potamogeton crispus</i> , <i>Phragmites australis</i> y <i>Ceratophyllum demersum</i>	Sciencedirect	El estudio sugiere que las tres especies macrofíticas, a saber: <i>Potamogeton crispus</i> , <i>Phragmites australis</i> y <i>Ceratophyllum demersum</i> tienen un alto potencial para acumular metales pesados y pueden	Nabi M., 2021

Espece acuática	Fuente	Resultado	Autor(es)
		utilizarse eficazmente para remediar aguas residuales y ecosistemas acuáticos.	
<i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Redalyc	En los sedimentos menos contaminados, las reducciones porcentuales más altas se lograron con <i>S. fruticosa</i> . <i>S. fruticosa</i> , la adición de <i>S. cerevisiae</i> aumenta la capacidad fitorremediadora de la planta.	Said Olfa et al., 2019
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Sciencedirect	Más del 90% y 60% de cobalto estable y cesio, respectivamente, fueron eliminados.	Saleh Hosam et al., 2020
<i>S. tabernaemontani</i> , <i>I. sibirica</i> y <i>P. cordata</i>	Sciencedirect	La eficiencia de eliminación de Cu, Zn y Cd fueron de 45,06 a 86,93%, 42,40 a 87,22% y 73,85 a 85,52% en el día 75.	Wang Wei et al., 2021
<i>Typha latifolia</i> .L.	Sciencedirect	Se demostró que <i>Typha latifolia</i> L. tiene un rendimiento aceptable en la acumulación de Cd, Cu, Pb y Zn y, por lo tanto, puede considerarse un buen candidato para la bioacumulación.	Haghnazar Hamed et al., 2021
Plantas acuáticas crustáceos, moluscos y peces.	Sciencedirect	Las concentraciones de Cd, Cu, Pb y Zn fueron considerablemente más altas en los moluscos, mientras que las concentraciones de Cr fueron significativamente más altas en las plantas acuáticas que en los	Hu Chengye et al., 2021

Especie acuática	Fuente	Resultado	Autor(es)
		moluscos, crustáceos y peces.	
<i>Typha dominguensis</i> y <i>Canna generalis</i>	Scielo	Las dos plantas acuáticas lograron adsorber el Pb del agua en sus raíces, hojas demostrando su rol como macrófitas bioacumuladoras de Pb.	Vera A. et al., 2016
<i>Elodea sp.</i>	Redalyc	Aunque la planta <i>Elodea sp</i> mostró un gran desempeño en las tres soluciones, con la concentración de 1,55mg/ml obtuvo un porcentaje de remoción del 100% para el mercurio.	Jaramillo María et al., 2016
<i>Eichhornia Crassipes</i>	Redalyc	La <i>Eichhornia crassipes</i> , el agente retenedor de éstos compuestos contaminantes, donde se evidenció una posible solución económica y tecnológicamente viable para el sector industrial de curtiembres.	Carreño Sayago et al., 2017
<i>Pistia stratiotes</i> y <i>Eichhornia crassipes</i>	Redalyc	<i>P. stratiotes</i> y <i>E. crassipes</i> demostraron su tolerancia a altas concentraciones de Cr(VI), por lo que se hace factible su uso potencial en el tratamiento de aguas contaminadas con este metal.	Andrade Charity et al., 2019
<i>Sarcocornia fruticosa</i> y <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Sciencedirect	Los resultados indican que a pesar del potencial fitorremediador de <i>S. fruticosa</i> , la adición de <i>S. cerevisiae</i> aumenta la	Said Olfa et al., 2019

Especie acuática	Fuente	Resultado	Autor(es)
		capacidad fitorremediadora de la planta.	
<i>Ludwigia peploides</i>	Sciencedirect	Las raíces de <i>Ludwigia peploides</i> tienen la capacidad de eliminar el cobre del agua contaminada de manera eficaz y, en un grado moderado, el cromo, el plomo y el cadmio	Salawu Musa et al., 2018

Fuente: Elaboración propia

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente estudio es cualitativo; en el cual la técnica de recopilación de datos en una investigación cualitativa es, las entrevistas biográficas que apuntan a la obtención de historias personales de los participantes de la investigación con un mínimo de incitación al investigador constituyen un ejemplo paradigmático de entrevistas no estructuradas (Shanks G. y Bekmamedova N., 2018, p.1).

Dicho ello se indica que el tipo de investigación es aplicada, ya que busca brindar conocimientos para que la sociedad los aplique en el desarrollo de una realidad problemática, así mismo dicho estudio se forma en base a teorías adquiridas en una investigación básica (Lozada, J., 2014, p.35). Por otro lado, este tipo de investigación aplicada puede ser también nombrada utilitaria, ya que busca planta mediante problemas una solución inmediata, con la finalidad de llevar a cabo las acciones de solución mediante la integración de teorías pre existentes (Baena, 2017, p.17-18). Ante lo mencionado, el presente estudio, fue desarrollado bajo un enfoque de teorías y conceptos ya existentes, los cuales tuvieron como finalidad buscar información y estudios previos que determinen de qué manera actúa la fitorremediación con plantas acuáticas en aguas contaminadas con metales pesados.

Ahora bien, el enfoque cualitativo de una investigación, es un proceso interpretativo es decir que se basa en indagar distintas metodologías para desarrollar un problema humano o social, así mismo busca la comprensión de los fenómenos y el descubrimiento de abundantes conocimientos (Iño, W., 2018, p.96). Del mismo modo Hernández, Fernández, y Baptista (2014), define que el enfoque cualitativo nace como una literatura existente, y utiliza la recolección y análisis de datos como evidencias e información de los eventos a investigar, de tal modo precisar las interrogantes de la investigación o manifestar nuevas (p.7-9).

Por otro lado, se tiene el diseño de investigación narrativa, el cual busca mostrar evidencias a partir de testimonios relevantes, hechos, opiniones o experiencias, dicho

diseño permite investigar, conocer e interpretar el mundo subjetivo (Alan, D. y Cortez, L., 2017, p.81). Sin embargo, el diseño cualitativo narrativo de tópicos, busca describir y analizar las ideas, estos conocimientos se obtienen de la recolección de los datos de fuentes como: revistas, documentos, artículos que son de interés para el investigador, (Salgado, 2007, p.72).

De acuerdo a lo mencionado, este estudio de investigación tiene como finalidad buscar determinar de qué manera es la fitorremediación con plantas acuáticas en aguas contaminadas con metales pesados, mediante la revisión sistemática de literaturas existentes.

3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización

Dentro del desarrollo de una revisión sistemática, uno de los procesos esenciales e importantes es la determinación de las categorías y sub categorías que se plantean, y se buscan resolver mediante la búsqueda y recolección de información. Ante lo dicho, Herrera, J., Guevara, G. y Munster. H. (2015), define que la categoría de investigación está diseñada principalmente para investigadores académicos e incluye soporte para estudios básicos, mientras que las subcategorías detallan los tópicos en micro aspectos. Además, pueden ser construidas antes de la recopilación de información o mediante el levantamiento de esta, dicha acción surge de la formulación de problemas y objetivos de la investigación (p.125).

Es decir; las categorías son lo más resaltante mientras que las sub categorías buscan solidificar y detallar lo planteado por las categorías. Esto es detallado en la Tabla N°1; donde se muestra la matriz apriorística, detallando los objetivos específicos y problemas específicos.

Tabla 3. Matriz de categorización apriorística

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CATEGORÍAS	SUB CATEGORÍAS	CRITERIO 1	CRITERIO 2
¿Cuáles son las plantas más usadas para la fitorremediación de aguas contaminadas con metales pesados?	Analizar cuáles son las plantas más usadas para la fitorremediación de aguas contaminadas con metales pesados	Plantas más empleadas (Anand et al., 2017, p.1)	<ul style="list-style-type: none"> • Azolla, • Eichhornia • Lemna, • Potamogeton • Spirodela • Wolfia • Wolfialla (Ansari et al., 2020, p.2)	De acuerdo al tipo de planta	De acuerdo al Género de la especie
¿Cuáles son los porcentajes de remoción de las plantas acuáticas como fitorremediadoras de aguas contaminadas?	Definir los porcentajes de remoción de las plantas acuáticas como fitorremediadoras de aguas contaminadas y	Remoción del contaminante (Reis Andre et al., 2016, p.1)	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de remoción • Porcentaje de remoción (Zhang Yingshuang et al., 2021, p.1)	De acuerdo al contaminante inicial	De acuerdo al tipo de planta

	como tercer objetivo				
¿Cuáles son los factores que afectan la eficiencia de fitorremediación con plantas acuáticas?	Definir cuáles son los factores que afectan la eficiencia de fitorremediación con plantas acuáticas.	Factores ambientales y operacionales (God, J., 2020, p.10)	Nutrientes Luz Clima Condiciones geográficas (God, J., 2020, p.11)	De acuerdo a la capacidad de la planta para adaptarse a diferentes climas y su capacidad de crecimiento en diferentes condiciones.	De acuerdo a la capacidad de la planta para bioacumular los metales.

