



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales con  
Metales Pesados, Revisión Sistemática 2022.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL

**AUTORES:**

Montalban Lopez, Glendy Mabel (ORCID: 0000-0001-5703-5325)

Olivares Ayaucan Miguel Angel (ORCID: 0000-0002-0204-677X)

**ASESOR:**

Mg. Honores Balcazar Cesar Francisco (ORCID: 0000-0003-3202-1327)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2022

### **Dedicatoria**

Esta investigación la dedicamos a nuestra familia, por el apoyo incondicional e impulsarnos a cada día ser mejores tanto de manera personal como profesional, así mismo a cada uno de nuestros amigos y amigas que nos motivaron con sus palabras de aliento.

### **Agradecimiento**

- Agradecemos a Dios por sostenernos en todo momento y ayudarnos a salir adelante.
- Un agradecimiento especial a la universidad César Vallejo por habernos acogido y dado la oportunidad de ser parte de ella para seguir creciendo profesionalmente.
- Agradecemos a nuestro asesor Mg. César Francisco Honores Balcazar por el apoyo y la orientación durante el desarrollo de la investigación con su amplio conocimiento y experiencia.

## Índice del contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	19
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	19
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización .....	19
3.3. Escenario de estudio.....	21
3.4. Participantes .....	26
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	26
3.6. Procedimientos .....	27
3.7. Rigor científico .....	30
3.8. Método de análisis de información.....	31
3.9. Aspectos éticos.....	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	32
IV. CONCLUSIONES .....	60
VI. RECOMENDACIONES.....	61
REFERENCIAS.....	61
ANEXOS	

## Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de macrófitas .....	13
Tabla 2. Especies de macrófitas .....	15
Tabla 3. Matriz de Categorización Apriorística .....	20
Tabla 4. Eficiencia del humedal para tratar aguas con metales pesados.....	33
Tabla 5. Fuentes de agua en la remoción de metales pesados .....	44
Tabla 6. Tipos de humedales artificiales que se usan para la remoción de metales pesados.....	51
Tabla 7. Tipos de metales pesados removidos por humedales artificiales.....	53

## Índice de figuras

Figura 1. <i>Tiempo de retención hidráulica en humedales</i> .....	14
Figura 2. Área de un humedal artificial.....	10
Figura 3. Clasificación de macrófitos acuáticos según sus biotipos .....	14
Figura 4. Gráfico de procedimiento .....	29
Figura 5. Artículo de revisión por año.....	32
Figura 6. Fuentes de agua en la remoción de metales pesados .....	43
Figura 7. Cantidad de humedales artificiales utilizados para la remoción de metales pesados .....	45
Figura 8. Cantidad de metales pesados.....	58

## Resumen

La investigación tuvo como objetivo realizar una revisión sistemática en la que se hizo la búsqueda de artículos científicos en relación con la eficiencia de humedales artificiales para tratar aguas residuales con metales pesados, con un enfoque cualitativo narrativo de tópicos y de diseño no experimental, se consideró las categorías de aguas residuales, humedales artificiales, macrófitas y metales con el fin de analizar, evaluar y comparar la remoción de los mismos, los resultados de la investigación arrojaron que los humedales artificiales son sumamente eficientes, donde la eliminación más elevada es de Cu, Zn, Cd, Mn, Cr, Co, Pb, Ni y Fe que fue de 74,5% al 98%; respectivamente, se evidenció que los humedales artificiales utilizando el sistema de fitorremediación removieron los metales pesados presentes en las aguas residuales que fueron diseñados a escala de laboratorio y a escala real de acuerdo a la magnitud de la investigación.

**Palabras claves:** Macrófitas, aguas residuales, metales pesados, humedales artificiales.

## **Abstract**

The objective of the research was to carry out a systematic review in which the search for scientific articles was made in relation to the efficiency of artificial wetlands to treat wastewater with heavy metals, with a qualitative narrative approach of topics and non-experimental design, it was considered the categories of wastewater, artificial wetlands, macrophytes and metals in order to analyze, evaluate and compare their removal, the results of the investigation showed that artificial wetlands are highly efficient, where the highest removal is Cu, Zn, Cd, Mn, Cr, Co, Pb, Ni and Fe, which ranged from 74.5% to 98%; respectively, it was shown that the artificial wetlands using the phytoremediation system removed the heavy metals present in the wastewater that was designed on a laboratory scale and on a real scale according to the magnitude of the investigation.

**Keywords:** Macrophytes, wastewater, heavy metals, artificial wetlands.



## I. INTRODUCCIÓN

Los metales pesados son especies peligrosas que inducen a diversos problemas ambientales y de salud. La mayoría de las industrias descargan aguas residuales y efluentes que contienen materiales tóxicos, principalmente metales pesados, en sistemas acuáticos sin tratamiento, lo cual es un problema ambiental importante (Bali y Tlili, 2019), en ese contexto las aguas residuales conduce a la acumulación de varios metales pesados como cadmio, plomo, níquel y zinc lo cual para la mayoría de casos resulta difícil de eliminar estos metales, y los tratamientos aplicados resultan ser ineficientes (Liu et al., 2020).

Por otra parte, la coexistencia de metales pesados y compuestos orgánicos en los efluentes industriales y urbanos es un problema frecuente. Estos contaminantes suelen tener composiciones y propiedades disímiles, lo que hace que su eliminación completa sea muy tediosa incluso con el uso de métodos convencionales (Ajiboye et al., 2021), entre los contaminantes del agua por los metales pesados son los no biodegradables, que se acumulan fácilmente en los seres vivos , por lo que son perjudiciales para el ser humano y los ecosistemas acuáticos, entre los metales pesados que han provocado esta problemática encontramos al Cd, Ni, Cu, Fe, Zn, Ti, Hg, Mn, Cr, As y Pb (Tamiru y Bekele, 2020).

Las aguas residuales con metales pesados representan un grave riesgo para la población, este tipo de efluentes lo podemos encontrar en aguas procedentes de las industrias como lo son del sector minero, textil, curtiembres, galvanoplastia ,entre otros, que conducen a generar mayores problemas de contaminación, como consecuencia de ello se hace necesario proponer nuevas estrategias que permitan recuperar estas aguas, entre las alternativas encontramos tecnologías innovadoras y ecológicas como la aplicación de fitorremediación, mejoramiento de especies de macrófitos, utilización de carbón activado, biorremediación, entre otras que son aplicadas para tratar las aguas residuales con presencia de metales pesados, estas alternativas son eficientes pues permiten recuperar y reducir el impacto de las mismas. (Quevedo, 2021).

En Perú diversas fuentes de agua han sido contaminadas por actividades que generan fluidos que contienen metales pesados, que afectan de manera directa al agua en cada descarga, estas aguas por tener estas condiciones generan

contaminación a gran escala que afecta a la flora y fauna de los ecosistemas, estos efluentes son descargadas de manera directa sin ningún tipo de tratamiento, lo cual provoca que exista la propagación de muchas enfermedades que día a día perjudican la calidad de vida de la población y del ambiente (Gomez y Sanchez, 2020).

A pesar de que se han reportado documentos que informan sobre los avances en la investigación y aplicaciones de humedales artificiales y naturales, no se conoce de manera integrada los nuevos enfoques desarrollados y las tendencias en las aplicaciones. Es necesario integrar la información existente y mostrar los nuevos enfoques que inclinen a la ingeniería genética aplicada a las plantas, clonaciones, uso de nanomateriales y la combinación de métodos para mejorar la eficiencia de las unidades de tratamiento con humedales.

La investigación se justifica teóricamente porque se profundiza en los enfoques que tratan la problemática de las aguas residuales que contienen metales pesados a fin de avanzar en el conocimiento en una línea de investigación y así conducir a que el vacío científico encontrado permita llenarse de forma total o parcialmente, se justifica económicamente porque durante el desarrollo, este no demandará gastos económicos elevados, ya que el estudio se basa en una revisión sistemática, donde se buscó y analizó información entorno al título de la investigación , seguidamente el estudio se justifica socialmente porque permite soluciones a la problemática existente a través de la recolección de investigaciones en la cual se puede optar y elegir cuales sean las mejores opciones, esto influirá de manera positiva en la población ya que se obtendrá información acerca de las tendencias relacionadas al tratamiento de aguas residuales con metales pesados .

Para esta investigación se planteó como problema general: ¿Cuál es la eficiencia de los Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales con metales pesados?, y como problemas específicos:

**PE1:** ¿Cuáles son las fuentes de aguas residuales?

**PE2:** ¿Cuáles son los tipos y condiciones operacionales de los humedales artificiales que se usan para la remoción de metales pesados?

**PE3:** ¿Cuál es la taxonomía de las macrófitas en el tratamiento de aguas residuales con metales pesados?

**PE4:** ¿Cuáles son los metales pesados removidos en las aguas residuales usando humedales artificiales?

Se pretende alcanzar los objetivos mediante el análisis de documentos a través de la revisión sistemática de trabajos de investigaciones relacionados a humedales artificiales para tratar aguas con metales pesados, para ello se planteó como objetivo general: Determinar la eficiencia de los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales con metales pesados y como objetivos específicos:

**OE1:** Determinar las fuentes de aguas residuales.

**OE2:** Determinar los tipos de humedales artificiales que se usan para la remoción de metales pesados a través de las condiciones operacionales de los mismos en el tratamiento de aguas residuales con metales pesados.

**OE3:** Identificar los metales pesados removidos en las aguas residuales usando humedales artificiales.

**OE4:** Evaluar las condiciones operacionales de los humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales con metales pesados.

## II. MARCO TEÓRICO

Mittal, et al (2022) en su investigación tuvo como objetivo mejorar la desintoxicación del colorante azoico y otros contaminantes que contienen aguas residuales utilizando una innovadora pila de combustible microbiana (CW-MFC) de humedales construidos de dos cámaras basada en una membrana de tierra. Los resultados obtenidos revelaron eliminación del colorante azoico del  $94,22 \pm 1,33$  % de las aguas residuales sintéticas que contenían 50 mg/L de colorante azoico de naranja de metilo (MO), junto con el colorante actual.

Chavan y Mutnuri (2021) en su investigación el objetivo es tratar las aguas residuales en un Humedal Artificial de Flujo Vertical híbrido (VFCW-4.2 m 2). Se observó que el sistema integrado eliminaba el 77,4 % de  $\text{NH}_4\text{-N}$ , el 75,8 % de TKN y el 63,6 % de  $\text{PO}_4\text{-P}$ . El presente estudio demostró un intento inicial de demostrar un sistema híbrido de tratamiento de aguas residuales para la producción de productos de valor agregado en términos de biocombustibles.

Rashmi y Surindra (2018) en su investigación el objetivo fue comparar los sistemas de humedales construidos de flujo horizontal (HFCW) y flujo vertical (VFCW) en el tratamiento de aguas residuales lácteas (DWW) y simultáneamente cosechar biomasa vegetal de las unidades. En los resultados se evidenciaron metales pesados (Fe, Cr y Ni) durante 9 meses. Una configuración sin soporte de plantas actuó como control, el VFCW superó al HFCW en términos de eliminación de metales pesados, mientras que  $\text{NO}_3\text{-N}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  mostraron una alta eliminación en HFCW. Se concluye alto poder calorífico (HHV) calculado sobre la base de resultados indica que *Typhala* biomasa se puede utilizar como materia prima potencial para operaciones de energía renovable.

Zamora, et al. (2021) en su investigación tuvo como objetivo identificar los metales pesados que contaminan el agua. De acuerdo a los resultados se precisas que aproximadamente el 40% de los ríos y lagos del mundo han sido contaminados por metales pesados. Las fuentes de estos contaminantes pueden ser antropogénicas y naturales, así mismo se muestra que las actividades de industrialización, urbanización y antropogénicas son elementos claves para el incremento de contaminantes (metales pesados). Se concluyó que la contaminación del agua por

metales pesados es particularmente preocupante ya que ha mostrado un aumento dramático durante las últimas décadas. Por lo tanto, es necesario desarrollar estrategias, políticas, tecnologías y materiales para abordar este problema, evitando también los efectos potencialmente devastadores sobre la salud humana y el medio ambiente.

Wolowiec, et al. (2019) en su investigación se plantearon como objetivo analizar la capacidad de absorber metaloides y metales pesados del recurso hídrico posteriores a la coagulación de los tratamientos del recurso hídrico superficial. En los resultados se muestran las capacidades de absorción, en cuanto a la remoción de Hg (II) la capacidad de remoción fue de 79.0%, Pb 53,9 %, Cd 5.3%, Cr (III) 19.2% y Cr (VI) 10.9%. Se concluye que la polución de las aguas subterráneas y superficiales con metales pesados es una problemática importante a nivel mundial y es fundamental desarrollar una tecnología correcta para depurar los metales pesados de soluciones acuosas.

Etteieb, et al. (2021) en su investigación tuvo como objetivo usar humedales construido a escala de laboratorio para la eliminación de selenio, nutrientes y metales pesados. Este trabajo logró una tasa máxima de remoción de selenio de 54.13% correspondiente al mayor tiempo de residencia hidráulica (casi 47 días). *Typha Latifolia* fue eficiente para la asimilación y eliminación de selenio de los efluentes de la mina. El 4,4% de la masa de se acumuló en la biomasa subterránea y aérea, mientras que el 32,2% se volatilizó. Niveles <1,69 mg de selenato, <1,69 mg de selenita, <3,39 mg de selenometionina y <3,39 mg de especies desconocidas de selenio se distribuyeron en la biomasa subterránea, mientras que los niveles <0,75 mg de selenato, <0,75 mg de selenita, <1,51 mg de selenometionina y <1,51 mg de Se encontraron especies de selenio desconocidas en las hojas de *T. Latifolia*.

Kumar, et al., (2022) en su investigación tuvo como objetivo demostrar la importancia de la aplicación de plantas en la purificación de las aguas residuales. El uso de plantas es un método sostenible y rentable que utiliza para transformar y estabilizar varios contaminantes del agua. Las especies de plantas acuáticas, en su mayoría el grupo diverso de macrófitas, se han explotado durante mucho tiempo

como especies indicadoras para determinar la salud de las masas de agua. Los macrófitos acuáticos pueden influir en la estructura del hábitat y la dinámica de los nutrientes en los cuerpos de agua. Estudios recientes demostraron la aplicación efectiva de macrófitos como Azolla, Eichhornia, Lemna, Potamogeton, Wolfa y Wolfiallapara la fitorremediación de metales pesados tóxicos y diferentes compuestos orgánicos/inorgánicos.

**Aguas residuales industriales:** Las aguas residuales industriales son el producto de actividades antropogénicas en el ambiente, pudiendo aparecer por procesos de escorrentías, domésticos e industriales. Poseen alta concentración de compuestos químicos que pueden ocasionar riesgos y volverse una amenaza para la salud pública y para el ambiente.

**Aguas residuales urbanas:** Las aguas residuales urbanas son aquellas que se caracterizan por tener procedencia de orígenes industriales y domésticas, de esta forma las aguas residuales tienen una alta carga de compuestos contaminantes que afectan de manera directa el ambiente. (Carvajal et al., 2018).

**Humedales artificiales de flujo libre o superficial:** Su objetivo es de simular los procesos naturales que se desarrollan dentro de un humedal natural, las partículas son desplazadas de manera suave y a la vez son asentadas, se eliminan agentes patógenos, y por último las plantas y organismos utilizan los nutrientes para su crecimiento. Este diseño de humedales es utilizado en los tratamientos secundarios y para generar, restaurar o en todo caso restaurar ecosistemas acuáticos, los elementos que componen un humedal artificial de flujo superficial está constituidos con un área de poca profundidad con paredes ataludadas, cuando se detectan suelos con permeabilidad hidráulica se utilizan geo membranas para que de esa manera no se produzca infiltraciones.