Fuente: *Elaboración propia*

3.3. Escenario de estudio

Hernández, Fernández, y Baptista (p.514, 2014), define como escenario de estudio al lugar o entorno donde sucedieron los hechos de la realidad problemática. Teniendo en cuenta ello y precisando en que el presente estudio es una revisión sistemática se describe como escenario de estudio a las literaturas a nivel mundial enfocadas en la fitorremediación con plantas acuática en aguas contaminadas con metales pesados.

3.4. Participantes

Los participantes en esta revisión sistemática son las plataformas y portales web, como bibliotecas virtuales y/o electrónicas en las cuales encontramos a: Redalyc, Scielo y Science Direct; de donde se extrajeron diversas citas de artículos científicos.

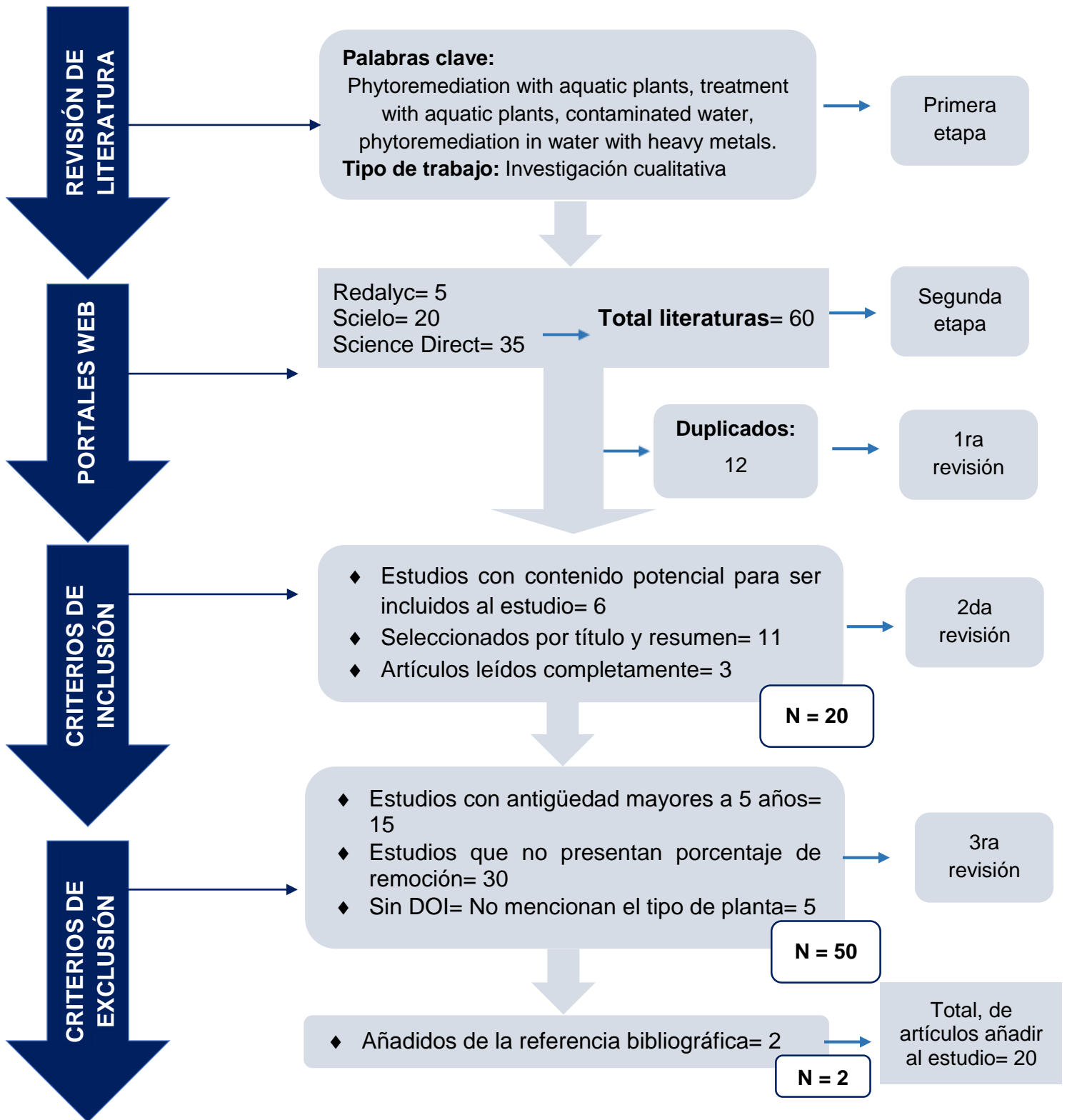
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

El análisis empleado en este trabajo es la técnica de análisis documental, el cual de acuerdo con Dulzaides y Molina, (2004, p. 2) es la técnica que indaga, analiza y sintetiza de manera uniforme y sistemática la información de diversas literaturas científicas. Para lo cual se hizo uso de una ficha de análisis propuesta encontrada en el Anexo 1.

La ficha de análisis de contenido es un instrumento de recolección de información, que se emplea en investigaciones cualitativas, en este tipo de investigación se hace uso de narraciones y registros de investigaciones (Guerrero, Cortez y Carchi, 2017, p.68).

El método de recopilación de datos implica la recopilación de contenido textual, de manera analizada y teniendo sentido de alguna manera para que sea útil; este contenido, ya sean transcripciones de grupos focales, entrevistas, historias orales o sesiones de narración grabadas en video, debe ser "decodificado" para que otros puedan resumirlo y entenderlo. Teniendo claro ello, se indica que el presente estudio utiliza la técnica de análisis documental; la técnica de análisis de contenido es una de las técnicas para el análisis textual, y aunque existen varias, esta es una de las principales (Gelling L., 2015, p.18).

3.6. Procedimientos



3.7. Rigor científico

Las revisiones sistemáticas deben incluir fuentes publicadas, así como considerar la inclusión de fuentes no publicadas para la recopilación de datos; requieren estrategias de búsqueda rigurosas, transparentes y reproducibles, para poder obtener el rigor científico de la investigación (Batten J. y Brackett A., 2021, p.1).

Con forme a ello, este estudio presenta el rigor científico ya que cumple con 4 criterios de investigación. Un criterio a tomar en cuenta es la confiabilidad: La confiabilidad del estudio se respalda al proporcionar ejemplos de datos sin procesar (a menudo citas de entrevistas) y un proceso de análisis que ejemplifica los resultados (Ash J. y Guappone K., 2007, p.7). Y esto es demostrado en el alto grado de confianza que se brinda en cada una de las citas e investigaciones empleadas, ya que son extraídas de portales web indizadas y confiables, que respaldan la seguridad de la información extraída. Otro criterio es la Transferibilidad o transferencia; este criterio permite que se información se pueda trasladar a otro estudio mediante otros contextos (Arias, M. y Giraldo, C., 2011, p.502-503). Esto es demostrado en la comparación de resultados que se realizaron pudiendo aplicar la transferibilidad; de igual manera el presente estudio puede servir de fuente académica para otros investigadores pudiendo debatir o comparar los resultados que se presenten. Así también el criterio de Fiabilidad o confirmación, consiste en aplicar una técnica reiterada veces, obteniendo un mismo resultado, asegurándose de tener información verdadera (Arias, M. y Giraldo, C., 2011, p.502). Otro criterio es la consistencia; se basa en la comprobación de un resultado mediante diferentes investigadores (Ash J. y Guappone K., 2007, p.7). Esto se aplica en la comparación y discusión de los resultados propios con los de otros investigadores.

3.8. Método de análisis de información

Las informaciones de las literaturas obtenidas fueron en base a la aplicación de diversas técnicas, como el método de triangulación. Esta es una técnica para analizar los resultados de un mismo estudio utilizando diferentes métodos de recopilación de

datos. Se utiliza para tres propósitos principales: mejorar la validez, crear una imagen más profunda de un problema de investigación e interrogar diferentes formas de entender un problema de investigación (Nightingale A., 2020, p.477). Entre los métodos se encuentra el método de categorización apriorística (Tabla N°1), en el punto 3.2. En él se detallan los objetivos específicos y problemas específicos; de los cuales se plantearon 3 categorías:

Primer criterio; las plantas más empleadas, esta categoría da lugar a las sub categorías que presentan los criterios1: De acuerdo al tipo de planta y criterio 2: De acuerdo al Género de la especie.

La segunda categoría es remoción del contaminante; dando lugar a dos sub categorías y ello tiene como criterio 1: determinarlo de acuerdo al contaminante inicial y como criterio 2: de acuerdo al tipo de planta

La tercera categoría es la caracterización de fitorremediación, dando lugar a 3 sub categorías que se demostraran aplicando los siguientes criterios: De acuerdo al contaminante encontrado en el agua y de acuerdo a la planta empleada para la fitorremediación.

3.9. Aspectos éticos

Los aspectos éticos cumplidos en este estudio se demuestran siguiendo con lo indicado en la guía de productos observables por la UCV, donde el autor de la investigación está comprometido a recibir las sanciones e infracciones descritas en la Resolución de Consejo Universitario N° 0126-2017/UCV, Artículo 22; así como la debida cita de las literaturas utilizadas mediante la norma ISO 690-2 y se respetara el derecho de autoría según lo estabilizado en la norma de la universidad cesar vallejo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con respecto a la realidad problemática abordada en el presente estudio de investigación; se busca resolver el primer objetivo; para analizar cuáles son las plantas más usadas para la fitorremediación de aguas contaminadas con metales pesados.

Algunas plantas han demostrado la capacidad de absorber y acumular metales, lo que ofrece el potencial de remediar el agua y los sedimentos contaminados con metales, además, se han identificado varias especies acuáticas que pueden absorber nanopartículas de ingeniería de óxido de metal y metal (ENP) (Ebrahimbabaie Parisa et al., 2020, p.1). Para lo cual se detalla en la tabla 3, la recolección de artículos que nos demuestran las plantas más empleadas para fitorremediar aguas contaminadas.

Tabla 4. Plantas más empleadas para la fitorremediación de aguas con iones metálicos

Tipo de planta más empleada	Familia	Tipo	Metal	Autor
<i>Phragmites karka</i>	Poaceae	Plantas exóticas invasoras Acuática	As	Rai Prabhat, 2021
<i>Arundo donax</i>	Gramíneas			
<i>Rumex dentatus</i>	Polygonaceae	Plantas nativas	Fe Zn Cu Cd Mn Ni Pb Hg Cr As	Sharma Pooja et al., 2021
<i>Ranunculus sceleratus</i>	Ranunculaceae			
<i>Cammelina benghalensis</i>	Commelinaceae			
<i>Momordica doica</i>	Cucurbitáceas	Hierbas nativas	As	Sharma P. et al., 2021
<i>Cannabis sativa</i>	Cannabaceae			
<i>hysterophorus</i>	Asteráceas			
<i>Tribulus terrestrispara</i>	Zygophyllaceae			
<i>Pontederia cordata</i>	Pontederiaceae	Planta acuática	Cd	Xin Jianpan et al., 2020

Tipo de planta más empleada	Familia	Tipo	Metal	Autor
<i>Typha latifolia.L</i>	Typhaceae	Planta acuática	As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn	Haghnazar Hamed et al., 2021
<i>Scirpus grossus</i>	Cyperaceae	Planta acuática	TSS, DQO y DBO	Nash Daniah et al., 2020
<i>Chenopodium album L.</i>	Amaranthaceae	Plantas nativas	Cu, As, Fe, Pb	Sharma P., Tripathi S., Chandra R., 2020
<i>Ricinus communis</i>	Euphorbiaceae			
<i>Ranunculus sceleratus</i>	Ranunculaceae			
<i>Rumex dentatus</i>	Polygonaceae			
<i>Ricinus communis L.</i>	Euphorbiaceae	Planta acuáticas	Pb, Cd y Zn	Tripathi Sonam et al., 2021
<i>Lemna minor</i> (lenteja de agua)	Araceae	Planta acuáticas	Cu	Panfili Ivan et al., 2017
<i>Salvinia auriculata</i> (salvinia)	Salviniaceae			
<i>Zostera marina</i>	Zosteraceae	Planta acuática	As, Pb yZn	Lee Garam et al., 2019
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Haloragaceae	Planta acuática nativa	N	Xiao Jino et al., 2016
<i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua)	Pontederiaceae	Planta acuática	Ag, Cd, Cu, Pb, Sb, Sn y Zn	Du Yongming et al., 2020
<i>Tabernaemontani</i>	Cyperaceae	Planta acuática	Cu, Zn y Cd	Wang Wei et al., 2021
<i>I. sibirica</i>	Iridaceae			
<i>P. cordata.</i>	Rosáceas			
<i>Potamogeton crispus</i>	Potamogetonaceae	Plantas acuáticas	Fe, Zn, Cd, Mn, Cu, Cr y Co	Nabi Masarat, 2021
<i>Phragmites australis</i>	Gramíneas			
<i>Ceratophyllum demersum</i>	Ceratophyllaceae			

Tipo de planta más empleada	Familia	Tipo	Metal	Autor
<i>Macrófitos flotantes (Eichhornia, Pistia y Spirodela)</i>	Gramíneas	Plantas acuáticas	Fe, Cu, Cd, Cr, Zn, Ni	Rai Prabhat, 2019
<i>Typha dominguensis</i>	Typhaceae	Plantas acuáticas	Pb	Vera Alexandra et al., 2016
<i>Canna generalis</i>	Cannaceae			
<i>Lemna minor</i>	Araceae	Plantas acuáticas	Se	Ohlbaum Macarena et al., 2018
<i>Egeria densa</i>	Hydrocharitaceae			
<i>Phragmites communis</i>	Gramíneas	Planta acuática	Cd, Ni, Cr y Cu	Sharma Pooja et al., 2021
<i>P. stratioides</i>	Araceae	Planta acuática	Pb (II) y Cr (III)	Meza Pérez et al., 2016
<i>Pistia stratiotes</i>	Araceae	Plantas acuáticas	NO ₂ , DBO ₅ , DQO	Mendoza Yoma et al., 2018
<i>Eichhornia crassipes</i>	Pontederiaceae			

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la revisión de 20 artículos científicos, se tuvo que el 90% de las plantas utilizadas para la fitorremediación de aguas con iones metálicos son plantas acuáticas; encontrándose las pertenecientes a las familias Araceae, Gramíneas y Poaceae; ello de acuerdo a lo siguientes investigadores: Rai Prabhat, 2021, Xin Jianpan et al., 2020, Haghazadeh Hamed et al., 2021, Nash Daniah et al., 2020, Tripathi Sonam et al., 2021, Panfili Ivan et al., 2017, Lee Garam et al., 2019, Xiao Jino et al., 2016, Du Yongming et al., 2020, Wang Wei et al., 2021, Nabi Masarat, 2021, Rai Prabhat, 2019, Vera Alexandra et al., 2016, Ohlbaum Macarena et al., 2018, Sharma Pooja et al., 2021, Meza Pérez et al., 2016, Mendoza Yoma et al., 2018.

Las aseveraciones realizadas son respaldadas por Singh Dig et al., (2020, p.1) quien indica que se ha descubierto que la exploración de plantas acuáticas es una técnica eficaz y ecológica para la purificación de entornos acuáticos; pudiendo eliminar las microalgas eficazmente N (90–98,4%), P (66% –98%), Pb (75% –100%), Zn (15,6–

99,7%), Cr (52,54% -96%), Hg (77% -97%), Cu (45% -98%) y Cd (2-93,06%) de sistemas acuáticos contaminados.