**Los humedales artificiales de flujo subsuperficial:** Los humedales de flujo vertical son aquellos humedales que se caracterizan por brindar un tratamiento adecuado de las aguas residuales, en ese contexto este tipo de humedales ofrecen una tecnología que es de bajo costo para la eliminación de contaminantes con carga microbiana, en ese mismo contexto los humedales permiten un correcto direccionamiento de los movimientos del agua conocidos como fenómenos

hidráulicos, esto influye en las diversas reacciones cinéticas que permiten generar reacciones químicas dentro de la descomposición de la materia orgánica en presencia de los microorganismos, por ello es de vital importancia conocer cuál es el comportamiento de los microorganismos en la descomposición de la materia orgánica (Asprilla, et al., 2020). Dentro de los humedales artificiales de flujo subsuperficial existen los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, este tipo de humedales se caracterizan porque el movimiento del agua se realiza en un entorno granular, donde la eficiencia de las plantas se determinan por intermedio de las raíces y su profundidad, los humedales en estas fases se establecen por medios granulares entrando en contacto con el agua en un proceso transferido que requiere una cantidad de oxígeno determinada, donde las bacterias aeróbicas cumplen en desarrollar sus propias funciones se desarrollen en el área y de esa manera sean degradados los compuestos orgánicos, este tipo de sistema es el más utilizados para el tratamiento de las aguas residuales, en ese sentido este tipo de humedales representan una buena alternativa para recuperar aguas residuales, es por ello que se debe promover el uso adecuado de este tipo de humedales con el fin de recuperar las aguas contaminadas por metales pesados (Moreno y Rangel, 2018). También en su clasificación existen los humedales artificiales de flujo vertical que son aquellos que se caracterizan por requerir gravilla para que puedan funcionar correctamente, este tipo de plantas se desarrollan en dos etapas, en la primera etapa el sistema admite las aguas sin haber realizado un breve tratamiento y se caracteriza por tener filtros, la segunda etapa se caracteriza por tener etapas que permiten completar el tratamiento, tratan las aguas con flujos continuos y discontinuos, asimismo estos humedales remueven de manera correcta los contaminantes que están presentes en el agua y con ello disminuir el impacto (Carchi y Garcia, 2021).

**Composición del sustrato:** Los humedales están conformados por arena, grava y/o roca o sedimentos, una de las principales características del humedal es que tiene que ser permeable para que permita el acceso del agua, en ese contexto mayormente se usa suelo de tipo granular, por el cual el suelo que contiene el humedal debe ser de un diámetro de 5 mm aproximadamente, los sustratos en los humedales son de gran importancia porque permite soportar a los microorganismos

vivos , influyendo a que exista movimiento del agua a través del sistema, además otras de las funciones que cumple es que existe las transformaciones microbianas teniendo lugar dentro del sustrato ya que este se encarga de almacenar diversos contaminantes y acumula restos de vegetación, la composición del sustrato es de vital importancia en el humedal porque permite reducir los índices de contaminación del agua residual que se pretende dar tratamiento (Alarcon, et al., 2018).

**Tratamiento preliminar:** Para realizar el tratamiento de un efluente es necesario realizar un tratamiento preliminar que consiste en eliminar las arena y los sólidos gruesos que se encuentran presentes en el agua, con el fin de reducir la sobrecarga de contaminación luego de realizar las posteriores etapas de tratamiento, el tratamiento de las aguas residuales es de suma importancia porque permite reducir en grandes rasgos la contaminación del agua, las consecuencias del mal manejo de las aguas residuales se podría deber básicamente a las obstrucciones de las tuberías, a los desgastes de los equipos, la presencia de objetos como arena, basura, plásticos entre otros objetos, por ello es importante que en esta etapa se realiza de la manera más eficiente con el fin de acarrear posibles consecuencias en el corto, mediano y largo plazo. La adición de tecnologías para el mejoramiento de tratamientos sigue siendo un amplio espacio a trabajar, los cuales permite de manera ecológica reducir la carga de contaminantes presentes en las aguas residuales siendo así de suma importancia para la investigación dar mayor énfasis a las mismas.

**Ingeniería genética:** La ingeniería genética es un procedimiento que consiste en la manipulación directa de los genes de un determinado organismo el cual hace uso de la biotecnología con el objetivo de modificar los genes, en la genética se inserta o se elimina material genético haciendo uso de diferentes tecnologías para mejorar las condiciones de una determinada especie.

**Híbridos:** Hablar de híbridos es mencionar al descendiente del cruce entre especies, géneros o, en casos raros, familias, distintas, este cruce se realiza con el objetivo de mejorar las condiciones genéticas de la especie que ha realizado el cruce entre una especie y la otra, por ello los híbridos permiten mejorar las condiciones de una determinada y así asegurar que se desarrollen de la mejor



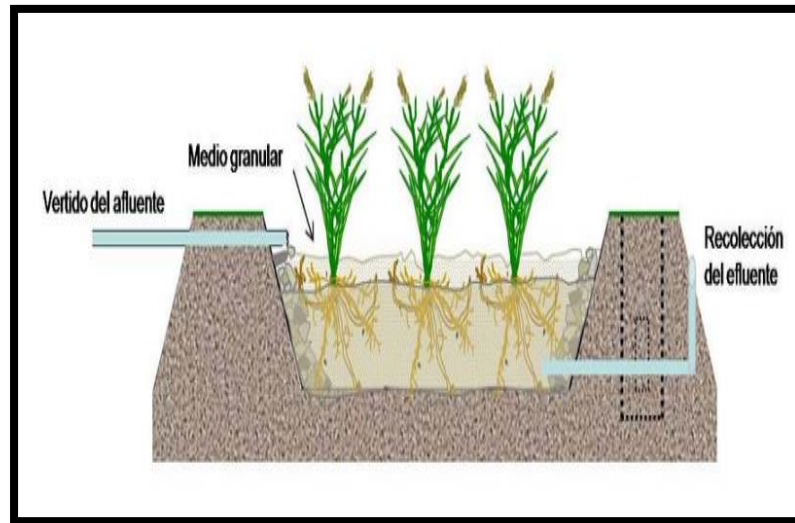
manera dentro un entorno, adaptándose en un menor tiempo posible y así se obtengan híbridos que cumplan con las exceptivas para un determinado fin que se está pretendiendo realizar (Milicia et al., 2021).

**Carbón activado:** El carbón activado es un material carbonoso poroso con aplicaciones en continua expansión en el tratamiento y desalinización de agua, tratamiento de aguas residuales y purificación de aire debido a sus características únicas. El carbón activado es un material adsorbente muy diverso que incluye un alto grado de porosidad y una gran área superficial. El carbón activado tiene muchas aplicaciones en el medio ambiente y la industria para la eliminación, recuperación, separación y modificación de varios compuestos en fase líquida y gaseosa, las ventajas del carbón activado es que se caracteriza por ser adsorbente a base de polímero con alta calidad en el tratamiento de aguas residuales, diseño de proceso simple, fácil explotación del proceso (Heidarinejad et al., 2020).

**Biorremediación:** La biorremediación en la actualidad se considera una buena alternativa que permite recuperar de manera progresiva la contaminación ocasionada por metales pesados, en ese sentido la biorremediación en la actualidad juega un papel importante porque permite recuperar aguas o suelos que han sido contaminados por metales pesados, el uso de microorganismo incluye que se debe usar enzimas, o estimulantes, hongos, bacterias que logren reducir en gran medida los contaminantes orgánicos presentes en el suelo, el agua o el aire. Toda la biorremediación diseñada se puede caracterizar como bioestimulación, bioaumentación o procesos que usan ambos (Verma y Kuila, 2019).

**Retención hidráulica:** La retención hidráulica es el periodo de tiempo que el agua permanece en una unidad de tratamiento, desde la captación hasta que el efluente salga desde la unidad de tratamiento.

Figura 1: Tiempo de retención hidráulica en humedales



Fuente: Borja (2015)

Por otro lado, el tiempo de retención hidráulica resulta de la siguiente expresión:

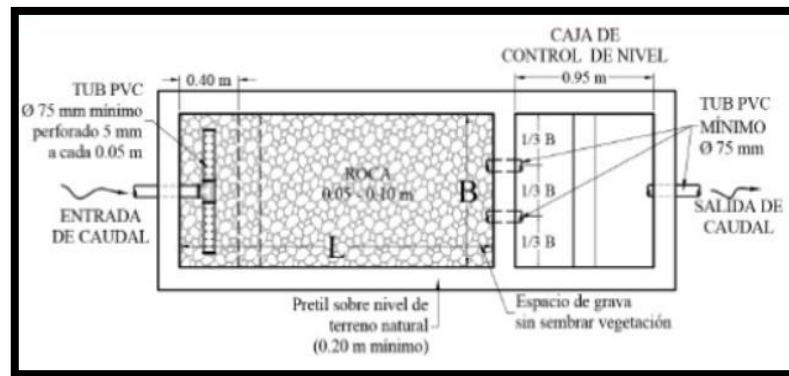
$$t = \frac{V}{Q_{med,d}} = \frac{LW(D_m \cdot n + D_w)}{Q_{med,d}}$$

**Dónde:**

- t: tiempo de retención hidráulico (d)
- V: volumen del humedal (m<sup>3</sup>)
- Q<sub>med,d</sub>: Caudal medio diario a tratar (m<sup>3</sup>/d)
- L: longitud del humedal (m)
- W: ancho del humedal (m)
- D<sub>m</sub>: la profundidad del sustrato (m)
- n: la porosidad (en tanto por 1)
- D<sub>w</sub>: profundidad de la lámina de agua (m).

**Área del humedal:** Según Hernandez et al. (2012) para el cálculo del área del humedal artificial se hace uso de la siguiente fórmula, con esta fórmula se podrá tener una idea más precisa y clara sobre la dimensión que se debe tener en cuenta para el diseño del humedal.

Figura 2. Área de un humedal artificial



Fuente: Boris (2020)

$$A_{fw} = \frac{qt}{10000d}$$

**Dónde:**

$A_{fw}$ = superficie del humedal

$q$ =Gasto del agua residual,  $m^3/d$

$t$ =tiempo de retención, días

$d$ =profundidad

**Población vegetal de los humedales:** Respecto a la población vegetal usada para los humedales el primer reporte sobre su uso fue de la Dra. Kate Seidel del Instituto Max Planck en Alemania, en su investigación hizo uso del junco común (*Schoenoplectus lacustris*) para la remoción de contaminantes, tanto orgánicos como inorgánicos así como para la desaparición de bacterias patógenas, en el mismo contexto la Dra. Seidel desarrollo un sistema conocido como Max Planck, cuyo diseño de humedales fue de una combinada de humedales de flujo vertical con flujo horizontal.

La preservación de la población vegetal de las plantas acuáticas es un pilar clave en la conservación de la biodiversidad: los ecosistemas acuáticos continentales se encuentran entre los que corren mayor riesgo a nivel mundial. escala global, y las plantas acuáticas son uno de los grupos biológicos más amenazados. Además, las plantas acuáticas juegan un papel crucial en la colonización. ambientes regulando activamente los ciclos de carbono y nutrientes, proporcionando nichos y recursos alimenticios para el metabolismo heterótrofo, por la estabilización física y química de los cuerpos de agua colonizados, por ello la vegetación en los humedales artificiales es de crucial importancia porque absorber todos los contaminantes del agua residual para que posteriormente este efluente no genere contaminación en el ambiente.

**Macrófitas:** Los macrófitas acuáticos son "organismos fotosintéticos acuáticos, lo suficientemente grandes como para verse a simple vista, que crecen de forma permanente o periódicamente sumergidos debajo, flotando o subiendo a través de la superficie del agua" de cuerpos de agua continentales de agua dulce o salobre. Esta definición incluye plantas acuáticas que viven en cuerpos de agua y cursos de agua continentales permanentes, temporales y efímeros. Las masas de agua continentales permanentes (incluidos lagos, ríos, canales, embalses y otras aguas continentales que rara vez se secan. (Murphy, et al., 2019).

Los macrófitos son componentes esenciales en el diseño de humedales. La Teoría de la Zona Raíz, presentada por Seidel y Kickuth en 1972, enfatizó el papel de los macrófitos en el sistema de tratamiento de aguas residuales de los humedales y promovió en gran medida el estudio y la aplicación de los CW, es por ello que las macrófitas sumergidas, debido al estilo de vida sumergido, son sustratos naturales para los microorganismos (conocidos como biopelículas epífitas) y tienen un papel ecológico importante en los ecosistemas acuáticos, Pueden proporcionar a los consumidores alimentos y oxígeno, lo que es beneficioso para las bacterias aeróbicas adheridas a las plantas y promueve la transformación de los nutrientes en el agua. Los macrófitos sumergidos pueden liberar sustancias alelopáticas a los microbios epífitos, lo que da lugar a comunidades de bacterias epífitas diversas y específicas del huésped (Liu, et al., 2020).

Las plantas acuáticas hidrófitas son todos aquellos vegetales que tienden a colonizarse y ubicarse en entornos acuáticos puesto que son capaces de adaptarse y vivir en de dichos hábitats, permiten la oxigenación del sustrato ayudan en la eliminación de nutrientes y pueden crear comunidades bacterianas, el agua se dirige por el sustrato y la vegetación, por ello las plantas utilizadas para el tratamiento de aguas residuales son sumamente importantes porque permiten reducir en gran medida la contaminación de las aguas que contienen una carga elevada de microorganismos, por tanto es recomendable adoptar medidas donde se haga el uso de diversas especies plantas que permitan recuperar las aguas que se encuentran contaminadas. De acuerdo con Cortese (2021) las macrófitas se clasifican de la siguiente manera que a continuación se va a detallar:

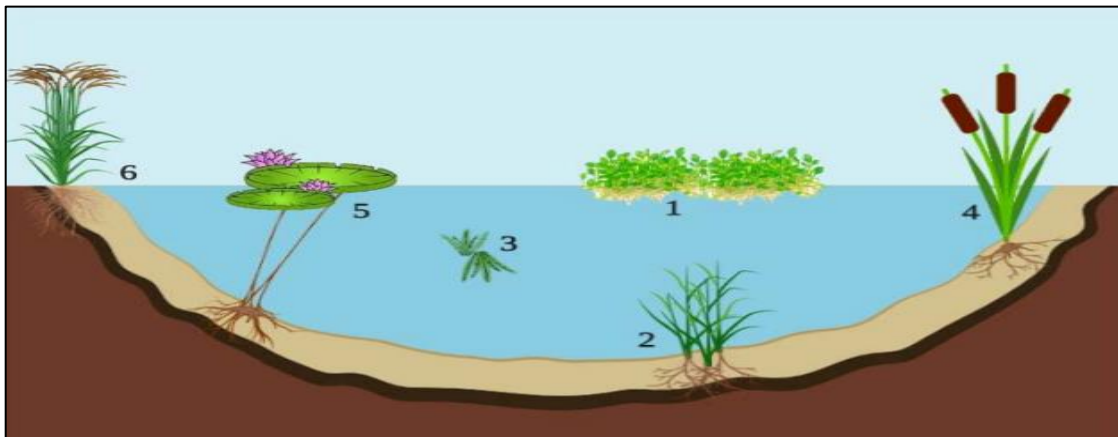
*Tabla 1. Tipos de macrófitas*

Macrófitas	
Palustre	Este es un tipo de rizoma sumergido, el cual se encuentra enterrado en el barro, permitiendo que la planta se fije y se sostenga a partir del cual surgen los tallos, las hojas y las flores de las plantas.
Flotantes	Se sumergen una parte comúnmente como las raíces, mientras que la otra es emergente, estas plantas se caracterizan porque favorecen la flotación de la planta
Sumergidas	Estas plantas se caracterizan porque se encuentran debajo el agua, pero en muchos casos presentan plantas emergentes como (apices de tallos, hojas y flores)

*Fuente: Cortese (2021)*

Para Kochi et al., (2020) los macrófitos se clasifican según sus biotipos, reflejando sus interacciones con el medio acuático como sumergido, emergente, flotante, sumergido libre, sumergido enraizado, sumergido con hojas flotantes o anfifitas.

Figura 3. Clasificación de macrófitos acuáticos según sus biotipos



(1) Flotación libre. (2) Enraizado.sumergido. (3) Sumergido libre. (4) Emergen (5) Sumergido con hojas flotantes. (6) anfífitos

Fuente: Kochi et al., (2020)

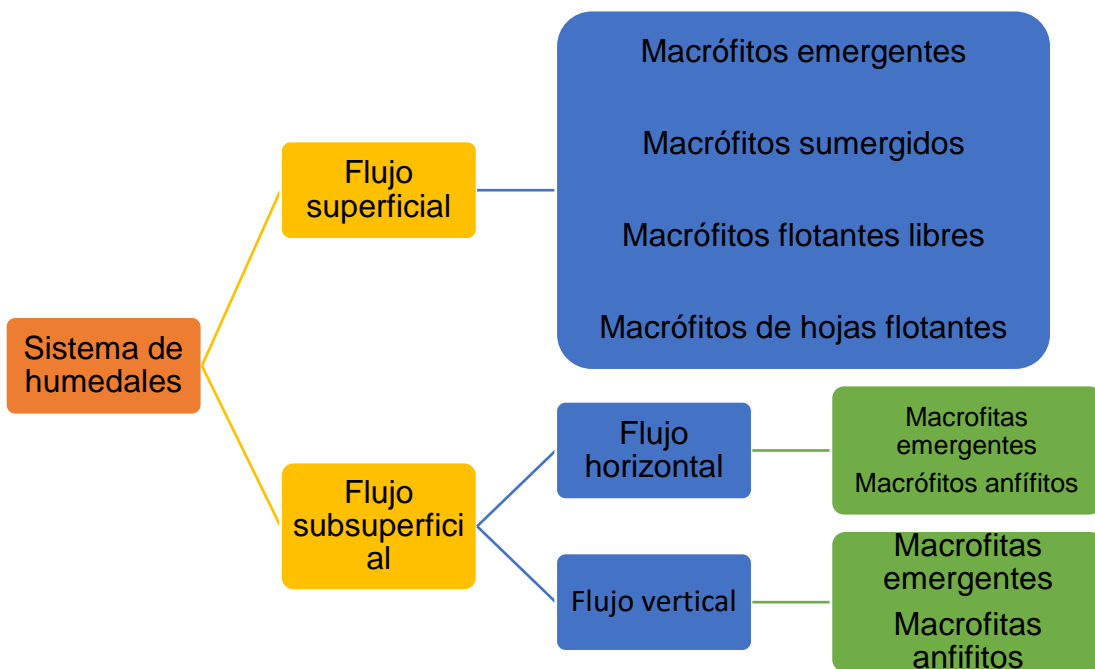


Tabla 2. Especies de macrófitas

Macrófitas	
Tipo de macrófitas	Especies de macrófitas
Macrófitas emergentes	Typha latifolia, Phragmites australis, Sagittaria trifolia, Eleocharis, Cabomba aquatica, Polygonum hydropiper, Eleocharis planta genera, Scirpus mucronatus, Alternanthera philoxeroides
Macrófitas sumergidas	Hydrilla verticillata, Ceratophyllum demersum, C. submersum Myriophyllum aquaticum, Elodea canadensis, Vallisneria americana, Utricularia vulgaris, Najas gramínea
Macrófitas flotantes	Pistia stratiotes, Lemna gibba, Azolla pinnata, Salvinia molesta, Trapa natans, Eichhornia crassipes, Ipomoea aquatica, etc.
Macrófitas de hoja flotante	Nymphaea alba, Potamogeton crispus, P. natans, P. pectinatus, Nelumbo nucifera, Hydroryza aristata.

Fuente: Anand, et al., (2019)

En relación al tipo de macrófitas tenemos a la *Eichhornia crassipes* comúnmente conocida como Jacinto de agua, es una macrófita acuática de rápido crecimiento que puede duplicar su biomasa en unos pocos días y es una de las malezas más problemáticas del mundo. Muchos científicos demostraron que el jacinto de agua tiene altas tasas de eliminación de metales pesados como Fe, Zn, Cu, Cr, Mn, Hg, Cd y As de soluciones acuosas. Seguidamente tenemos a la Lema Lemna, comúnmente conocida como lenteja de agua, es una macrófita que flota libremente en la superficie del agua. Es de rápido crecimiento y se adapta fácilmente a diversas condiciones acuáticas y se distribuye globalmente en lagos, estanques, humedales y algunas lagunas de efluentes. Se ha utilizado para recuperar metales pesados desde hace más de 30 años (Anand, et al., 2019).

*Typha* (conocida como totora) es el único género de la familia Typhaceae. Este género icónico, compuesto por casi 40 especies e híbridos, es omnipresente en los ecosistemas de humedales de todo el mundo. Una abundancia de semillas dispersadas por el viento le permite a *Typha* colonizar humedales a lo largo de grandes distancias, y su rápida tasa de crecimiento, su gran estatura y su agresiva propagación clonal pueden resultar en densos rodales monotípicos (Bansal, y otros, 2019), seguidamente se hablará de la azolla es un helecho acuático flotante, que tiene una asombrosa capacidad para concentrar metales pesados tóxicos. Las lotioneínas metálicas (MT) y las fitoquelatinas (PC) son ligandos de unión a metales pesados bien definidos en las plantas El potencial de bioacumulación de las diferentes especies de *Azolla* varía según sus iones de metales pesados (Talebi, et al., 2019).

La planta sumergida *Hydrilla verticillata* (*H. verticillata*) ha demostrado fuertes capacidades acumulativas, tolerantes y resistentes en respuesta al estrés por metales pesados. *H. verticillata* está muy extendida, exhibe una alta eficiencia, requiere bajos costos y es ecológica, es un excelente acumulador de nutrientes minerales esenciales para el metabolismo biológico, como cromo (Cr), cobre (Cu), zinc (Zn) y níquel (Ni) también puede absorber muchos elementos potencialmente tóxicos (PTEs) no esenciales, como el uranio (U), el plomo (Pb), el cadmio (Cd), el mercurio (Hg) y el arsénico (Zhang, et al., 2020), en el mismo contexto se hablara de la *Salvinia molesta* es una mala hierba de los humedales y exhibe una alta tasa de crecimiento en los sitios de humedales. Las especies de *Salvinia* han sido reportadas mayoritariamente sobre metales pesados utilizando la técnica de fitorremediación. La aplicación exitosa de la especie *S. molesta* para eliminar metales pesados la convirtió en un fitorremediador eficaz para el tratamiento de aguas residuales, especialmente en aguas residuales industriales (Kaushal y Mahajan, 2021).

La *Pistia*, comúnmente llamada lechuga de agua, es un género de macrófitas acuáticas de la familia Araceae. Flota en la superficie del agua y las raíces cuelgan debajo de las hojas flotantes. Son hiperacumuladores naturales de muchos metales pesados tóxicos informaron que *Pistia* es un candidato potencial para la eliminación de Zn, Cr, Cu, Cd, Pb y Hg. Acumula Zn y Cd en altas concentraciones, mientras



que Hg se acumula moderadamente y es pobre en acumulación de Ni, en el mismo contexto la acuática *Ipomoea aquatica* pertenece a la familia Convolvulaceae, originaria de China, y se suele consumir como verdura de hoja verde. Se encuentra principalmente en el sur de Asia, India y el sur de China. Investigaron que *I. aquatica* puede eliminar el Cr (III) de una solución acuosa en presencia del agente quelante EDTA y cloruro. El cloruro puede aumentar la solubilidad del Cr y mejorar la bioacumulación en los brotes y las raíces de la planta (Kochi, et al., 2020).

***Phragmites australis*:** *P. australis* es un macrófito acuático emergente comúnmente llamado caña. Acumula mayor cantidad de metales pesados en las células del parénquima de la corteza con gran espacio de aire intracelular acumulación de metales pesados en los órganos de *P. australis* y también evaluó su idoneidad para el biomonitorio. La concentración de metales pesados en las partes aéreas depende en gran medida de la temporada de crecimiento; en particular, la acumulación puede aumentar simplemente al final de la temporada de crecimiento, finalmente tenemos a la *Ceratophyllum demersum* *C. demersum* es un macrófito acuático sumergido que puede crecer en aguas fangosas y con poca luz, puede ser oligotrófico o eutrófico. Varios estudios de fitorremediación han demostrado que *C. demersum* es eficaz para la acumulación de metales pesados y pesticidas Esta planta tiene una estrategia adaptativa positiva en respuesta a metales pesados y pesticidas en estudios in situ (Anand, et al., 2019).

**Metales:** Se denomina metales a los elementos que presentan elevado peso atómico, los cuales son altamente tóxicos y son muy utilizados en las industrias, dichos elementos aún en bajas concentraciones pueden llegar a ser dañinos para la salud como para el ambiente pues generan un proceso de acumulación. Los metales pesados pueden llegar a ser liberados en el ambiente a través de las distintas actividades antropogénicas por ende estarán presentes en el aire, suelo y agua (Yang et al., 2019).

**Cadmio (Cd):** El cadmio en la actualidad se considera un metal pesado que se encuentra en la corteza terrestre, este metal generalmente se encuentra combinado con otras especies como oxígeno y oxígeno de cadmio, así como también en sulfato de aluminio o sulfuro y cloruro de cadmio. El cadmio puede filtrarse al agua a través

de tuberías de agua galvanizadas (Idrees, et al., 2018). Los tubos galvanizados son tubos de acero que se han sumergido en una capa protectora para protegerlos contra la corrosión y el óxido. Los niveles de cadmio en el agua pueden ser más altos en áreas abastecidas con agua blanda de bajo pH porque esto puede ser más corrosivo en los sistemas de plomería que contienen cadmio (Min, et al., 2018).

**Cobre (Cu):** El cobre es un metal que existe en el medio ambiente como mineral en las rocas y el suelo. Se encuentra comúnmente en niveles bajos en cuerpos de agua naturales. También es un oligoelemento esencial que se requiere para mantener una buena salud.

**Mercurio (Hg):** El mercurio al considerarse un metal pesado es un elemento altamente tóxico, lo cual para el ser humano no cumple con ninguna función, siendo representada por un máximo aceptable de 0,001 mg/L (1 µg/L) en el agua por lo tanto se ha establecido, en la actualidad el uso de mercurio se ha convertido en un problema global lo cual requiere una atención inmediata para resuarsir esta problemática (Pandeewar, et al., 2021).

**Plomo (Pb):** El plomo en el agua potable es un tema de preocupación mundial. Cada vez se encuentra de forma natural en el agua potable; la mayoría de las veces se filtra de componentes de plomería que contienen plomo, como tuberías, soldaduras o accesorios de latón. Las características del agua corriente, como el bajo nivel de pH o el bajo contenido de fosfato, pueden hacer que estos componentes se corroan con el tiempo, lo que permite que el metal contamine el agua potable (Jarvis y Fawell, 2021).

**Zinc (Zn):** Los minerales de zinc más importantes incluyen la esfalerita (ZnS) y la smithsonita (ZnCO<sub>3</sub>), estos compuestos terminan en el agua en lugares donde se encuentran minerales de zinc, provocando daños en el recurso hídrico. Alrededor de las tres cuartas partes del suministro total de zinc se utiliza en forma de metal. El resto se aplica como diversos compuestos de zinc en diversas industrias. Las aguas residuales industriales que contienen zinc provienen de industrias galvánicas, producción de baterías, entre otros (Janwgan, et al., 2022).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

Respecto al tipo de investigación es básica ya que busca incrementar los conocimientos de las variables de estudio (Arias, 2020). Respecto al diseño de la investigación este se caracteriza por ser un diseño no experimental, cualitativo narrativo de tópicos, el cual refiere a la selección, relato e interpretación situaciones, experiencias para la comprensión de eventos por medio de la reunión de textos narrativos de un grupo que han experimentado (Hernández y Mendoza, 2018).

En la presente investigación se tomaron en cuenta la selección de diversos artículos que guardan relación con el tratamiento de aguas residuales con metales pesados, en ese sentido se analizó la información con el objetivo de conocer cual sería la alternativa más eficiente para tratar aguas residuales con metales pesados

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

Respecto a las categorías, subcategorías y matriz de operacionalización, estas se han realizado en función de los objetivos específicos del estudio, de cada categoría se logra desprender una subcategoría, para que posteriormente se desprenda, los indicadores y se finalice con el análisis de datos, el cual se detalla a continuación (ver Tabla 3):

Tabla 3. Matriz de Categorización Apriorística

Título: Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales con metales pesados, revisión sistemática 2022.					
Objetivo específico	Problema específico	Categoría	subcategoría	Indicadores	Unidad de Análisis
<b>OE1:</b> Determinar los tipos de aguas residuales	<b>PE1:</b> ¿Cuáles son los tipos de aguas residuales?	Aguas residuales	Fuentes de aguas residuales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aguas residuales industriales</li> <li>• Aguas residuales urbanas</li> </ul>	(Xiaomeng Zhang, et al, 2020)
<b>OE2:</b> Determinar los tipos de humedales artificiales que se usan para la remoción de metales pesados a través de las condiciones operacionales de los mismos en el tratamiento de aguas residuales con metales pesados	<b>PE2:</b> ¿cuáles son los tipos y condiciones operacionales de los humedales artificiales que se usan para la remoción de metales pesados?	Humedales artificiales	Tipos de humedales artificiales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flujo libre</li> <li>• Flujo subsuperficial horizontal</li> <li>• Flujo subsuperficial vertical</li> </ul>	(Peraza , y otros, 2019)  (Kasak, y otros, 2018)  (Hussain, y otros, 2019)
			Condiciones operacionales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Composición del sustrato</li> <li>• Tratamientos preliminares                             <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Ing genética</li> <li>➢ Híbridos</li> <li>➢ Carbon activado</li> <li>➢ Biorremediación</li> </ul> </li> <li>• Área del humedal</li> <li>• Población vegetal</li> <li>• Tiempo de retención hidráulica</li> </ul>	(Kumar, Pratap, Dubey, & Dutta, 2020)
<b>OE3:</b> Conocer la taxonomía de las macrófitas en el tratamiento de aguas residuales con metales pesados	<b>PE3:</b> ¿Cuál es la taxonomía de las macrófitas en el tratamiento de aguas residuales con metales pesados?	Macrófitas	Taxonomía de las macrófitas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Familia</li> <li>• Genero</li> <li>• Especie</li> <li>• Reino</li> </ul>	(Martinez & Lopez, 2018)  (Jocou & Gandullo, 2020)
<b>OE4:</b> Identificar los metales pesados removidos en las aguas residuales usando humedales artificiales.	<b>PE4:</b> ¿Cuáles son los metales pesados removidos en las aguas residuales usando humedales artificiales?	Metales	Metales pesados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cadmio (Cd)</li> <li>• Cobre (Cu)</li> <li>• Mercurio (Hg)</li> <li>• Plomo (Pb)</li> <li>• Zinc (Zn)</li> </ul>	(Gunatila, 2015)  (Dimpe & Nomngong, 2018)  (Agoro, Adeniji, Adelfisoye, & Okoh, 2020)

Fuente: Elaboración propia, 2022

### 3.3. Escenario de estudio

La selección de escenarios se define como aquella en la cual el investigador tiene acceso fácil a las investigaciones, esto le permite tener una buena recolección de datos relacionados directamente con el estudio investigado, en tal sentido un escenario de investigación conlleva a desarrollar un estudio de la mejor manera posible con el objetivo de dar solución a problemática surgida durante el desarrollo de la presente investigación (Guerrero y Ojeda, 2017).