Siendo ello refutado por Manzatu Carmene t al., (2016, p.2) quien señala que, entre las diversas especies acuáticas, el jacinto de agua (*Eichhornia*) es altamente resistente entre las demás y puede tolerar la toxicidad de metales pesados, fenoles, formaldehídos, ácidos fórmicos, ácidos acéticos y ácidos oxálicos incluso en sus altas concentraciones. Ello es corroborado con Rezania Shahabaldin et al., (2016, p.1) en la tabla 2; quien señala que el jacinto de agua (*Eichhornia*) es altamente resistente y puede tolerar la toxicidad de metales pesados, y otros contaminantes incluso en sus altas concentraciones.

Ello es corroborado por Rana Vivek et al., (2021, p.1) quien señala que un método de biorremediación rentable que utilice macrofitas acuáticas es una técnica importante para el tratamiento de aguas contaminadas, debido a su eficiencia para la remoción de metales pesados. Lo cual fue refutado por Huang Wenmin et al., (2019. P.2) de quien afirma que las macrofitas acuáticas como la *Potamogeton crispus* son más sensible al Cd; no siendo recomendadas para su eliminación en medio acuático, ya que las plantas acuáticas presentan alta sensibilidad y toxicidad al Cd.

Así también en la tabla de antecedentes N°2; Hu Chengye et al., 2021 nos afirma que las concentraciones de Cd, Cu, Pb y Zn fueron considerablemente más altas en los moluscos, mientras que las concentraciones de Cr fueron significativamente más altas en las plantas acuáticas que en los moluscos, crustáceos y peces.

Por otro lado, actualmente, los métodos de tratamiento convencionales no siempre son efectivos para la eliminación completa de los contaminantes del agua; por ello la técnica de fitorremediación es una rama de la biorremediación que emplea la aplicación de plantas para la remediación de aguas residuales, donde, las plantas acuáticas tienen la capacidad de absorber el exceso de contaminantes tales como contaminantes orgánicos e inorgánicos, metales pesados y farmacéuticos presentes

en las aguas residuales agrícolas, domésticas e industriales (Mustafa H. y Hayder G., 2021, p.1).

Tabla 5. Porcentaje de remoción empleando plantas acuáticas

Planta	Cantidad inicial del metal	Porcentaje de remoción	Autor
<i>Phragmites karka</i>	Cd: 0,01mg/l 31.0 %	73.3%	Rai Prabhat, 2021
<i>Arundo donax</i>			
<i>Rumex dentatus</i>	Fe (124,65 mg/kg) Zn (56,33 mg/kg)	Las tres plantas redujeron: más del 50%	Sharma Pooja et al., 2021
<i>Ranunculus sceleratus</i>	Cu (6,34 mg/kg) Cd (9,02 mg/kg) Mn (23,64 mg/kg)		
<i>Cammelina benghalensis</i>	Ni (6,04 mg/kg) Pb (1,20 mg/kg) Hg (1,08 mg/kg) Cr (1,31 mg/kg) As (1,43 mg/kg)		
<i>Momordica doica</i>	Cr (5,63 mg/kg)	Reducción del As: 60% Cr: 75% Cd: 80%	Sharma P. et al., 2021
<i>Cannabis sativa</i>	Cd (7,53 mg/kg)		
<i>Hysterophorus</i>			
<i>Tribulus terrestrispara</i>			
<i>Pontederia cordata</i>	Cd: 0,44 mM (37,17%)	Remoción Cd: 93,29%	Xin Jianpan et al., 2020
<i>Typha latifolia.L</i>	Contaminación de los metales pesados en un 66%	<i>Typha latifolia L.</i> mostró buena capacidad de fitoestabilización para Cd, Cu y Pb, y capacidad de fitoextracción para Zn. Porcentaje >80%	Hagnazar Hamed et al., 2021
<i>Scirpus grossus</i>	No indica	TSS: 98% DQO: 88% DBO: 93%	Nash Daniah et al., 2020

Planta	Cantidad inicial del metal	Porcentaje de remoción	Autor
<i>Chenopodium album</i> L.	de Cu, Co, Cr, Ni o Pb: 1000 mg/L	Acumulación: Cu (25,75 mg/kg) As (23,20 mg/kg) Fe (20,90 mg/kg) Pb (22,41 mg/kg)	Sharma P., Tripathi S., Chandra R., 2020
<i>Ricinus communis</i>	Mn o Zn: 10,000 mg/L		
<i>Ranunculus sceleratus</i>			
<i>Rumex dentatus</i>			
<i>Ricinus communis</i> L.	No indica	Remoción mayor a 70%	Tripathi Sonam et al., 2021
<i>Lemna minor</i> (lenteja de agua)	Cu: 5.00 mmol/L	95 al 100%	Panfili Ivan et al., 2017
<i>Salvinia auriculata</i> (salvinia)			
<i>Zostera marina</i>	As: 8,5 Pb: 32,5 Zn: 106	As: 0.39 Pb: 0,79 Zn: 0,42	Lee Garam et al., 2019
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Cd: 161,05mg/L	Cd: 0.89 mg/L (84.8%)	Xiao Jino et al., 2016
<i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua)	Los 12 metales presentaron una concentración de 0,01 y 2 mg/L	Adsorción de los 12 metales en un 70% en las hojas y tallos del Jacinto de agua.	Du Yongming et al., 2020
<i>Tabernaemontani</i>	En 75 días: Cu: 45,06 % Zn: 42,40 Cd: 73,85	Remoción: Cu: 86,93% Zn: 87,22% Cd: 85,52%	Wang Wei et al., 2021
<i>I. sibirica</i>			
<i>P. cordata.</i>			
<i>Potamogeton crispus</i>	No indica	Fe> Zn> Mn> Pb> Cr> Cd = Cu> Co	Nabi Masarat, 2021
<i>Phragmites australis</i>		Fe> Zn> Mn> Cd> Pb> Cu> Cr > Co	
<i>Ceratophyllum demersum</i>		Fe> Zn> Pb> Mn> Co> Cr> Cd> Cu	
Macrófitos flotantes (<i>Eichhornia</i> , <i>Pistia</i> , <i>Pistia stratiotes</i> y <i>Spirodela</i>)	No indica	Remoción de Fe, Cu, Cd, Cr, Zn, Ni mayor 95% Fe: 4,4% Cr: 1,4% Cu: 42,4% Cd: 3,4% Zn: 79% Ni: 2,4%	Rai Prabhat, 2019

Planta	Cantidad inicial del metal	Porcentaje de remoción	Autor
<i>Typha dominguensis</i>	En 24 horas: Pb: 5, 10 y 15 mg/L	85,40%	Vera Alexandra et al., 2016
<i>Canna generalis</i>		95,36%	
<i>Lemna minor</i>	Se: 74 mg/L	Eliminación Se: 97% Con <i>L. minor</i> : 77% Con <i>E. densa</i> : 60%	Ohlbaum Macarena et al., 2018
<i>Egeria densa</i>			
<i>Phragmites communis</i>	Cd, Ni, Cr y Cu 50 mg/l a 1000 mg/l	Remoción de los metales en un porcentaje >90%	Sharma Pooja et al., 2021
<i>Pistia stratioides</i>	Pb: 1 y 5 mg/L Cr: 4 y 6 mg/L	Pb: 81,1 Cr: 69,9%	Meza Pérez et al., 2016
<i>Pistia stratiotes</i>	No indica	Remoción: NO ₂ : 78,5% DBO ₅ : 79,1% DQO: 76,2%	Mendoza Yoma et al., 2018
<i>Eichhornia crassipes</i>			

Fuente. Elaboración propia

Los porcentajes de remoción de las plantas acuáticas como fitorremediadoras de aguas contaminadas se encuentran en intervalos de 80 a 90%; siendo en un 90% el metal más estudiado el Cd; seguido del Pb, Zn y Cu. Siendo ello corroborado por los autores: Sharma P. et al., 2021, Xin Jianpan et al., 2020, Hagnazar Hamed et al., 2021, Xiao Jino et al., 2016, Wang Wei et al., 2021, Vera Alexandra et al., 2016, Sharma Pooja et al., 2021.

De acuerdo con Sharma Pooja et al., 2021; para remover el Cd en un 90% empleó la planta acuática *Phragmites communis* de la familia Poaceae, al igual que Wang Wei et al., 2021, Xiao Jino et al., 2016, Panfili Ivan et al., 2017, Xin Jianpan et al., 2020 y Sharma P. et al., 2021 obteniendo una remoción del Cd en 85.52%, 84.8%, 100%, 93.29% y 80% respectivamente.