Uno de los principales escenarios donde se ha desarrollado la presente investigación ha sido en base al fundamento teórico y científico sobre el uso de humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales con metales pesados, en los capítulos anteriores se ha dado sustento teórico a el papel que cumplen los humedales artificiales para tratar aguas residuales con metales pesados, lo cual en muchos de los casos los humedales han logrado reducir algunos índices de contaminación que han conllevado dar solución a dicha problemática, del mismo modo en base al escenario de estudio ha permitido tener una idea clara sobre cuáles son los procedimientos que se han tenido para llevar a cabo dicha investigación.

	Referencias	Base de datos
1	Agoro, M., Adeniji, A., Adelfisoye, M., & Okoh, O. (2020). Heavy Metals in Wastewater and Sewage Sludge from Selected Municipal Treatment Plants in Eastern Cape Province, South Africa. <i>Agua</i> , 12(10), 1-19.	MDPI
2	hmad, K., Kokab, R., Khan, Z., Ashfaq, A., Bashir, H., Munir, M., . . . Dogan, Y. (2018). Assessment of Heavy Metals in Wheat Variety “Chagi-2” under Short-Term Wastewater Irrigation. <i>Biologia (Pakistan)</i> , 64(1), 15-25.	ELSEIVER

- 
- 3 Anand, S., Kumar, S., Kumar, S., & Kumar, N. (2019). Phytoremediation of Heavy Metals and Pesticides Present in Water Using Aquatic Macrophytes. *Remediacion de fito rizo*, 89-119. SPRINGER LINK
- 4 Arce, P. A. (2018). *Humedales artificiales: una alternativa para tratamiento de aguas de produccion*. Bogota: Fundacion universidad de america facultad de educacion permanente y avanzada. SPRINGER LINK
- 5 Bansal, S., Lishawa, S., Newman, S., Tangen, B., Wilcox, D., Albert, D., Windham, L. (2019). Typha (Cattail) Invasion in North American Wetlands: Biology, Regional Problems, Impacts, Ecosystem Services, and Management. *Humedales*, 39(4), 645-684. SPINGER LINK
- 6 Correa, O., Fuentes, F. E., & Coral, R. G. (2021). Contaminacion por metales pesados de la microcuenca agropecuaria del rio Huancaray-Peru. *Rev Soc Quím Per*, 87(1), 26-38. SCIELO
- 7 Dimpe, M., & Nomngong, N. (2018). Preparation and application of a tyre-based activated carbon solid phase extraction of heavy metals in wastewater samples. *Fisica y quimica de la tierra, partes A/B/C*, 105, 161-169. ELSEIVER
- 8 Fang, L., Li, L., Qu, Z., Xu, H., Xu, J., & Yan, N. (2018). A Novel Method for the Sequential Removal and Separation of Multiple Heavy Metals from Wastewater. *Revista de materiales peligrosos*, 342, 617-624. ELSEIVER
-

- 
- 9 Hussain, Z., Arsian, M., Shabiar, G., Hasan, M., Mohsin, M., Iqbal, S., & Afzal, M. (2019). Remediation of textile bleaching effluent by bacterial augmented horizontal flow and vertical flow constructed wetlands: A comparison at pilot scale. *Ciencia del medio ambiente total*, 685, 370-379. ELSEIVER
- 10 Jocu, A., & Gandullo, R. (2020). Diversidad de plantas vasculares de los humedales de la Norpatagonia (Argentina). *Revista del museo Argentino de ciencias naturales*, 22(2), 1-10. SCIELO
- 11 Kasak, K., Truu, J., Sarjas, J., Paiste, P., Vainik, M., Mander, U., & Truu, M. (2018). Biochar enhances plant growth and nutrient removal in horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Ciencia del medio ambiente total*, 639, 67-74. SCIELO
- 12 Kaushal, J., & Mahajan, P. (2021). Kinetic Evaluation for Removal of an Anionic Diazo Direct Red 28 by Using Phytoremediation Potential of *Salvinia molesta* Mitchell. *Contaminacion ambiental y toxicologica*, 1-6. SPRINGER LINK
- 13 Kochi, L., Freitas, P., Maranhão, L., Juneau, P., & Gomes, M. (2020). Aquatic Macrophytes in Constructed Wetlands: A Fight against Water Pollution. *Sostenibilidad*, 12(21), 1-21. MPDI
- 14 Kumar, S., Pratap, B., Dubey, D., & Dutta, V. (2020). Removal of nutrients from domestic wastewater using constructed wetlands: assessment of suitable environmental and operational conditions. *Sostenibilidad ambiental*, 3(4), 341-352. MPDI
-

- 
- 15 Leiva, A. M., Nuñez, R., Gomez, G., Lopez, D., ELSEIVER & Vidal, G. (2018). Performance of ornamental plants in monoculture and polyculture horizontal subsurface flow constructed wetlands for treating wastewater. *Ingenieria ecologica*, 120(1), 116-125.
- 16 Liu, Y., Gong, L., Mu, X., Zhang, Z., Zhou, T., ELSEIVER & Zhang, S. (2020). Characterization and co-occurrence of microbial community in epiphytic biofilms and surface sediments of wetlands with submersed macrophytes. *Ciencia del medio ambiente total*, 715, 1-10.
- 17 Mishra, S., Naresh, R., More, N., Yadav, A., ELSEIVER Zainith, S., Mani, S., & Chowdhary, y. P. (2019). Heavy Metal Contamination: An Alarming Threat to Environment and Human Health. *Biotecnologia ambiental: por un futuro sostenible*, 103-125.
- 18 Murphya, K., Efremovd, A., Davidsonc, T., ELSEIVER Molina, E., Fidanzad, K., Crivelari, T. C., . Bastrup, L. (2019). World distribution, diversity and endemism of aquatic macrophytes. *Botanica acuatica*, 158, 1-16.
- 19 Nuamah, L., Li, Y., Pu, Y., Nwankwegu, A., SCIENCE Haikuo, Z., Norgbey, E., . . . Bofah, R. (2020). DIRECT Constructed wetlands, status, progress, and challenges. The need for critical operational reassessment for a cleaner productive ecosystem. *Revista de produccion mas limpia*, 269, 1-48.
- 20 Pandey, L., Park, J., Hee son, D., Kim, W., ELSEIVER Islam, S., Choi, S., . . . Han, T. (2019).
-



---

Assessment of metal contamination in water and sediments from major rivers in South Korea from 2008 to 2015. *Ciencia del medio ambiente total*, 651 , 325-333.

- 21 Peraza, R., Garcia, M., Herrera, C., Medina, R., Rodriguez, M., & Terrones, B. (2019). Optimization of organic matter degradation kinetics and nutrient removal on artificial wetlands using *Eichhornia crassipes* and *Typha domingensis*. *Tecnologia ambiental*, 40(5), 633-641. ELSEIVER
- 22 Talebi, M., Sayed, B., & Akbarzadeh, H. (2019). Hyperaccumulation of Cu, Zn, Ni, and Cd in *Azolla* species inducing expression of methallothionein and phytochelatin synthase genes. *Quimiosfera*, 230, 488-497. SCIENCE DIRECT
- 23 Wang, Q., Hu, Y., Xie, H., & Yang, Z. (2018). Constructed Wetlands: A Review on the Role of Radial Oxygen Loss in the Rhizosphere by Macrophytes. *Agua*, 10(6), 1-11. MDPI
- 24 Wu, H., Ma, w., Kong, Q., & Liu, H. (2018). Spatial-temporal dynamics of organics and nitrogen removal in surface flow constructed wetlands for secondary effluent treatment under cold temperature. *Revista de ingeniería Química*, 350, 445-452. SCIENCE DIRECT
- 25 Yang, J., Hou, B., Wang, J., Tian, B., Bi, J., Wang, N. . . . Huang, X. (2019). Nanomaterials for the Removal of Heavy Metals from Wastewater. *Nanomaterials*, 9, 1-39. MPDI

---

Fuente: *Elaboración propia, 2022.*

### **3.4. Participantes**

Para nos menciona que los participantes son aquellas fuentes internas de datos las cuales permiten recopilar los datos para posteriormente sean analizados, en tal contexto los investigadores también pueden caracterizarse por desempeñarse papel de participantes lo cual conlleva a un mejor desarrollo de la investigación, donde los resultados sean los mejores para la investigación (Hernandez, 2014).

Asimismo, para llevar a cabo la presente investigación ha sido necesario recurrir a diferentes fuentes bibliográficas en idiomas de inglés y castellano, revistas indexadas como de Scielo.org, Redalyc.org, Elsevier, researchgate.net y editoriales de publicación científica electrónica como Springer y Science Direct, estas fuentes consultadas han sido de vital importancia porque han permitido el desarrollo de la investigación se lleve a cabo de la mejor manera posible.

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

La técnica utilizada para la recolección de datos fue el análisis documental la cual permitió recabar información de diversas fuentes bibliográficas como artículos científicos, revistas, libros, tesis, tesinas, entre otras, esta información se recopiló teniendo en cuenta cuales eran los objetivos de la investigación, para que se ordene y sintetice la información y se proceda a realizar un análisis donde se requiera de la interpretación y los resultados sean de acuerdo a los objetivos de la investigación por ello, es importante que toda la información que se logre buscar sea debidamente sea citada de acuerdo a los requerimientos establecidos por la Universidad César Vallejo.

Del mismo modo, con la información recopilada de las diferentes fuentes bibliográficas servirá como base para contrastar las diversas ideas que presenta cada autor en base a un tema de estudio específico, por ello es importante que toda la información recopilada guarde relación con las variables de estudio pues esto ayudara a tener un estudio con resultados más concisos, la cual permitirá dar solución a la problemática de estudio y con ello se propondrán estrategias que reduzcan los índices de contaminación producidos por las aguas residuales con metales pesados .

### **3.6. Procedimientos**

Los procedimientos que se tomaron en cuenta para la presente investigación fueron en base a los requerimientos para la búsqueda de información, donde se tomó información de diversas fuentes bibliográficas y se analizaron de acuerdo a las exigencias de la investigación, esto fue la base para desarrollar este estudio.

#### **Fase 1: Exploración de información**

Para llevar a cabo la fase de la exploración esta se hizo por intermedio de la búsqueda de palabras claves primeramente se realizó la búsqueda entorno a palabras claves como humedales artificiales, metales pesados, aguas residuales, taxonomía de las macrófitas, especies de macrófitas, tipos de humedales artificiales, contaminantes por metales pesados, tipos de metales pesados, etc., además también se hizo necesario la búsqueda de la información en el idioma inglés usando terminología como Constructed wetlands, heavy metals, wastewater, macrophyte taxonomy, macrophyte species, types of constructed wetlands, heavy metal contaminants, types of heavy metals, etc. La búsqueda en las diversas fuentes bibliográficas permitió obtener un total de 10, 400 artículos.

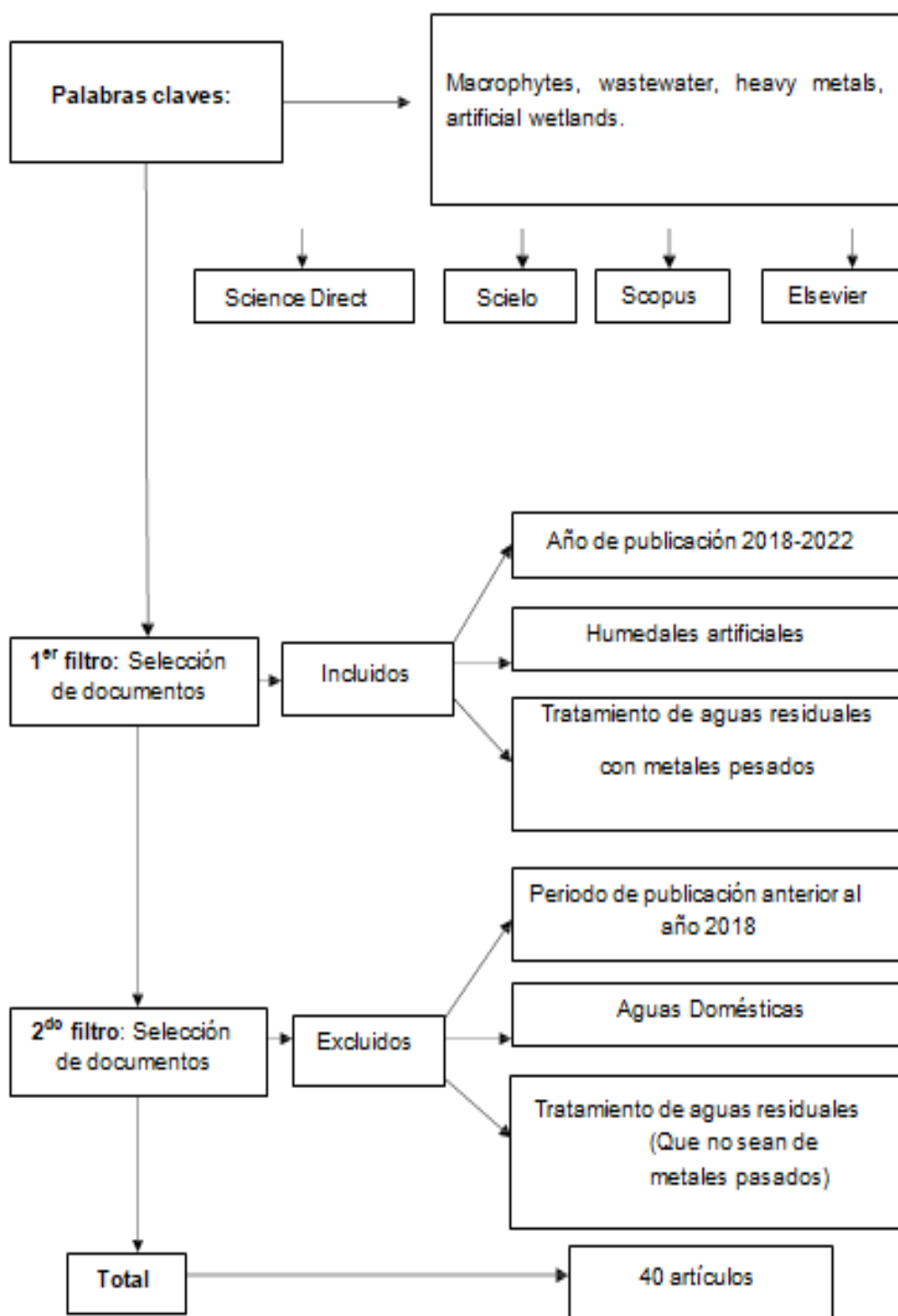
#### **Fase 2: Elección de la información**

En relación a la elección de la información se tuvo que tener en cuenta ciertos requerimientos como por ejemplo los artículos seleccionados fueron desde el 2018 hasta el 2022, además otro de los criterios que se estableció fue que la información seleccionada sería en idiomas de inglés y castellano, del mismo modo otro que se tuvo en cuenta fue en base a Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales con metales pesados, el título de la investigación es sumamente crucial para llevar a cabo una búsqueda de acuerdo a las exigencias que solicita el asesor encargado del trabajo de investigación, otro criterio que se tuvo en cuenta para la elección de la información fue de acuerdo a los objetivos del estudio, donde el objetivo principal fue determinar la eficiencia de los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales con metales, en ese sentido con la búsqueda de la información permitió desarrollar de la mejor manera la investigación con el objetivo de brindar una idea clara y precisa a las futuras investigaciones.

### **Fase 3: Análisis de la información**

Para llevar a cabo la última fase de la investigación se seleccionaron un total de 40 artículos científicos, donde en cada artículo científico se seleccionó de acuerdo a al objetivo general de la investigación que fue determinar los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales con metales pesados, además se incluyeron objetivos científicos esto con el fin de que el análisis de la información sea más detallada en ese sentido estos objetivos fueron, Conocer la taxonomía de las macrófitas en el tratamiento de aguas residuales con metales pesados, Determinar los tipos de humedales artificiales que se usan para la remoción de metales pesados, Identificar los metales pesados removidos en las aguas residuales usando humedales artificiales, Evaluar las condiciones operacionales de los humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales con metales pesados, en ese contexto con el análisis de esta información permitirá dar cumplimiento con los objetivos de la investigación y eso sirva como base para las futuras investigaciones.

Figura 4. Gráfico de procedimiento



Fuente: Elaboración propia, 2022.

### 3.7. Rigor científico

La presente investigación al ser cualitativa se enmarca dentro de los siguientes rigores científicos que a continuación se detallan:

**La credibilidad:** Esta se conceptualiza como la capacidad que se tiene para comunicar los puntos de vista de los participantes, el cual están relacionados con el problema de investigación, en ese sentido la credibilidad permite tener mayor confianza sobre los resultados que se van a obtener luego de haber realizado la investigación de manera exitosa, por ello la credibilidad se sustenta bajo una cualidad de creíble donde predomina la decisión de desarrollar una investigación bajo condiciones que el investigador se sienta seguro de los objetivos que pretende lograr en un corto , mediano y largo plazo (Quisocala, 2019).

**La transferibilidad o aplicabilidad:** La transferibilidad es un método que se debe tener en cuenta para que se realice un juzgamiento científico a la investigación cualitativa, en este criterio los resultados de la investigación se logran extender hacia otras poblaciones, en una estudio de esta índole los investigadores son aquellos que logran determinar si toda la información se transferirá a otros estudios, por ello es importante que se logre describir los hallazgos de la investigación con el objetivo de que las personas tengan conocimiento del fenómeno como fue estudiado, en tal sentido el grado de transferibilidad representa la similitud entre los contextos (Castillo y Vasquez, 2013).

**La auditabilidad:** Conocido también como confirmabilidad, en la auditabilidad el investigador suele seguir la ruta que ha seguido el autor original en relación a la investigación que se está realizando, por ello es importante que se realice un registro de toda la documentación o información que el investigador ha tenido en cuenta para que el estudio se realice de la mejor manera, con toda la información obtenida el investigador lograra resultados similares o idénticos y ayudaran a resolver la problemática de la investigación, en ese sentido la auditabilidad permite que la investigación sea la mejor ya que ha pasado por un proceso de auditabilidad (Salgado, 2017).

### **3.8. Método de análisis de información**

La información ha sido agrupada de acuerdo a la categoría y sub categorías, en ese sentido la investigación se aplicó una revisión sistemática, donde se ha recopilado información de diversas fuentes bibliográficas que se han sido sustento básico para que el estudio se desarrolle de la mejor manera, otro de los criterios aplicados ha sido el análisis documental donde se han consultado diversas fuentes bibliográficas en relación a las variables de estudio, esto ha permitido afianzar el conocimiento y ha garantizado que toda la información consignada en el presente trabajo de investigación sea de carácter científico y teórico, del mismo modo con análisis que se le ha realizado a cada documento ha permitido tener información relacionado únicamente con el trabajo que se viene investigando.

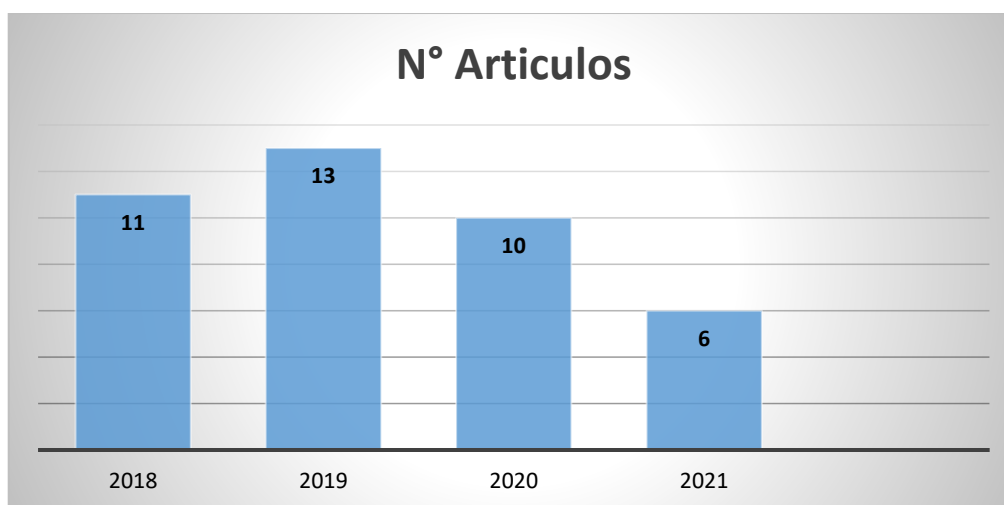
### **3.9. Aspectos éticos**

La presente investigación se realizó respetando los derechos de cada uno de los autores utilizando el software (Turnitin) para de esa manera darle originalidad a la investigación, en ese sentido la información ha sido extraída de tesis, artículos científicos, revistas especializadas, portales institucionales, páginas web, etc.; además toda la documentación ha sido debidamente citada de acuerdo a los requisitos establecidos en las normas ISO y también de acuerdo a las disposiciones establecidas por la universidad César Vallejo.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para llevar a cabo la presente investigación se realizó una búsqueda exhaustiva en las diversas fuentes bibliográficas sobre los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales con metales pesados, la búsqueda se realizó en las diversas plataformas como Science Direct, Scopus, scielo, Dialnet, Elseiver, entre otras fuentes bibliográficas, las cuales durante la búsqueda se logró recopilar un total de 40 artículos que están ligados al tema de estudio anteriormente mencionado, con los artículos encontrados servirá para realizar el análisis respectivo de acuerdo al objetivo general y específicos de la investigación, visto de ese modo toda información consignada en el presente trabajo investigación permitirá una idea más específica de como los humedales artificiales pueden influir en el tratamiento de aguas residuales por metales pesados, en ese sentido a continuación se procederá a realizar el análisis respectivo tomando en cuenta los objetivos del presente estudio.

*Figura 5. Artículo de revisión por año*



En la figura 5, se observa los 40 artículos de revisión referido a los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales con metales pesados, los cuales fueron seleccionados desde los años 2018 al 2021, teniendo como resultado 11 artículos en el año 2018, 13 artículos en el año 2019, 10 artículos en el año 2020, 06 artículos en el año 2021.



**OG:** Determinar la eficiencia de los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales con metales pesados.

*Tabla 4. Eficiencia del humedal para tratar aguas con metales pesados*

Título de la investigación	Autor de la investigación	Lugar donde se realizó la investigación	Eficiencia del humedal para tratar aguas con metales pesados
Un sistema de humedales construido con macrófitos acuáticos para limpiar escorrentías/aguas pluviales contaminadas de áreas urbanas en Florida	(Wang, y otros, 2021)	Estados unidos	Este estudio investigó la eficacia de los humedales construidos para la eliminación de contaminantes químicos y microbianos, donde Las concentraciones de contaminantes metálicos, como (Cd), (Pb), (Cr) y (Cu), en su gran mayoría estuvieron muy por debajo de lo establecido con (<1 ppb), excepto el zinc (Zn), cuya concentración se redujo en 23 %.
Un estudio del tratamiento de aguas residuales con alto contenido de sal y cromo mediante el método combinado de fotocátalisis y humedales construidos	(Li, Chen, & Han, 2019)	Shanghái, China	Se llevó a cabo un experimento de humedales construidos para tratar las aguas residuales con alto contenido de sal y cromo, los resultados mostraron la tasa de reducción de Cr (VI) fue del 83 % por separado en el sistema de humedales construidos.
Toxicidad acuática de efluentes de aguas residuales que contienen metales pesados tratado con humedales construidos de flujo vertical	(Liu, Li, He, & Li, 2020)	Lago Mingzhu en la Universidad de Chongqing, China.	Se usaron humedales construidos de flujo vertical para tratar aguas residuales con metales pesados los resultados mostraron que el nivel de eficacia del humedal fue de 80% del nitrógeno total, nitrato y Cd <sup>2+</sup> de las aguas residuales por un periodo de 60 días.

<p>Purification of water contaminated with hydrocarbons in the Rumiyacu river, through artificial wetlands in the province of Francisco de Orellana</p>	<p>(Heredia, Gavilanes, &amp; Heredia, 2020)</p>	<p>Ecuador</p>	<p>Se construyeron humedales artificiales con el objetivo de tratar aguas que provienen de aguas de río, los resultados de los metales pesados arrojaron que en el primer punto de muestreo el Niquel fue de &lt;0,10 y respecto al Hierro total fue de 0,93; en relación al segundo punto de muestreo para el niquel fue de &lt;0,10 y el hierro total fue de 0,91; finalmente el tercer muestro arrojó que el niquel fue de &lt;0,10 y para el hierro total fue de 0,89.</p>
<p>Design of artificial wetlands for phytoremediation of lead and chrome with typha latifolia in yahuarcocha lake - imbabura</p>	<p>(Guzman &amp; Perez, 2019)</p>	<p>Ecuador</p>	<p>La presente investigación se basó en el diseño de humedales haciendo uso de <i>Typha latifolia</i>, con el objetivo de fitorremediar metales como Pb y Cr en aguas del lago Yahuarcocha, los resultados de la investigación arrojaron que las concentraciones de Pb fueron de (&lt;5 mgkg<sup>-1</sup>) y Cr (&lt;3,54 mgkg<sup>-1</sup>), en lo concerniente a los afluentes</p>
<p>¿Los humedales construidos eliminan metales o aumentan la biodisponibilidad de metales?</p>	<p>(Xu &amp; Mills, 2018)</p>	<p>Estados unidos</p>	<p>Se construyó un humedal para tratar el agua de proceso de construcción y el agua de escorrentía pluvial de la instalación de procesamiento de tritio en el sitio del río Savannah (Aiken, SC). la eficiencia de remoción promedio fue de 65.9% para Cu y 71.1% para Zn, esto demuestra que la eficacia del humedal en el tratamiento de este tipo de agua.</p>

<p>Efecto de los metales pesados en las aguas residuales domésticas e industriales mixtas sobre el rendimiento de los humedales construidos híbridos en pie recirculantes (RSHCW, por sus siglas en inglés) y su eliminación</p>	<p>(Zhang, y otros, 2020)</p>	<p>Universidad de Jinan, Guangzhou, China</p>	<p>El estudio examinó tres tipos de sustratos con diferentes cargas de entrada de metales pesados con el objetivo de evaluar su potencial y los mecanismos subyacentes para la eliminación de metales pesados de aguas residuales mixtas simuladas. Los resultados indican que la eliminación de metales pesados superó el 85% a las 24 h de tratamiento, y una alta carga de entrada (202-259 mg·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>) logró una alta eliminación. Los HM se acumularon principalmente en el sustrato (91,0–98,3 %), y los humedales rellenos con roca de lava y grava proporcionaron mayores eficiencias de eliminación de Cd que la biocerámica a las 24 h de tratamiento</p>
<p>Efectos de diferentes sustratos en la eliminación de nitrógeno y fósforo en humedales artificiales de flujo subterráneo horizontal</p>	<p>(Xu, y otros, 2019)</p>	<p>Alemania</p>	<p>El estudio midió el desempeño de la remoción de nitrógeno y fósforo del humedal artificial sumergido horizontal. Los resultados mostraron que cuando el tiempo de retención hidráulica fue de 6 días, las concentraciones de efluentes de nitrógeno amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N) y nitrógeno total (TN) fueron 6,66 mg L<sup>-1</sup> y 14,02 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, y las tasas de eliminación de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N y TN alcanzaron 77,54% y 71,07%, respectivamente.</p>
<p>Phytoremediation in wastewater without prior treatment. Case: Tierra Negra, Boyacá</p>	<p>(Niño, Aponte, Rodríguez, &amp; Perico, 2018)</p>	<p>Colombia</p>	<p>El estudio se llevó a cabo a través de un proceso de fitorremediación haciendo uso de las especies (<i>Eichhornia crassipes</i>), esto sirvió para tratar aguas residuales industriales, los</p>

			resultados de la investigación arrojaron que el grado de eliminación fue del 71% en las poblaciones de unidades formadoras de colonias (UFC).
Remediación de metales pesados/metalooides de aguas residuales mediante flotación libre macrófitos de un humedal natural	(Kumar, 2019)	Estados Unidos	La investigación se centró en tres plantas para reducir la contaminación por metales pesados, las especies fueron la Pistia stratiotes, Spirodela polyrhiza, Eichhornia crassipes, los metales que se lograron reducir fueron el Cu, Cd, Cr, Zn, Ni, los resultados revelaron una alta eliminación (>79%) de diferentes metales durante 15 días de experimento en microcosmos
Municipal wastewater treatment potential and metal accumulation strategies of Colocasia esculenta (L.) Schott and Typha latifolia L. in a constructed wetland	(Rana & Kumar, 2018)	Instituto Indio de Tecnología (ISM) Dhanbad (India)	Se utilizaron dos plantas de humedales (Colocasia esculenta (L.) Schott y Typha latifolia L.), con el objetivo de tratar aguas residuales con metales pesados, haciendo uso de mesocosmos. Las eficiencias de eliminación de contaminantes fue de Cu 75,3–83,4%; Cd 73,9–83,1%; Manganeso 74,1–74,5 %; Cr 64,8–73,6%; Co 82,2– 84,2%; Zn 63,3–66,1%; Pb 71,4–77,9%; y Ni 76–80%.
Optimization of mercury phytoremediation in continuous flow wetlands using eichhornia crassipes “water hyacinth”	(Paredes & Nique, 2018)	Perú	En el presente estudio se logró remover la <i>Eichhornia crassipes</i> , en base a tres niveles de pH , donde se logró evidenciar que la mayor de remoción de pH en un medio básico fue de 94.68%, como último punto se logró evidenciar que este humedal artificial construido a escala laboratorio logro

			remover el mercurio en un 99.5%.
Phytoremediation of chromium (VI) using <i>Colocasia esculenta</i> in laboratory scale constructed wetlands	(Men Rozidaini, 2018)	& Malasia	En este estudio, se eligió <i>Colocasia esculenta</i> para la eliminación de Cr (VI) en agua. El experimento se estableció en humedales artificiales a escala de laboratorio con concentraciones variables de aguas residuales sintéticas de 1, 2, 5, 10, 50, 500 y 1000 mg/L y se continuó durante 36 días. El resultado del porcentaje de remoción para 1, 2, 5 y 10 mg/L alcanza el 100% mientras que para 50, 500 y 1000 mg/L solo se remueve 99.99%, 94.79% y 55.84% respectivamente.
Phytoremediation of Heavy Metals From Mixed Domestic Sewage Through Vertical-Flow Constructed Wetland Planted with <i>Canna Indica</i> and <i>Acorus Calamus</i>	(Prasad, Gupta, Shukla, Kumar, & Kumar, 2020)	Universidad Tribal Nacional Indira Gandhi, Amarkantak, India	Este estudio investigó el rendimiento de las celdas experimentales de humedales construidos de flujo vertical para eliminar metales pesados. Los resultados de las especies de plantas muestran que la eficiencia de eliminación de Zn, Fe, Cu y Cr de <i>Canna indica</i> L. fue del 95 %, 92 %, 96 % y 93 % y <i>Acorus calamus</i> L. fue del 89 %, 80 %, 91 % y 47 % respectivamente.
Phytoremediation of heavy metals from wastewater by constructed wetland microcosm planted with <i>alocasia puber</i>	(Mohamad, Mohd, & Hamzah, 2019)	Malasia	En esta investigación se usaron microcosmos de humedales artificiales mediante el uso de <i>Alocasia</i> para el tratamiento de aguas residuales con metales pesado, para el estudio se usaron varias concentraciones de metales pesados (5 mg/L, 10 mg/L y 100 mg/L), con seis tiempos de retención hidráulica (2, 4, 6, 8, 10 y 12 días). Los