Así también Xin Jianpan et al., (2020, p.1) el 76.90% de remoción del Cd 2+ fue secuestrado en las raíces de las plantas, restringiendo la translocación de raíces a brotes, lo que se considera un mecanismo de tolerancia, probablemente como resultado de la transpiración alterada en las hojas y un mayor contenido de Cd 2+ con

baja actividad; asegurando que *Pontederia cordata* es una planta acuática candidata para la fitorremediación de humedales contaminados con metales pesados.

Así también los resultados obtenidos son respaldados por Ebrahimbabaie Parisa et al., (2020, p.1) quien señala que, algunas plantas han demostrado la capacidad de absorber y acumular metales, lo que ofrece el potencial de remediar el agua y los sedimentos contaminados con metales, además, se han identificado varias especies acuáticas que pueden absorber nanopartículas de ingeniería de óxido de metal y metal (ENP).

Así mismo, los siguientes autores emplearon *Pistia stratiotes*; planta acuática perteneciente a la familia Araceae: Rai Prabhat, 2019, Sharma Pooja et al., 2021, Meza Pérez et al., 2016 y obtuvieron los siguientes óptimos resultados: Remoción de Fe, Cu, Cd, Cr, Zn, Ni mayor al 95%, Remoción de los metales Cd, Ni, Cr y Cu en un porcentaje >90% y remoción del Pb y Cr en un 81.1% y 69.9% respectivamente. Igual que, Ohlbaum Macarena et al., 2018, con la planta *Lemna minor* obteniendo un 97% de eliminación del Se y Rai Prabhat, 2019, utilizando macrófitas flotantes de la especie Araceae como la *Pistia stratiotes*, obteniendo ecomición del 95% de los metales Fe, Cu, Cd, Cr, Zn y Ni del agua.

De manera análoga, el segundo tipo de planta más empleada es de la familia Poaceae; siendo descrito por los siguientes autores: Sharma Pooja et al., 2021; con la planta *Phragmites communis* obteniendo un porcentaje mayor al 90%. Al igual que Patra Deepak K. et al., (2020, p.6) quien indica que la familia de las gramíneas Poaceae, puede explotarse como una herramienta potencial para la hiperacumulación de metales tóxicos a diferencia de otra familia.

Para el desarrollo del tercer objetivo, el definir los factores que afectan la eficiencia de la fitorremediación con plantas acuáticas, de acuerdo con God, J. (2020, p.4) menciona que para establecer un cultivo de plantas acuáticas es necesario tener en cuenta ciertos factores ambientales y operacionales tal como se describen en la tabla N°6.

Tabla 6. Factores que afectan la eficiencia de la fitorremediación con plantas acuáticas

FACTORES	DESCRIPCIÓN	AUTOR(ES)
Nutrientes	Requerimiento de nutrientes debido a que las plantas acuáticas tienen alto rendimiento en el proceso de absorción de nutrientes.	God, J., 2020, p. 10
Luz	La luz es un factor determinante en el proceso de fotosíntesis de las plantas, es por ello que se considera relevante en su crecimiento.	
Clima Condiciones geológicas Topografía	El clima, las condiciones geológicas, el agua y la topografía son esenciales para determinar la distribución de macrófitas. La colonización de varios ecosistemas acuáticos, está sujeta a la abundancia de rizomas, de su desarrollo y mecanismos de dispersión.	Rojas, L. y Suyon, E., 2020, p.21
Metabolismo de los contaminantes	El metabolismo de los contaminantes al interior y al exterior de la planta (rizósfera), los procesos que conducen a la completa degradación de los contaminantes (mineralización) y la absorción de los contaminantes.	Delgadillo, A., et al., 2016, p. 599

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al cuadro anterior, MOHD, N., et al. (2020), menciona que las plantas óptimas para la fitorremediación deben ser elegidas de acuerdo a su capacidad de eliminación del contaminante, para ello uno de los factores relevantes es su característica para acumular nutrientes (p.11).

Por otro lado, Shafaqat, A., et al, (2020), refiere que las plantas acuáticas en la fitorremediación acumulan contaminantes a través de sus raíces y luego translocan estos contaminantes en la parte superior de su cuerpo, es por lo cual las condiciones

climáticas y geológicas de su crecimiento es uno de los factores que interfieren en la eficiencia de dicho método de descontaminación (p.4).

En otro aspecto, Parisa, Weeradej y Pichtel (2020), consideran que las plantas acuáticas representan la base de la red alimentaria acuática y son responsables de la mayor parte de la productividad primaria en su entorno y son consideradas con gran capacidad de florecer en presencia de contaminantes además de demostrar su capacidad de absorber y acumular metales (p.152).

V. CONCLUSIONES

Finalmente, luego de realizar la revisión sistemática de diferentes estudios y de acuerdo a los objetivos planteados se concluye que:

- ✓ Las plantas más usadas para la fitorremediación de aguas contaminadas con metales pesados de acuerdo a las 20 literaturas nos indican que son en un 90% las plantas acuáticas pertenecientes a la familia Araceae, Gramíneas y Poaceae; siendo estas utilizadas para la fitorremediación de aguas con iones metálicos; ello es corroborado por diversos investigadores como Rana Vivek et al., (2021, p.1) quien señala que estas especies son rentables debido a su eficiencia para la remoción de metales pesados.
- ✓ Los porcentajes de remoción de las plantas acuáticas como fitorremediadoras de aguas contaminadas varían en un 80 al 90%, siendo en un 90% el metal más estudiado el Cd; seguido del Pb, Zn y Cu; debido a que el Cd se reconoce comúnmente como uno de los contaminantes ambientales más peligrosos que puede afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas en todos los niveles de organización biológica, desde el nivel subcelular hasta el nivel del ecosistema (Hoser S., 2018, p. 417).
- ✓ Por último, los factores que afectan la eficiencia de la fitorremediación con plantas acuáticas, son factores ambientales en las cuales se desarrollan las plantas y operacionales los cuales permiten que dicha flora actúe contra el contaminante.

VI. RECOMENDACIONES

El presente estudio recomienda a futuras investigaciones que:

- Realizar estudios más amplios sobre el uso de plantas acuáticas para la descontaminación de aguas residuales, donde también se incluyan plantas terrestres o aéreas.
- Evaluar la eficiencia entre distintas plantas acuáticas, terrestres y aéreas que impliquen la eliminación de contaminantes presentes en las aguas residuales.
- Realizar estudios a nivel piloto, utilizando las plantas acuáticas para obtener resultados directos de su eficiencia en su aplicación.

BIBLIOGRAFÍA

1. AHMED, M. K., et al. Tuning the composition of new brushite/vivianite mixed systems for superior heavy metal removal efficiency from contaminated waters. *Journal of Water Process Engineering*, 2020, vol. 34, p. 101090. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101090>
2. AJIBADE, Fidelis O., et al. Environmental pollution and their socioeconomic impacts. En *Microbe Mediated Remediation of Environmental Contaminants*. Woodhead Publishing, 2021. p. 321-354. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821199-1.00025-0>
3. Ameta, S. C. (2018). Introduction. *Advanced Oxidation Processes for Waste Water Treatment*, 1–12. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-810499-6.00001-2>
4. ANAND, Sangeeta, et al. Macrophytes for the reclamation of degraded waterbodies with potential for bioenergy production. En *Phytoremediation Potential of Bioenergy Plants*. Springer, Singapore, 2017. p. 333-351. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-10-3084-0_13
5. ANDRADE, Charity E., et al. Tolerancia de las plantas acuáticas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* al cromo hexavalente en medio acuoso. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia*, 2019, vol. 36, no 4, p. 343-365. Disponible en: ISSN-e 2477-9407
6. ANSARI, Abid Ali, et al. Phytoremediation of contaminated waters: An eco-friendly technology based on aquatic macrophytes application. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2020.03.002>
7. ASH, Joan S.; GUAPPONE, Kenneth P. Qualitative evaluation of health information exchange efforts. *Journal of biomedical informatics*, 2007, vol. 40, no 6, p. S33-S39. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2007.08.001>
8. BAENA, G. Metodología de a investigación: Serie integral por competencias. 3ªed. Ebook, México, 2017, 157pp. ISBN: 978-607-744-748-1
9. BALASURIYA, Abhaya. Coastal Area Management: Biodiversity and Ecological Sustainability in Sri Lankan Perspective. En *Biodiversity and Climate Change*