			resultados obtenidos mostraron eficiencias de remoción de metales pesados >99% después del día 12.
Regulación de metales pesados acumulados por <i>Acorus calamus</i> L. en humedales artificiales a través de diferentes formas de nitrógeno	(Feng, y otros, 2021)	Beijing China	Este estudio tiene como objetivo regular los metales pesados (Cr, Ni, Cu, Zn y Cd) acumulado por <i>Acorus calamus</i> L. en el sustrato arenoso de humedales construidos con diferentes formas de nitrógeno, incluyendo amoníaco (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) y NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (1:1) en aguas residuales sintéticas. En general, la eficiencia de remoción de metales pesados por humedales construidos podría alcanzar el 92,4 % con las concentraciones iniciales por debajo de 500 µg/L.
Remediación de aguas residuales industriales utilizando cuatro especies hidrófitas: una comparación de plantas individuales (experimentos en macetas) y mixtas (humedales construidos)	(Ayaz, Khan, Zeb, Lei, & Alam, 2020)	Peshawar, Pakistán	Se utilizaron 04 especies de hidrófitas; <i>Typha latifolia</i> (tatora), <i>Eichhornia crassipes</i> (jacinto de agua), <i>Lemna gibba</i> (maleza de pato) y <i>Pistia stratiotes</i> (col de agua) para la eliminación de metales pesados cada especie seleccionada también se cultivó en macetas individuales. La eficiencia de eliminación de Cd, Cu y Pb de humedales construidos se registró como 39,5%, 80,3% y 85,5%.
Eliminación de cesio, plomo, nitrato y sodio de las aguas residuales utilizando humedales artificiales hidropónicos	(Moogouei & Chen, 2020)	Estados Unidos	Se utilizaron plantas de <i>Amaranthus cruentus</i> , en Humedal artificial para la fitorremediación de cesio, plomo, nitrato y sodio a partir de aguas residuales sintetizadas. Durante el tratamiento de aguas residuales que contenían Cs Cl y Pb (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> , se

			encontraron $59,57 \pm 2,12$ % de cesio y $95,32 \pm 1,32$ % de plomo. remediado por <i>Amaranthus cruentus</i> en un período de 14 días
Eliminación de metales pesados en humedales artificiales de flujo subterráneo: aplicación de recirculación de efluentes	(Saeed, Alamk, Miah, & Majed, 2021)	Bangladesh	En el estudio se usaron humedales de flujo horizontal y flujo vertical con el objetivo de reducir la contaminación de estas aguas por la presencia de metales pesados como Zn, Cr, Ni y Pb, Los porcentajes de remoción de Zn, Cr, Ni, Pb fueron de 75 y 98%, 29 y 41%, 14 y 48%, 23 y 26%, respectivamente, en humedales de flujo vertical
El destino de los metales pesados seleccionados y el arsénico en un humedal artificial	(Sima, Svoboda, Seda, Krejsa, & Jahodová, 2019)	República Checa	La investigación se centró en utilizar humedales horizontales de flujo subterráneo para remove metales pesados como Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Cr y As en un humedal artificial de flujo subterráneo horizontal. Las eficiencias de eliminación para los elementos individuales fueron las siguientes: 64,2, 48,7, 70,0, 93,9, 63,6, 63,8 y -236,2%, respectivamente.
Utilización de <i>Mentha aquatica</i> L. para la eliminación de patógenos fecales y metales pesados del agua del río Bosna, Bosnia y Herzegovina	(Dahija, Besta, Jerkovic, Dug, & Muratovic, 2019)	Croacia	La investigación se centró en conocer cuál es el nivel de eliminación de los metales pesados haciendo uso de la <i>Mentha aquatica</i> L. para la fitorremediación de aguas contaminadas con metales pesados y patógenos fecales del río Bosna. las tasas de eliminación más altas fueron de 96,49 % para Cd y 45,72 % para Pb demostrando que si existe un alto grado de eliminación de estos de metales.

Vertical subsurface flow and free surface flow constructed wetlands for sustainable power generation and real wastewater selective pollutants removal	(Aswad, Ali, & Mhana, 2020)	Universidad Mustansiriyah, Bagdad, Irak	Se utilizo un humedal artificial de flujo subsuperficial vertical (VSSFCW) y un humedal artificial de flujo superficial libre (FSFCW) para eliminar metales pesados en aguas residuales, donde la eficiencia del grado de eliminación fue de Pb (65,8 % y 81,4 %), Cu (más del 94,7 % y 89,4 %), Cd (85,7 % y 88 %).
---	-----------------------------	---	--

*Fuente: Elaboración propia*

En relación a la eficiencia para tratar aguas con metales pesados, se encontró que la gran cantidad de humedales artificiales resultaron ser eficientes para tratar aguas residuales con metales pesados, en ese sentido según (Wang, et al., 2021) Las concentraciones de contaminantes metálicos, incluidos cadmio (Cd), plomo (Pb), cromo (Cr) y cobre (Cu), estuvieron en su mayoría por debajo del límite de detección (<1 ppb), excepto el zinc (Zn), cuya concentración se redujo en 23 %, otro de los autores como (Mohammed, 2020) en su investigación logro reducir la presencia de metales de Cu y Zn en 72% y 84%, respectivamente, lo cual deja evidencia que los humedales artificiales son eficientes en tratar aguas residuales con metales pesados.

Para Liu, et al. (2020) la fitorremediación utilizando humedales artificiales se considera una tecnología eficaz, estéticamente agradable, rentable y respetuosa con el medio ambiente para la remediación de metales potencialmente tóxicos del medio ambiente, es por ello que las plantas se caracterizan por acumular los contaminantes en sus raíces y eliminar la contaminación por metales pesados, en ese sentido los contaminantes se logran alojar en el cuerpo de la planta (Ebrahim, et al., 2020), donde en su estudio logro un porcentaje de remoción de 66 a 78 % de amoniaco, mientras que para el fosfato de logro eliminar el 78 al 85% haciendo uso de humedales artificiales.

Otro de los resultados encontrados en torno a la remoción de metales pesados fue que el estudio de (Guzman y Perez, 2019) la fitorremediación de Pb y Cr en los afluentes del lago Yahuarcocha, se encontró concentraciones de Pb (<5 mgkg<sup>-1</sup>)



y Cr ( $<3,54 \text{ mgkg}^{-1}$ ) en los afluentes, lo cual se evidencia un alto grado de contaminación por metales pesados, requiriendo una atención especial en utilizar técnicas de fitorremediación por intermedio de humedales artificiales, visto de ese modo en la actualidad los humedales artificiales resultan una de las mejores técnicas para reducir los afluentes que presentan una elevada contaminación por metales pesados.

Según los aportes de Xu y Mills (2018) los humedales construidos son sistemas diseñados que utilizan procesos naturales asociados con funciones naturales de la vegetación, los sedimentos, los organismos y las comunidades microbianas para eliminar contaminantes de las aguas residuales, en ese sentido la eficiencia de remoción promedio de la investigación fue de 65.9% para Cu y 71.1% para Zn, con ello se demuestra que si existe un alto grado de efectividad en la eliminación de metales pesados haciendo uso de humedales artificiales, en ese contexto se debe promover el uso de humedales para tratar aguas que contengan metales pesados.

Por otro lado, un estudio realizado por Zhang (2020) donde se centró en evaluar su potencial y los mecanismos subyacentes para la eliminación de metales pesados de aguas residuales mixtas simuladas. Los resultados indican que la eliminación de metales pesados superó el 85% a las 24 h de tratamiento, esta información permite contrastarla con los resultados obtenidos por (Garcia, et al., 2019), donde se logró eliminar metales pesados teniendo en cuenta el tiempo de retención hidráulica TRH = 3 días con eficiencias de remoción de 9,8, 78, 13 y 36 % para NK, P, B y Cr, respectivamente.

De la misma forma, para Kumar (2019) en su investigación utilizó humedales artificiales para reducir la contaminación de metales pesados como Cu, Cd, Cr, Zn, Ni, donde el mayor porcentaje de eliminación para metales pesados fue de ( $>79\%$ ) durante 15 días, en el mismo contexto (Rana & Kumar, 2018) logro la eliminación de los siguientes metales pesados como Cu 75,3–83,4%; Cd 73,9–83,1%; Manganeso 74,1–74,5 %; Cr 64,8–73,6%; Co 82,2– 84,2%; Zn 63,3–66,1%; Pb 71,4–77,9%; y Ni 76–80%, utilizando como especies vegetales como plantas (*Colocasia esculenta* (L.) Schott y *Typha latifolia* L.)

Algo semejante ocurre con Paredes y Ñique (2018) donde eliminó mercurio con la especie *Eichhornia crassipes* lográndose eliminar en un 94,68%, en ese sentido se deja demostrado que la especie vegetal anteriormente mencionada es sumamente eficiente en la eliminación de mercurio lográndose un alto grado de remoción del metal pesado, en el mismo contexto se logró evidenciar que (Prasad, et al., 2020) en su investigación logró eliminación de Zn, Fe, Cu y Cr en presencia de *Canna indica* L. fue del 95 %, 92 %, 96 % y 93 % y *Acorus calamus* L. fue del 89 %, 80 %, 91 % y 47 % respectivamente.

Tomando como referencia que tiempo de retención hidráulica (2, 4, 6, 8, 10 y 12 días). Los resultados obtenidos mostraron eficiencias de remoción de metales pesados >99% después del día 12 (Mohamad, et al., 2019), con este resultado se demuestra que a mayor tiempo de retención hidráulica aumenta el nivel de remoción de los metales pesados, en ese sentido el tiempo de retención hidráulica permite reducir de manera significativa el nivel de contaminación de las aguas, lo cual para las futuras investigaciones se debe promover que si se desea tratar aguas residuales con metales pesados se debe aumentar el tiempo de retención hidráulica.

En el caso de Ayaz, et al., (2020) utilizó 04 especies de hidrofitas; *Typha latifolia* (tatora), *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua), *Lemna gibba* (maleza de pato) y *Pistia stratiotes* (col de agua) para la eliminación de metales donde la eficiencia de eliminación de Cd, Cu y Pb de humedales construidos se registró como 39,5%, 80,3% y 85,5%, por el contrario (Moogouei y Chen, 2020) utilizó plantas de *Amaranthus cruentus*, para la fitorremediación de cesio, plomo, a partir de aguas residuales sintetizadas. se encontraron  $59,57 \pm 2,12$  % de cesio y  $95,32 \pm 1,32$  % de plomo remediado por *Amaranthus cruentus* en un período de 14 días.

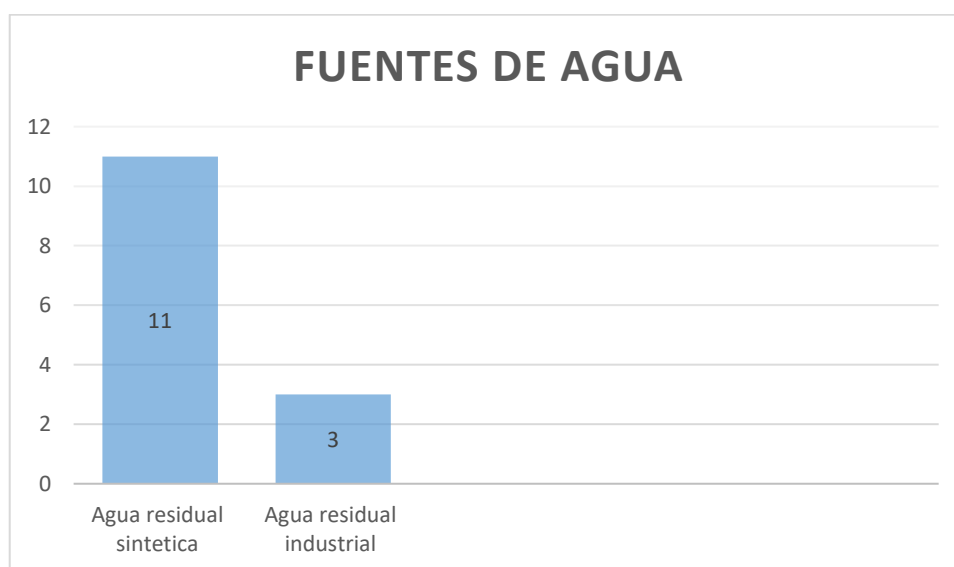
En definitiva Saeed, et al., (2021) utilizaron humedales de flujo vertical y de flujo horizontal para recuperar aguas con metales pesados como Zn, Cr, Ni y Pb, Los porcentajes de remoción para Zn, Cr, Ni, Pb fueron de 75 y 98%, 29 y 41%, 14 y 48%, 23 y 26%, respectivamente, en humedales de flujo vertical y flujo horizontal, en el mismo contexto (Sima, et al., 2019) utilizaron humedales horizontales de flujo subterráneo para remover metales pesados como Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Cr y As,

donde las eficiencias de eliminación fueron las siguientes: 64,2, 48,7, 70,0, 93,9, 63,6, 63,8 y -236,2%, respectivamente.

**OE1:** Determinar las fuentes de aguas residuales

Las fuentes de agua, que han sido utilizadas para remover metales pesados han sido diversas entre las que podemos mencionar agua humedal natural, agua residual sintética, agua de río, agua de lago, agua residual Industrial, agua residual doméstica, estas diversas fuentes de agua han sido utilizadas han sido encontradas en los diversos artículos científicos revisados, en muchos de los casos se utilizado agua residual sintética, ya que muchos de los investigadores han realizado su estudio con el fin de dar a conocer si los humedales artificiales son eficientes de remover metales pesados con diversa especies de vegetales.

*Figura 6. Fuentes de agua en la remoción de metales pesados*



De la figura anterior se puede inferir que el mayor porcentaje de aguas utilizadas para remover metales pesados, han sido las aguas residuales sintéticas con un total de 11 estudios que utilizaron este tipo de agua equivalente al 73.3%; seguidamente encontramos a las aguas residuales industrial con un total de 03 estudios equivalente al 20%.

Tabla 5. Fuentes de agua en la remoción de metales pesados

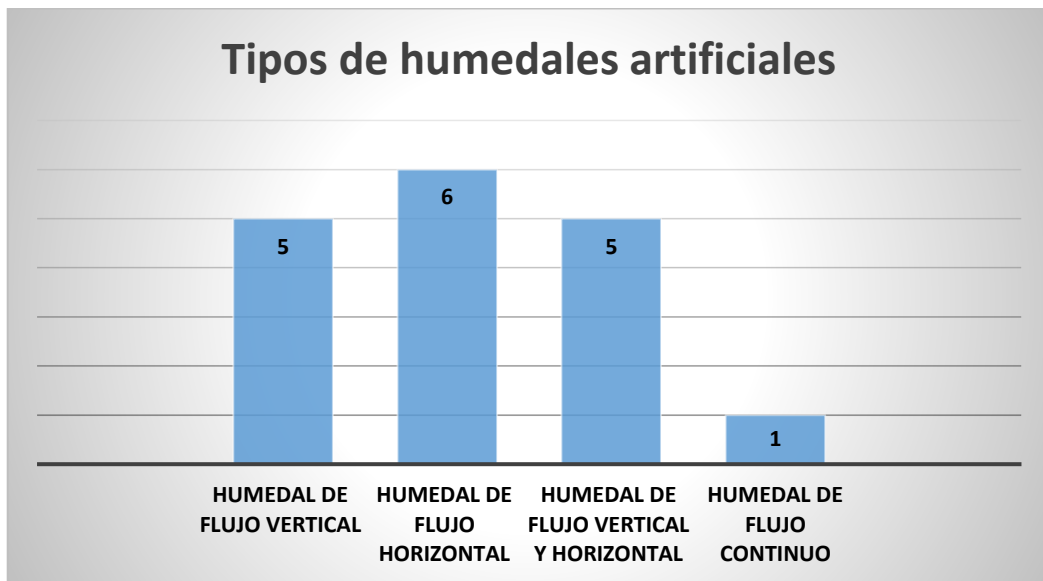
Título de la investigación	Fuentes de aguas	Referencia
¿Do Constructed Wetlands Remove Metals or Increase Metal Bioavailability?	agua residual sintética	(Xu & Mills, 2018)
Efecto de los metales pesados en aguas residuales mixtas domésticas e industriales sobre el rendimiento de los humedales construidos híbridos en pie recirculantes (RSHCW, por sus siglas en inglés) y su eliminación	agua residual sintética	(Xu & Mills, 2018)
Phytoremediation of industrial wastewater in artificial wetlands for agricultural use	agua residual Industrial	(Garcia A. , y otros, 2019)
Phytoremediation in wastewater without prior treatment. Case: Tierra Negra, Boyacá	agua residual industrial	(Niño, Aponte, Rodriguez, & Perico, 2018)
Remediación de metales pesados/metaloideos de aguas residuales utilizando macrófitos flotantes libres de un humedal natural	agua residual sintética	(Kumar P. , 2019)
Influencias de los compuestos de hierro en la diversidad microbiana y mejoras en los rendimientos de eliminación de C, N y P orgánicos en humedales artificiales	agua residual sintética	(Zhimiao, y otros, 2019)
Procesos de remoción de metales en un humedal construido híbrido piloto para el tratamiento de aguas pluviales semisintéticas	agua residual sintética	(Ventura, y otros, 2021)
Optimization of mercury phytoremediation in continuous flow wetlands using eichhornia crassipes “water hyacinth”	Agua residual sintética	(Paredes & Nique, 2018)
Fitorremediación de cromo (VI) utilizando Colocasia esculenta en humedales construidos a escala de laboratorio	agua residual sintética	(Men & Rozidaini, 2018)
Fitorremediación de metales pesados de aguas residuales domésticas mixtas a través de humedales artificiales de flujo vertical plantados con Canna Indica y Acorus Calamus	agua residual sintética	(Prasad, Gupta, Shukla, Kumar, & Kumar, 2020)

Fitorremediación de metales pesados de aguas residuales por microcosmos de humedales artificiales plantados con alocaasia puber	agua residual sintética	(Mohamad, Mohd, Mohd, & Hamzah, 2019)
Tratamiento de aguas residuales de la industria curtidora en un humedal artificial plantado con Phragmites australis	agua residual industrial	(Garcia A. , y otros, 2020)

*Fuente: Elaboración propia*

**OE2:** Determinar los tipos de humedales artificiales que se usan para la remoción de metales pesados a través de las condiciones operacionales de los mismos en el tratamiento de aguas residuales con metales pesados.

*Figura 7. Cantidad de humedales artificiales utilizados para la remoción de metales pesados*



<b>Tipo de humedal artificial</b>	<b>Dirección de flujo</b>	<b>Profundidad del agua</b>	<b>Nivel de estudio</b>	<b>Referencia</b>
Caudales superficiales	Flujo vertical	150cm	Escala real	(Liu, Li, He, & Li, 2020)
	Flujo vertical	40cm	Escala piloto	(Mohammed, 2020)
	Flujo horizontal y vertical	85cm	Escala piloto	(Raphael, Ojo, Ogedengbe, Eghobamien, & Morakinyo, 2019)
	Flujo horizontal	40cm	Escala piloto	(Xu, y otros, 2019)
	Flujo vertical	40cm	Escala laboratorio	(Zhao, Zhang, Cheng, Song, & Zhang, 2019)
	Flujo horizontal	25cm	Escala piloto	(Rana & Kumar, 2018)
	Flujo continuo	25cm	Escala laboratorio	(Paredes & Ñique, 2018)
	Flujo vertical	26cm	Escala piloto	(Prasad, Gupta, Shukla, Kumar, & Kumar, 2020)
	Flujo vertical	22cm	Escala laboratorio	(Feng, y otros, 2021)
	Flujo vertical y horizontal	44cm	Escala piloto	(Saeed, Alamk, Miah, & Majed, 2021)
Caudales subsuperficiales	Flujo horizontal	150 cm	Escala real	(Guzman & Perez, 2019)
	Flujo horizontal y vertical	100cm	Escala real	(Garcia A. , y otros, 2019)
	Flujo horizontal	01 m	Escala real	(Sima, Svoboda, Seda, Krejsa, & Jahodová, 2019)
	Flujo horizontal	01m	Escala real	(Garcia A. , y otros, 2020)

	Flujo vertical y horizontal	53 cm	Escala piloto	(Aswad, Ali, & Mhana, 2020)
Caudales Híbridos	Flujo horizontal y vertical	20cm	Escala piloto	(Zhang, y otros, 2020)
	Flujo horizontal	20 cm	Ecala piloto	(Ventura, y otros, 2021)

*Fuente: Elaboración propia.*

Para la presente investigación se usaron diversos tipos de humedales artificiales con el objetivo de recuperar aguas residuales que contienen metales pesados en ese sentido a continuación se detallaran cuáles han sido los tipos de humedales artificiales que se han usado para recuperar los tipos de aguas contaminadas por metales pesados mencionadas anteriormente.

En la actualidad los humedales construidos (CW) se suelen dividir en flujo superficial (SF) y Los CW de flujo subterráneo (SSF) se consideran los típicos y más tecnología ecológica sostenible de aguas residuales para comunidades pequeñas, rurales y remotas, especialmente en países en desarrollo. Debido a sus bajos costos y menos operación y mantenimiento, los CW son ampliamente utilizados para tratar diversas aguas residuales (es decir, aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales, etc.) y reduce la materia orgánica, los nutrientes, los metales pesados y los micro contaminantes (Wu, et al., 2018), en ese contexto los humedales artificiales de flujo horizontal y vertical representan una de las alternativas más eficientes para remover metales pesados.

Para Liu, et al. (2020) los humedales artificiales de flujo vertical y horizontal han sido magníficamente usados durante las últimas décadas en todo el mundo como una opción de gestión adecuada para las aguas residuales, estos humedales han sido diseñados para tratar distintas formas de aguas residuales dentro del entorno controlado en las que se puede mencionar las aguas residuales agrícolas, municipales, lixiviados de vertederos, aguas pluviales y aguas residuales industriales pueden remediarse en humedales construidos. El humedal artificial ofrece una solución comparativamente simple y barata para controlar la contaminación del agua sin perturbar los recursos de los humedales naturales.

<b>Tipo de humedal</b>	<b>Composición del sustrato</b>	<b>Población vegetal</b>	<b>Referencia</b>
Humedal de flujo subterráneo	El lecho se llenó con virutas de mármol de 150 mm (tamaño de grano de 10 a 25 mm) y luego con desechos de construcción de 150 mm (tamaño de grano de 15 a 30 mm). La arena y las gravas se lavaron minuciosamente con agua antes de su uso.	Plantas ( <i>Thalia dealbata</i> e <i>Hibiscus syriacus</i> )	(Li, Chen, & Han, 2019)
Humedal artificial de flujo vertical	La superficie de la cama se llenó hasta una altura de 1 cm con zeolita (2 mm de diámetro); los lechos estaban conectados al segundo tanque por tubería de drenaje perforada	<i>Typha latifolia</i> y <i>Cyperus papiro</i>	(Mohammed, 2020)
Flujo horizontal y vertical	La primera capa de 50 mm consistía en agregados de granito seguidamente la segunda capa sobre la primera era de arena gruesa de 150 mm	<i>R. corymbosa</i> (L.)	(Raphael, Ojo, Ogedengbe, Eghobamien, & Morakinyo, 2019)
Flujo horizontal	Compuestos por 20 cm de grava, aproximadamente 50 cm de grava fina (partículas de 2 a 4 mm de tamaño) y unos 10 cm de suelo local.	<i>Echinochloa polystachya</i> (pasto alemán), <i>Pennisetum purpureum</i> (pasto elefante), <i>Panicum maximum</i> (pasto chileno), y <i>Arvenses</i> sp (arvense)	(Heredia, Gavilanes, & Heredia, 2020)
humedales artificiales híbridos	Los humedales estaban conformados por grava biocerámica y roca de lava.	<i>Canna indica</i> L.	(Zhang, y otros, 2020)
Humedales artificiales de flujo subterráneo horizontal	El sustrato estaba conformado por una capa superior de arena de 10 cm de altura y otra capa inferior de sustrato de 30 cm de altura	<i>Acorus calamus</i>	(Xu, y otros, 2019)



Humedal artificial horizontal de flujo subsuperficial	EL sustrato estaba conformado por 80 cm de grava gruesa y 20 cm de arena lavada	<i>Phragmites australis</i>	(Garcia A. , y otros, 2019)
Humedal artificial flujo horizontal	Se cultivaron tres plantas flotantes en tanques experimentales de 140 L llenos con 100 L de agua	Pistia stratiotes (lechuga de agua) Spirodela polyrhiza (lenteja de agua) y Eichhornia crassipes (lechuga de agua)	(Kumar, 2019)
Flujo horizontal	El sustrato estaba conformado por una capa de 10 cm de grava, 10 cm de arena y 5 cm de tierra	s (Colocasia esculenta (L.) y Schott y Typha latifolia L.)	(Rana & Kumar, 2018)
Flujo vertical	El sustrato estaba conformado por grava, tierra, 5l de Cr (IV) agua residual.	Colocasia esculenta	(Men & Rozidaini, 2018)
Flujo vertical	Las celdas se llenaron primero con una capa de 6 cm de grava gruesa seguida de una capa de 20 cm de arena gruesa y fina, dejando unos 4 cm de espacio libre en la parte superior.	Canna indica L. y Acorus calamus L.	(Prasad, Gupta, Shukla, Kumar, & Kumar, 2020)
Flujo vertical	El sustrato lo conformo 10 cm de gravel, 5 cm de gravel, 10 cm de arena y 2 litros de agua residual sintética.	Alocasia púber	(Mohamad, Mohd, Mohd, & Hamzah, 2019)
Flujo horizontal y vertical	El experimento consistió en trasplantar tres especies de plantas en una botella hidropónica	P. australis, T. orientalis, V. zizanioides y C. indica	(Liang, y otros, 2019)
Flujo vertical	El lecho de filtración constaba de tres capas, que incluían un sustrato de grava gruesa de 4 cm (tamaño 10–20 mm), un sustrato arenoso lavado de 14 cm (tamaño 0,5–2,0 mm) y un sustrato de grava	Acorus calamus L.	(Wang, y otros, 2021)

	gruesa de 4 cm (tamaño 10). –20mm		
Flujo horizontal y vertical	Se utilizó turba de coco (material orgánico) y ladrillo, arena (materiales de construcción) como medios principales en los humedales experimentales	Phragmites australis o Chrysopogon ziza nioides (vetiver).	(Saeed, Alamk, Miah, & Majed, 2021)
Flujo horizontal	la primera capa del fondo era grava grande con una profundidad de 10 cm. La segunda capa (10 cm de profundidad) también contienen grava con tamaño entre 0,5 y 1,5 cm, y La tercera capa (10 cm de profundidad) consistió en una mezcla de grava y arena agrícola con una proporción de 3:1 (arena: grava).	Schoenoplectus litoralis y Hordeum vulgare	(Abid, 2020)
Flujo vertical	El fondo de los estanques se cubrió con arena de río (3 cm) por encima de la cual se añadió suelo de río (5 cm)	Mentha aquatica L.	(Dahija, Besta, Jerkovic, Dug, & Muratovic, 2019)
Flujo vertical	100mm de grava, 100 mm de grava, 60 mm de grava y finalmente 50 mm de arena.	Cyperus Alternifolius	(Aswad, Ali, & Mhana, 2020)

*Fuente: Elaboración propia*

Las condiciones operacionales de los humedales artificiales permite dar una idea clara de la composición del sustrato, generalmente está compuesto de una o dos capas de grava y una capa de arena, la composición del sustrato dependerá mucho del tipo de estudio que se está realizando, que puede ser a escala real, escala laboratorio o escala piloto, siendo el caso de (Li, Chen, & Han, 2019) donde en su investigación uso lecho se llenó con virutas de mármol de 150 mm (tamaño de grano de 10 a 25 mm) y luego con desechos de construcción de 150 mm (tamaño de grano de 15 a 30 mm),seguidamente la arena y las gravas se lavaron minuciosamente con agua antes de su uso, mientras que (Raphael et al., 2019) utilizo en La primera capa de 50 mm consistía en agregados de granito seguidamente la segunda capa sobre la primera era de arena gruesa de 150 mm.

En el mismo contexto, Alarcon, et al. (2018) nos hace mencion de la composicion del sustrato de los humedales y nos afirma que estan compuestos por arena, grava y/o roca o sedimentos, una de las principales características del humedal es que este ser permeable para que permita el acceso del agua, en ese sentido los sustratos de los humedales son de gran importancia porque permite soportar a los microorganismos vivos , influyendo a que exista movimiento del agua a través del sistema, además otras de las funciones que cumple es que existe las transformaciones microbianas teniendo lugar dentro del sustrato ya que este se encarga de almacenar diversos contaminantes y acumula restos de vegetación; como consecuencia de ello para que el agua contaminada por metales pesados se debe realizar un tratamiento preliminar que según (Lizana, 2018) consiste en eliminar sólidos gruesos y arenas con el objetivo fundamental de facilitar las etapas posteriores del tratamiento.

**OE3:** Conocer la taxonomía de los macrófitos en el tratamiento de aguas residuales con metales pesados.

*Tabla 6. Tipos de humedales artificiales que se usan para la remoción de metales pesados*

<b>Macrófitas</b>	<b>Tipo del humedal</b>	<b>Composición del sustrato</b>	<b>Area del Humedal</b>	<b>Tiempo de Retención Hidraulica</b>	<b>Autor</b>
Juncus acutu	Flujo subterráneo horizontal	Grava en toda la geomembrana	589 m2	(máximo 7 días)	Aydin Temel et al, 2018
Phragmites Australis	FlujoSubterraneo Vertical	Grava 0.7 cm	3m2	1,12 días	García y Avila , 2020
Cyperus papyrus	Flujo subterráneo horizontal	Es la profundidad de sustrato (0,60 m); n es la porosidad del lecho (0,35	16m2	5 días	Haddis, Van der Bruggen y Smets (2020)
Phragmites australis	Flujo vertical	os medios se llenaron hasta 55 cm de altura con 5 cm de francobordo	-	1 día	Nema, Yadav y Christian (2020)

*Fuente: Elaboración propia.*

Otro de los factores relevantes en la remoción de los metales pesados en aguas es el tipo de vegetación que se usa, en este caso según (Ghimire, et al., 2019) afirma que la cobertura vegetal juega un papel clave en la remoción de materia orgánica, contaminantes metálicos y patógenos en los humedales. La raíz, el tallo y las hojas de la vegetación actúan como un sustrato sobre el cual, por lo general, los microorganismos pueden crecer y descomponer la materia orgánica y los contaminantes metálicos mediante una de las cinco acciones: rizofiltración, Fito extracción, fitoestabilización, biorremediación de la rizosfera o fitotransformación, en el mismo contexto (Guio y Toscano, 2018) los vegetales fitorremediadores, poseen atributos ideales para acumular metales en la parte superior de la planta; son tolerantes al metal acumulado; crecen rápido; generan elevada producción de biomasa; resultan fácilmente cosechables y contienen sustancias que impiden que los herbívoros las consuman, para prevenir la transferencia de metales pesados a la cadena alimenticia. Se conocen alrededor de 400 especies con capacidad para absorber selectivamente alguna sustancia.