- Adaptation in Tropical Islands. Academic Press, 2018. p. 701-724. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813064-3.00025-9>
10. BATTEN, Janene; BRACKETT, Alexandria. Ensuring the rigor in systematic reviews: Part 3, the value of the search. *Heart & Lung*, 2021, vol. 50, no 2, p. 220-222. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2020.08.005>
 11. CARREÑO SAYAGO, Uriel Fernando; GRANADA TORRES, Carlos Arturo. Design, Development, and Evaluation of a Laboratory-Scale Phytoremediation System Using *Eichhornia Crassipes* for the Treatment of Chromium-Contaminated Waters. *Tecciencia*, 2017, vol. 12, no 22, p. 7-14. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18180/tecciencia.2017.22.2>
 12. CHOWDHURY, Shakhawat, et al. Heavy metals in drinking water: occurrences, implications, and future needs in developing countries. *Science of the total Environment*, 2016, vol. 569, p. 476-488. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.166>
 13. CUNNINGHAM, Scott D.; OW, David W. Promises and prospects of phytoremediation. *Plant physiology*, 1996, vol. 110, no 3, p. 715. Disponible en: <https://doi.org/10.1104/pp.110.3.715>
 14. DELGADILLO, Angelica, et al. Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Subtropical Agroecosystems*, Scielo, 2016, 14(1): 597 – 612 pp. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
 15. DEVARAJAN, Naresh, et al. Occurrence of antibiotic resistance genes and bacterial markers in a tropical river receiving hospital and urban wastewaters. *PLoS One*, 2016, vol. 11, no 2, p. e0149211. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149211>
 16. DU, Yongming, et al. Accumulation and translocation of heavy metals in water hyacinth: Maximising the use of green resources to remediate sites impacted by e-waste recycling activities. *Ecological Indicators*, 2020, vol. 115, p. 106384. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106384>
 17. EBRAHIMBABAIE, Parisa; MEEINKUIRT, Weeradej; PICHTEL, John. Phytoremediation of engineered nanoparticles using aquatic plants: Mechanisms

- and practical feasibility. *Journal of Environmental Sciences*, 2020, vol. 93, p. 151-163. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.03.034>
18. EDEBALI, Serpil; OZTEKIN, Yasemin; ARSLAN, Gulsin. Metallic engineered nanomaterial for industrial use. En *Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications*. Elsevier, 2018. p. 67-73. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813351-4.00004-3>
 19. EDITION, Fourth. Guidelines for drinking-water quality. WHO chronicle, 2011, vol. 38, no 4, p. 104-108. Disponible en: ISBN 978 92 4 154761 1
 20. EID, Ebrahim M., et al. Phytoremediation of heavy metals by four aquatic macrophytes and their potential use as contamination indicators: A comparative assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, vol. 27, no 11, p. 12138-12151. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07839-9>
 21. FAKHIMI, Amir Hoshang; KHANI, Ali Hossein; SARDROUD, Javad Majrouhi. Smart-city infrastructure components. En *Solving Urban Infrastructure Problems Using Smart City Technologies*. Elsevier, 2021. p. 17-54. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816816-5.00002-4>
 22. FLÁVIO, H. M., et al. Reconciling agriculture and stream restoration in Europe: A review relating to the EU Water Framework Directive. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 596, p. 378-395. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.057>
 23. GILMOUR, C.; RIEDEL, G. *Biogeochemistry of Trace Metals and Mettalooids*. 2009. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00095-8>
 24. GELLING, Leslie. Qualitative research. *Nursing Standard (2014+)*, 2015, vol. 29, no 30, p. 43. Disponible en: <https://doi.org/10.7748/ns.29.30.43.e9749>
 25. GOD, Jean. Aplicación de microalgas para la remoción de nutrientes agrícolas: Revisión de literatura. *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras*, 2020, 38 pp. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6747/1/IAD-2020-T020.pdf>
 26. GOMES, Marcos Vinícius Teles, et al. Phytoremediation of water contaminated with mercury using *Typha domingensis* in constructed wetland. *Chemosphere*,

- 2014, vol. 103, p. 228-233. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.11.071>
27. GONG, Wenwen, et al. Comparative analysis on the sorption kinetics and isotherms of fipronil on nondegradable and biodegradable microplastics. *Environmental Pollution*, 2019, vol. 254, p. 112927. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.095>
28. HAGHNAZAR, Hamed, et al. Potentially toxic elements contamination in surface sediment and indigenous aquatic macrophytes of the Bahmanshir River, Iran: Appraisal of phytoremediation capability. *Chemosphere*, 2021, p. 131446. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131446>
29. HÅKANSON, Lars; BRYHN, Andreas. *Water pollution*. Backhuys Publ, Leiden, 1999. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-075069899-3/50003-1>
30. HOSSAIN, Mobarok; PATRA, Pulak Kumar. Water pollution index—A new integrated approach to rank water quality. *Ecological Indicators*, 2020, vol. 117, p. 106668. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106668>
31. HU, Chengye, et al. Trophic transfer of heavy metals through aquatic food web in a seagrass ecosystem of Swan Lagoon, China. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 762, p. 143139. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143139>
32. JARAMILLO, María Consuelo; ZAPATA, Luisa Fernanda; MARULANDA, Tatiana. Fitorremediación de mercurio a partir de elodea sp. *Revista Ingenierías USBMed*, 2015, vol. 6, no 2, p. 42-45. Disponible en: ISSN-e 2027-5846
33. JAVED, Muhammad Tariq, et al. Phytoremediation of cadmium-polluted water/sediment by aquatic macrophytes: role of plant-induced pH changes. En *Cadmium toxicity and tolerance in plants*. Academic Press, 2019. p. 495-529. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814864-8.00020-6>
34. JORDAN, Yuyan C.; GHULAM, Abduwasit; HARTLING, Sean. Traits of surface water pollution under climate and land use changes: A remote sensing and hydrological modeling approach. *Earth-Science Reviews*, 2014, vol. 128, p. 181-195. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.11.005>

35. KAPOOR, Dhriti; SINGH, Mahendra P. Heavy metal contamination in water and its possible sources. En *Heavy Metals in the Environment*. Elsevier, 2021. p. 179-189. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821656-9.00010-9>
36. LEE, Garam, et al. Heavy metal accumulation and phytoremediation potential by transplants of the seagrass *Zostera marina* in the polluted bay systems. *Marine pollution bulletin*, 2019, vol. 149, p. 110509. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110509>
37. LEUNG, H. M., et al. Monitoring and assessment of heavy metal contamination in a constructed wetland in Shaoguan (Guangdong Province, China): bioaccumulation of Pb, Zn, Cu and Cd in aquatic and terrestrial components. *Environmental science and pollution research*, 2017, vol. 24, no 10, p. 9079-9088. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6756-4>
38. LI, Shengnan, et al. Technologies towards antibiotic resistance genes (ARGs) removal from aquatic environment: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, p. 125148. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125148>
39. LIU, Lingling, et al. Application of nanotechnology in the removal of heavy metal from water. En *Nanomaterials for the removal of pollutants and resource reutilization*. Elsevier, 2019. p. 83-147. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814837-2.00004-4>
40. LOZADA, José. Investigación Aplicada: Definición, propiedad intelectual e industrial. *Ciencia América, Dialnet*, 2014, 3(1): 47-50pp. ISSN: 190-9592 Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>
41. LUO, Xubiao; DENG, Fang (ed.). *Nanomaterials for the Removal of Pollutants and Resource Reutilization*. Elsevier, 2018. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=VqR6DwAAQBAJ&lpg=PP1&ots=6us1B1xiVe&dq=Nanomaterials%20for%20the%20Removal%20of%20Pollutants%20and%20Resource%20Reutilization&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q=Nanomaterials%20for%20the%20Removal%20of%20Pollutants%20and%20Resource%20Reutilization&f=false>

42. MÂNZATU, Carmen, et al. Laboratory tests for the phytoextraction of heavy metals from polluted harbor sediments using aquatic plants. *Marine pollution bulletin*, 2016, vol. 101, no 2, p. 605-611. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.10.045>
43. MENDOZA, Yoma I.; I PÉREZ, Jhonny; GALINDO, Andres A. Evaluación del aporte de las plantas acuáticas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales municipales. *Información tecnológica*, 2018, vol. 29, no 2, p. 205-214. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000200205>
44. Mareddy, A. R. (2017). Impacts on water environment. *Environmental Impact Assessment*, 217–248. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811139-0.00006-2>
45. MEZA PÉREZ, Marelis, et al. Bioabsorción de Pb (II) y Cr (III) usando la planta acuática *Pistia stratioides*. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 2013, vol. 28, no 3, p. 19-27. Disponible en: ISSN 0798-4065
46. MISHRA, Tripti; PANDEY, Vimal Chandra. Phytoremediation of red mud deposits through natural succession. En *Phytomanagement of polluted sites*. Elsevier, 2019. p. 409-424. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813912-7.00016-8>
47. MOHAJERANI, Abbas; KARABATAK, Bojana. Microplastics and pollutants in biosolids have contaminated agricultural soils: An analytical study and a proposal to cease the use of biosolids in farmlands and utilise them in sustainable bricks. *Waste Management*, 2020, vol. 107, p. 252-265. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.021>
48. MOHD, Nurul, et al. Efficiency of Five Selected Aquatic Plants in Phytoremediation of Aquaculture Wastewater. *Applied Sciences*, 2020, 10(8): 1 – 11 pp. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/8/2712>
49. MUSTAFA, Hauwa M.; HAYDER, Gasim. Recent studies on applications of aquatic weed plants in phytoremediation of wastewater: A review article. *Ain Shams Engineering Journal*, 2021, vol. 12, no 1, p. 355-365. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.009>

50. NABI, Masarat. Assessing the accumulation potential of heavy metals by *Potamogeton crispus*, *Phragmites australis* and *Ceratophyllum demersum* in an urban lake in Kashmir Himalaya, India. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 2021, p. 100509. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100509>
51. NAIDU, Ravi, et al. Emerging contaminants in the environment: risk-based analysis for better management. *Chemosphere*, 2016, vol. 154, p. 350-357. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.068>
52. Nightingale, A. J. (2020). Triangulation. *International Encyclopedia of Human Geography*, 477–480. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102295-5.10437-8>
53. NASH, Daniah Ali Hassoon, et al. Utilisation of an aquatic plant (*Scirpus grossus*) for phytoremediation of real sago mill effluent. *Environmental Technology & Innovation*, 2020, vol. 19, p. 101033. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101033>
54. OHLBAUM, Macarena, et al. Phytoremediation of seleniferous soil leachate using the aquatic plants *Lemna minor* and *Egeria densa*. *Ecological engineering*, 2018, vol. 120, p. 321-328. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.06.013>
55. PALAPA, Tommy Martho; MARAMIS, Alfonds Andrew. Heavy metals in water of stream near an amalgamation tailing ponds in Talawaan–Tatelu gold mining, North Sulawesi, Indonesia. *Procedia Chemistry*, 2015, vol. 14, p. 428-436. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.03.058>
56. PANDEY, Vimal Chandra; BAJPAI, Omesh. Phytoremediation: from theory toward practice. En *Phytomanagement of polluted sites*. Elsevier, 2019. p. 1-49. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813912-7.00001-6>
57. PANFILI, Ivan, et al. Combination of aquatic species and safeners improves the remediation of copper polluted water. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 601, p. 1263-1270. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.003>
58. PARISA, E., WEERADEJ, M. y PICHTEL, J. Fitorremediación de nanopartículas diseñadas utilizando plantas acuáticas: mecanismos y viabilidad práctica. *Revista de ciencias ambientales*, Sciencedirect, 2020, 93(1): 151 - 163 pp.

- Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001074220301157#!>
59. PATRA, Deepak Kumar, et al. Poaceae plants as potential phytoremediators of heavy metals and eco-restoration in contaminated mining sites. *Environmental Technology & Innovation*, 2020, p. 101293. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101293>
60. PETIT, S., & MADEJOVA, J. (2013). Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Handbook of Clay Science*, 213–231. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-098259-5.00009-3>
61. PRIMACK, R. B., & MORRISON, R. A. (2013). Extinction, Causes of. *Encyclopedia of Biodiversity*, 401–412. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384719-5.00050-2>
62. RAI, Prabhat Kumar. Heavy metals and arsenic phytoremediation potential of invasive alien wetland plants *Phragmites karka* and *Arundo donax*: Water-Energy-Food (WEF) Nexus linked sustainability implications. *Bioresource Technology Reports*, 2021, p. 100741. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100741>
63. RAI, Prabhat Kumar. Heavy metals/metalloids remediation from wastewater using free floating macrophytes of a natural wetland. *Environmental Technology & Innovation*, 2019, vol. 15, p. 100393. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100393>
64. RANA, Vivek; GHOSH, Dipita; MAITI, Subodh Kumar. Removal of heavy metals from coke-plant effluents by using wetlands. *En New Trends in Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewater*. Elsevier, 2021. p. 263-299. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822965-1.00011-8>
65. REIS, Andre Rodrigues dos; TABELI, K.; SAKAKIBARA, Y. Oxidation mechanism and overall removal rates of endocrine disrupting chemicals by aquatic plants. *Journal of hazardous materials*, 2016, vol. 265, p. 79-88. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.11.042>
66. REZANIA, Shahabaldin, et al. Perspectives of phytoremediation using water hyacinth for removal of heavy metals, organic and inorganic pollutants in

- wastewater. Journal of environmental management, 2015, vol. 163, p. 125-133. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.08.018>
67. ROJAS, Lisbet y SUYON, Elizabeth. Eficiencia de fitorremediación con jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para disminuir concentraciones de arsénico en aguas del centro poblado Cruz del Medano - Morrope – 2019, Universidad de Lambayeque, Chiclayo 2020, 65 pp. Disponible en: <https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/314/1/TESIS%20ROJAS%20Y%20SUON.pdf>
68. SAID, Olfa Ben, et al. Using *Sarcocornia fruticosa* and *Saccharomyces cerevisiae* to remediate metal contaminated sediments of the Ria Formosa lagoon (SE Portugal). *Ecohydrology & Hydrobiology*, 2019, vol. 19, no 4, p. 588-597. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.10.002>
69. SALAWU, Musa Oyewole; SUNDAY, Esther Timilehin; OLOYEDE, Hussein Oyelola Bukoye. Bioaccumulative activity of *Ludwigia peploides* on heavy metals-contaminated water. *Environmental Technology & Innovation*, 2018, vol. 10, p. 324-334. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.04.001>
70. SALOMONS, Wim; FÖRSTNER, Ulrich. *Metals in the Hydrocycle*. Springer Science & Business Media, 2012. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=moR9CAAQBAJ&lpg=PA1&ots=C9JJxiS5k-&lr&hl=es&pg=PA1#v=onepage&q&f=false>
71. SANDOVAL, Oscar Gustavo Miranda; TRUJILLO, Gerardo Cesar Díaz; OROZCO, Alma Elia Leal. Amorphous silica waste from a geothermal central as an adsorption agent of heavy metal ions for the regeneration of industrial pre-treated wastewater. *Water resources and industry*, 2018, vol. 20, p. 15-22. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2018.07.002>
72. Sany, S. B. T., Tajfard, M., Rezayi, M., Rahman, M. A., & Hashim, R. (2019). The West Coast of Peninsular Malaysia. *World Seas: An Environmental Evaluation*, 437–458. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100853-9.00050-6>
73. SAID, Olfa Ben, et al. Using *Sarcocornia fruticosa* and *Saccharomyces cerevisiae* to remediate metal contaminated sediments of the Ria Formosa lagoon (SE

- Portugal). *Ecohydrology & Hydrobiology*, 2019, vol. 19, no 4, p. 588-597. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.10.002>
74. Scholz, M. (2016). Natural Wetlands Treating Diffuse Pollution. *Wetlands for Water Pollution Control*, 339–360. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63607-2.00031-9>
75. SHAFQAAT, Ali, et al. Application of Floating Aquatic Plants in Phytoremediation of Heavy Metals Polluted Water: A Review, 2020, 12(5): 1 – 33 pp. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/5/1927>
76. SHAHABALDIN, Rezanía, et al. Comprehensive review on phytotechnology: heavy metals removal by diverse aquatic plants species from wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 2016, vol. 318, p. 587-599. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.07.053>
77. SHANKS, Graeme; BEKMAMEDOVA, Nargiza. Case study research in information systems. 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102220-7.00007-8>
78. SHARMA, Pooja, et al. Uptake and mobilization of heavy metals through phytoremediation process from native plants species growing on complex pollutants: Antioxidant enzymes and photosynthetic pigments response. *Environmental Technology & Innovation*, 2021, vol. 23, p. 101629. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101629>
79. TRIPATHI, Sonam, et al. Distillery wastewater detoxification and management through phytoremediation employing *Ricinus communis* L. *Bioresource Technology*, 2021, vol. 333, p. 125192. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125192>
80. SALEH, Hosam M., et al. Potential of the submerged plant *Myriophyllum spicatum* for treatment of aquatic environments contaminated with stable or radioactive cobalt and cesium. *Progress in Nuclear Energy*, 2020, vol. 118, p. 103147. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2019.103147>
81. SHARMA, Pooja, et al. Integrating phytoremediation into treatment of pulp and paper industry wastewater: Field observations of native plants for the detoxification of metals and their potential as part of a multidisciplinary strategy. *Journal of*

- Environmental Chemical Engineering, 2021, vol. 9, no 4, p. 105547. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105547>
82. SHARMA, Pooja; TRIPATHI, Sonam; CHANDRA, Ram. Phytoremediation potential of heavy metal accumulator plants for waste management in the pulp and paper industry. Heliyon, 2020, vol. 6, no 7, p. e04559. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04559>
83. SHARMA, Vishal, et al. Assessment of water quality using different pollution indices and multivariate statistical techniques. En Heavy Metals in the Environment. Elsevier, 2021. p. 165-178. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821656-9.00009-2>
84. SHARMA, Pooja, et al. Newly isolated Bacillus sp. PS-6 assisted phytoremediation of heavy metals using Phragmites communis: Potential application in wastewater treatment. Bioresource Technology, 2021, vol. 320, p. 124353. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124353>
85. SINGH, Dig Vijay, et al. Microalgae in aquatic environs: A sustainable approach for remediation of heavy metals and emerging contaminants. Environmental Technology & Innovation, 2020, p. 101340. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101340>
86. TASHARROFI, Saeideh, et al. Environmentally friendly stabilized nZVI-composite for removal of heavy metals. En New polymer nanocomposites for environmental remediation. Elsevier, 2018. p. 623-642. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811033-1.00024-X>
87. THUKRAL, A.; BHARDWAJ, Renu; KAUR, Rupinder. Water quality indices. sat, 2005, vol. 1, p. 99.
88. VARDHAN, Kilaru Harsha; KUMAR, Ponnusamy Senthil; PANDA, Rames C. A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. Journal of Molecular Liquids, 2019, vol. 290, p. 111197. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111197>
89. VERA, Alexandra, et al. Fitorremediación de aguas residuales con alto contenido de plomo utilizando Typha dominguensis y Canna generalis. Revista Técnica de la

- Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 2016, vol. 39, no 2, p. 088-095.
Disponible en: ISSN 0254-0770
90. Verla, A.W., Verla, E.N., Amaobi, C.E., Enyoh, C.E., 2018. Water Pollution Scenario at River Uramurukwa Flowing Through Owerri Metropolis, Imo State, Nigeria. *International Journal of Scientific Research* 3, 40–46. ISSN: 2056-7545
91. Water Pollution. (2003). *Environmental Engineering*, 51–79. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-075067294-8/50004-x>
92. WANG, Wei, et al. Removal effects of different emergent-aquatic-plant groups on Cu, Zn, and Cd compound pollution from simulated swine wastewater. *Journal of Environmental Management*, 2021, vol. 296, p. 113251. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113251>
93. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization, 1993. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=tDLdvJQAqmAC&lpg=PP1&ots=f-J9Y53AZz&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>
94. XIAO, Jibo, et al. An Eco-tank system containing microbes and different aquatic plant species for the bioremediation of N, N-dimethylformamide polluted river waters. *Journal of hazardous materials*, 2016, vol. 320, p. 564-570. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.07.037>
95. XIN, Jianpan, et al. *Pontederia cordata*, an ornamental aquatic macrophyte with great potential in phytoremediation of heavy-metal-contaminated wetlands. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2020, vol. 203, p. 111024. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111024>
96. ZHANG, Yingshuang, et al. A critical review of control and removal strategies for microplastics from aquatic environments. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, vol. 9, no 4, p. 105463. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105463>
97. ZHANG, Zhihao, et al. Removal of Pb (II) from aqueous solution using hydroxyapatite/calcium silicate hydrate (HAP/CSH) composite adsorbent prepared by a phosphate recovery process. *Chemical Engineering Journal*, 2018, vol. 344, p. 53-61. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.03.066>

98. ZHAO, Lili, et al. Absorption of heavy metal ions by alginate. Bioactive seaweeds for food applications, 2018, p. 255-268. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813312-5.00013-3>

ANEXOS

Anexo N°1: Ficha de análisis

 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
--	---------------------------------------

TITULO:

PAGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACIÓN <input type="text"/>	LUGAR DE PUBLICACIÓN <input type="text"/>
TIPO DE INVESTIGACIÓN:		AUTOR (ES):
CÓDIGO		
PALABRAS CLAVES		
ESPECIE DE PLANTA CON ACTIVIDAD FITORREMIADORA		
CAPACIDAD DE REMOCIÓN		
PORCENTAJE DE REMOCIÓN		
FACTORES AMBIENTALES		
RESULTADOS		
CONCLUSIONES:		

Elaboración propia



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Acta de Sustentación de Tesis

Siendo las 13:45 horas del 02 de noviembre del 2021, el jurado evaluador se reunió para presenciar el acto de sustentación de Tesis titulado: "Fitorremediación con Plantas Acuáticas en Aguas Contaminadas con Metales Pesados: Revisión Sistemática" Presentado por el / los autor(es) PAUCARA HUAMANI YESSICA LIZBETH Y MORALES CORNEJO VALERY, estudiante(s) de la Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL. Concluido el acto de exposición y defensa de Tesis, el jurado luego de la deliberación sobre la sustentación, dictaminó:

Autor	Dictamen
PAUCARA HUAMANI YESSICA LIZBETH	Unanimidad

Se firma la presente para dejar constancia de lo mencionado:

DR. FERNANDO ANTONIO SERNAQUE
AUCCAHUASI
PRESIDENTE

MG. SAMUEL CARLOS
REYNA MANDUJANO
SECRETARIO

MG. CESAR FRANCISCO HONORES BALCAZAR
VOCAL



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Acta de Sustentación de Tesis

Siendo las 13:45 horas del 02 de noviembre del 2021, el jurado evaluador se reunió para presenciar el acto desustentación de Tesis titulado: "Fitorremediación con Plantas Acuáticas en Aguas Contaminadas con Metales Pesados: Revisión Sistemática" Presentado por el / los autor(es) PAUCARA HUAMANI YESSICA LIZBETH Y MORALES CORNEJO VALERY, estudiante(s) de la Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Concluido el acto de exposición y defensa de Tesis, el jurado luego de la deliberación sobre la sustentación, dictaminó:

Autor	Dictamen
MORALES CORNEJO VALERY	Unanimidad

Se firma la presente para dejar constancia de lo mencionado:

DR. FERNANDO ANTONIO SERNAQUE
AUCCAHUASI
PRESIDENTE

MG. SAMUEL CARLOS
REYNA MANDUJANO
SECRETARIO

MG. CESAR FRANCISCO HONORES BALCAZAR
VOCAL



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Originalidad del Autor / Autores

Yo (Nosotros), PAUCARA HUAMANI YESSICA LIZBETH, MORALES CORNEJO VALERY estudiante(s) de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, declaro (declaramos) bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Trabajo de Investigación / Tesis titulado: "Fitorremediación con Plantas Acuáticas en Aguas Contaminadas con Metales Pesados: Revisión Sistemática" es de mi (nuestra) autoría, por lo tanto, declaro (declaramos) que el Tesis:

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

En tal sentido asumo (asumimos) 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.

Apellidos y Nombres del Autor	Firma
PAUCARA HUAMANI YESSICA LIZBETH DNI: 73140895 ORCID: 0000-0003-0930-9736	
MORALES CORNEJO VALERY DNI: 71877430 ORCID: 0000-0003-1653-1255	