En relación a las especies vegetales, utilizadas para la remoción de metales pesados encontramos las siguientes: *Thalia dealbata*, *Hibiscus syriacus*, *Typha latifolia*, *Cyperus papiro*, *R. corymbosa* L., *Echinochloa polystachya* (pasto alemán), *Pennisetum purpureum* (pasto elefante), *Panicum máximum* (pasto chileno), y *Arvenses sp* (arvense), *Canna indica* L., *S* (*Colocasia esculenta* (L.) Schott y *Typha latifolia* (L.)), *Colocasia esculenta.*, *Acorus calamus* L., *Alocasia púber*, *P. australis*, *T. orientalis*, *V. zizanioides*, *Acorus calamus* L., *Phragmites australis* o *Chrysopogon ziza nioides* (vetiver), *Schoenoplectus litoralis* y *Hordeum vulgare*, *Mentha aquatica* L., *Cyperus Alternifolius*, estos resultados encontrados se contrastan con los aportes de (Liu, et al., 2020) donde en su investigación encontró que las especies que remueven metales pesados fueron las siguientes *Eichhornia crassipes*, *estratiotas de pistia*, *Salvinia herzogii*, *lemna menor*, *Spirodela intermedia*, *capuchina officinale*, *Myriophyllum spicatum*, *Ceratophyllum demersum*, *Potamogeton crispus*, *Potamogeton pectinatus*, *Typha latifolia*, *Mentha acuática*, *Vallisneria spiralis*, *espartina alterniflora*, *Phragmites australis*, *Escirpo*, *polígono hidropiperoides*.

**OE4:** Identificar los metales pesados removidos en las aguas residuales usando humedales artificiales

*Tabla 7. Tipos de metales pesados removidos por humedales artificiales*

<b>Título de la investigación</b>	<b>Tipos de metales removidos</b>	<b>Referencia</b>
Un sistema de humedales artificiales con macrófitos acuáticos para limpiar contaminados	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ cadmio (Cd)</li> <li>➤ plomo (Pb)</li> <li>➤ cromo (Cr)</li> <li>➤ cobre (Cu)</li> <li>➤ Zinc (Zn)</li> </ul>	(Wang, y otros, 2021)
Un estudio del tratamiento de aguas residuales con alto contenido de sal y cromo mediante el método combinado de fotocátalisis y humedales construidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cr (VI)</li> </ul>	(Li, Chen, & Han, 2019)
Toxicidad acuática de efluentes de aguas residuales que contienen metales pesados tratados mediante flujo vertical	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cadmio (Cd)</li> <li>➤ Cobre (Cu)</li> <li>➤ Plomo (Pb)</li> </ul>	(Liu, Li, He, & Li, 2020)
Estudio comparativo del desempeño de Typha latifolia y Cyperus Papyrus en la remoción de metales pesados y bacterias entéricas de aguas residuales por humedales construidos superficiales	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ cobre (Cu)</li> <li>➤ Zinc (Zn)</li> </ul>	(Mohammed, 2020)

---

<p>Comparación del desempeño de humedales artificiales de flujo horizontal y vertical plantados con <i>Rhynchospora corymbosa</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Zinc (Zn)</li> <li>➤ Aluminio (Al)</li> <li>➤ Magnesio (Mg)</li> <li>➤ Hierro (Fe)</li> </ul>	<p>(Raphael, Ojo, Ogedengbe, Eghobamien, &amp; Morakinyo, 2019)</p>
<hr/>		
<p>Design of artificial wetlands for phytoremediation of lead and chrome with typha latifolia in yahuarcocha lake – imbabura</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cromo (Cr)</li> <li>➤ Plomo (Pb)</li> </ul>	<p>(Guzman &amp; Perez, 2019)</p>
<hr/>		
<p>¿Los humedales construidos eliminan metales o aumentan la biodisponibilidad de metales?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cobre (Cu)</li> <li>➤ Zinc (Zn)</li> </ul>	<p>(Xu &amp; Mills, 2018)</p>
<hr/>		
<p>Phytoremediation of industrial wastewater in artificial wetlands for agricultural use</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ fósforo (P)</li> <li>➤ boro (B)</li> <li>➤ cromo (Cr)</li> </ul>	<p>(Garcia A. , y otros, 2019)</p>
<hr/>		
<p>Los humedales flotantes de tratamiento como una opción adecuada para el tratamiento de aguas residuales a gran escala</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cadmio (Cd)</li> <li>➤ Cromo (Cr)</li> <li>➤ Hierro (Fe)</li> <li>➤ Niquel (Ni)</li> </ul>	<p>(Afzal, y otros, 2019)</p>
<hr/>		
<p>Remediación de metales pesados/metaloideos de aguas residuales utilizando macrófitos flotantes libres de un humedal natural</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cadmio (Cd)</li> <li>➤ Cromo (Cr)</li> <li>➤ Hierro (Fe)</li> <li>➤ Niquel (Ni)</li> <li>➤ Cobre (Cu)</li> <li>➤ Zinc (Zn)</li> </ul>	<p>(Kumar, 2019)</p>

---

Procesos de remoción de metales en un humedal construido híbrido piloto para el tratamiento de aguas pluviales semisintéticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cadmio (Cd)</li> <li>➤ Cromo (Cr)</li> <li>➤ Hierro (Fe)</li> <li>➤ Plomo (Pb)</li> <li>➤ Cobre (Cu)</li> <li>➤ Zinc (Zn)</li> </ul>	(Ventura, y otros, 2021)
Potencial de tratamiento de aguas residuales municipales y estrategias de acumulación de metales de <i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott y <i>Typha latifolia</i> L. en un humedal artificial	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cadmio (Cd)</li> <li>➤ Cromo (Cr)</li> <li>➤ Plomo (Pb)</li> <li>➤ Cobre (Cu)</li> <li>➤ Zinc (Zn)</li> </ul>	(Rana & Kumar, 2018)
Optimization of mercury phyto remediation in flow-through wetlands using eichhornia crassipes "water hyacinth"	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mercurio (Hg)</li> </ul>	(Paredes & Nique, 2018)
Fitorremediación de cromo (VI) utilizando <i>Colocasia esculenta</i> en humedales construidos a escala de laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cr (VI)</li> </ul>	(Men & Rozidaini, 2018)
Fitorremediación de metales pesados de aguas residuales domésticas mixtas a través de humedales artificiales de flujo vertical plantados con <i>Canna Indica</i> y <i>Acorus Calamus</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Zinc (Zn)</li> <li>➤ Hierro (Fe)</li> <li>➤ Cobre (Cu)</li> <li>➤ Cromo (Cr)</li> </ul>	(Prasad, Gupta, Shukla, Kumar, & Kumar, 2020)

---

<p>Fitorremediación de metales pesados de aguas residuales por microcosmos de humedales artificiales plantados con <i>alocasia puber</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cadmio (Cd)</li> <li>➤ Cromo (Cr)</li> <li>➤ Níquel (Ni)</li> <li>➤ Cobre (Cu)</li> <li>➤ Zinc (Zn)</li> </ul>	<p>(Mohamad, Mohd, Mohd, &amp; Hamzah, 2019)</p>
<hr/>		
<p>Estudio preliminar sobre la dinámica de metales pesados en aguas residuales salinas tratadas en mesocosmos o microcosmos de humedales artificiales rellenos de escoria porosa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cadmio (Cd)</li> <li>➤ Cobre (Cu)</li> <li>➤ Zinc (Zn)</li> <li>➤ Plomo (Pb)</li> </ul>	<p>(Liang, y otros, 2019)</p>
<hr/>		
<p>Regulación de metales pesados acumulados por <i>Acorus calamus</i> L. en humedales artificiales a través de diferentes formas de nitrógeno.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cromo (Cr)</li> <li>➤ Níquel (Ni)</li> <li>➤ Cobre (Cu)</li> <li>➤ Zinc (Zn)</li> <li>➤ Cadmio (Cd)</li> </ul>	<p>(Feng, y otros, 2021)</p>
<hr/>		
<p>Remediación de aguas residuales industriales utilizando cuatro especies hidrófitas: una comparación de plantas individuales (experimentos en macetas) y mixtas (humedales construidos).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cadmio (Cd)</li> <li>➤ Cobre (Cu)</li> <li>➤ Plomo (Pb)</li> </ul>	<p>(Ayaz, Khan, Zeb, Lei, &amp; Alam, 2020)</p>
<hr/>		
<p>Eliminación de metales pesados en humedales artificiales de flujo subterráneo: aplicación de recirculación de efluentes</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ zinc (Zn)</li> <li>➤ cromo (Cr)</li> <li>➤ Níquel (Ni)</li> <li>➤ plomo (Pb)</li> </ul>	<p>(Saeed, Alamk, Miah, &amp; Majed, 2021)</p>

---



---

El destino de los metales pesados seleccionados y el arsénico en un humedal artificial	➤ Cadmio (Cd) ➤ Plomo (Pb) ➤ Cobre (Cu) ➤ Zinc (Zn) ➤ Niquel (Ni) ➤ Cromo (Cr)	(Sima, Svoboda, Seda, Krejsa, & Jahodová, 2019)
--	---	---

---

Utilización de <i>Mentha aquatica</i> L. para la eliminación de patógenos fecales y metales pesados del agua del río Bosna, Bosnia y Herzegovina	➤ Cadmio (Cd) ➤ Plomo (Pb)	(Dahija, Besta, Jerkovic, Dug, & Muratovic, 2019)
--	-------------------------------	---

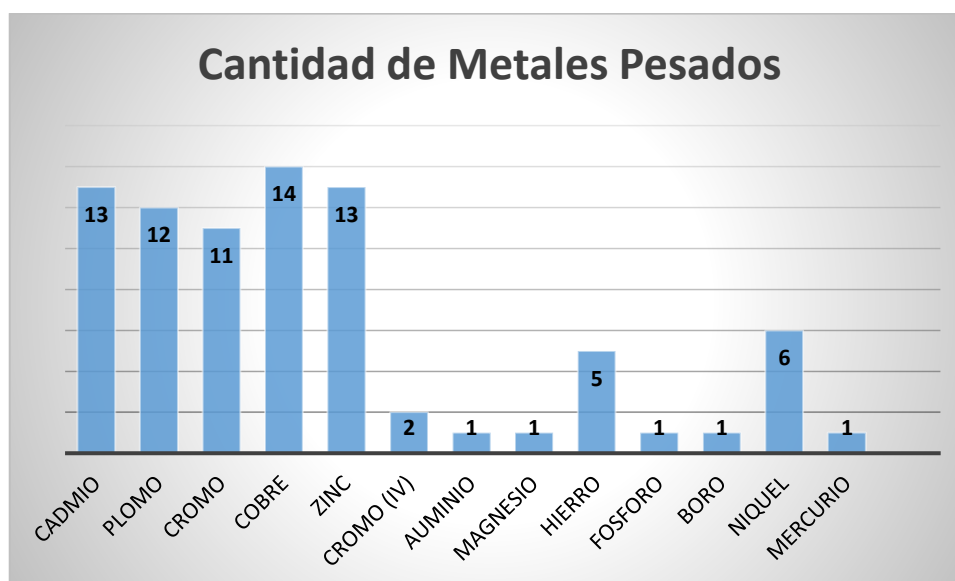
---

Humedales construidos de flujo subsuperficial vertical y de flujo superficial libre para la generación de energía sostenible y la eliminación de contaminantes selectivos de aguas residuales reales	➤ Cadmio (Cd) ➤ Cobre (Cu) ➤ Plomo (Pb)	(Aswad, Ali, & Mhana, 2020)
--	---	-----------------------------

---

*Fuente: Elaboración propia.*

Figura 8. Cantidad de metales pesados



En la figura anterior se puede observar que el cobre (Cu) ha sido en metal pesado con mayor presencia durante el análisis de la información con un total de 14 documentos analizados se ha encontrado que este metal pesado ha sido el que mayor predominio ha tenido en las investigaciones en ese sentido se ha demostrado que las diversas fuentes de aguas se caracterizan por estar contaminadas por este tipo metal con, seguidamente encontramos al Zinc (Zn) y el Cadmio (Cd) con un total de 13 documentos que han coincidido su presencia en diversas fuentes de aguas por metales pesados, en el mismo grupo encontramos al Plomo (Pb) con 12 documentos que coinciden en la presencia de este metal; seguidamente tenemos al Cromo (Cr) con 11 documentos, en el mismo contexto se ubica el níquel con 6 documentos, el hierro con 5 documentos y el cromo (IV) con 2 documentos; para finalmente nombrar al aluminio, magnesio, fosforo, boro y mercurio con un solo documento.

**OE4:** Evaluar las condiciones operacionales de los humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales con metales pesados.

Los humedales artificiales constituyen una solución óptima para reducir la contaminación por metales pesados, lo cual las condiciones operacionales de cada uno de ellos permiten reducir la contaminación del agua de acuerdo al diseño de cada humedal, existen múltiples factores que intervienen para que el agua contaminada por metales pesados se logre reducir a su mínima cantidad de

contaminación, entre los factores podemos mencionar la Composición del sustrato, los tratamientos preliminares del agua , el área del humedal, Población vegetal, el Tiempo de retención hidráulica, con estas características que deben tener los humedales se lograra reducir la contaminación es su máxima nivel y así solucionar la problemática de la contaminación de las agua por metales pesados que viene afectando de manera directa a la población.

## V. CONCLUSIONES

- La eficiencia de los humedales artificiales se ha visto reflejada por el grado de contaminación que ha logrado reducir en aguas residuales con presencia de metales pesados como Cd, Mn, Cr, Co, Pb, Ni y Fe ha sido de 83,1%; 74,5%; 98%; 84,2%; 77,9%; 80%; 92% respectivamente, con estos grados de eliminación se demuestra que los humedales artificiales sí son eficientes en la remoción y eliminación de metales pesados.
- Las fuentes de aguas en la remoción de metales, han sido: aguas de humedal natural, agua residual sintética, agua de río, agua de lago, agua residual industrial y agua residual doméstica, donde en la mayoría de estudios revisados se ha encontrado que el agua residual sintética ha tenido mayor presencia en los diversos estudios analizados.
- Respecto al tipo de humedales que se han utilizado para la remoción de metales pesados se encontró a los humedales de flujo superficial y a los de flujo subsuperficial en la categoría del flujo subsuperficial se encontró a los de flujo horizontal y los de flujo vertical, el análisis realizado a los diversos documentos se ha logrado identificar que en la gran mayoría de las investigaciones se han utilizado humedales de flujo vertical y de flujo vertical,
- En relación a los metales pesados, removidos por humedales artificiales han sido los siguientes: Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Cromo (VI), Al, Mg, Fe, P, B, Ni, Hg, con la presencia de este tipo de metales pesados, se ha logrado identificar que el metal pesado con mayor prevalencia ha sido el cobre (Cu), donde en muchas de los estudios se ha visto la presencia de este metal como principal contaminante de las diversas fuentes agua.
- Respecto a las condiciones operacionales de los humedales artificiales se ha logrado identificar que existen diversos factores a tener en cuenta para el correcto funcionamiento entre los que podemos mencionar la composición del sustrato, los tratamientos preliminares del agua, el área del humedal, población vegetal y el tiempo de retención hidráulica, la correcta operacionalización permite que los humedales artificiales logren su objetivo de reducir y tratar las aguas residuales.

## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar los humedales artificiales para remover aguas contaminadas por metales pesados, ya que se ha demostrado que la gran mayoría de humedales artificiales han demostrado ser eficientes en reducir la presencia de metales pesados en aguas residuales
- Se recomienda realizar más revisiones sistemáticas acerca de los humedales artificiales para tratar aguas con metales pesados, esto con el objetivo que se cuente con mayor material bibliográfico sobre el tema y sirva como base para las futuras investigaciones y la población se encuentre más informada sobre los beneficios positivos que brinda usar este tipo de humedales.
- Se recomienda realizar más investigaciones de humedales artificiales a escala piloto, escala laboratorio o escala real, esto con el objetivo de conocer cuáles son las nuevas tecnologías o técnicas que se vienen usando para remediar aguas contaminadas por metales y así reducir los índices de contaminación por el vertido de aguas con presencia de metales pesados.
- Se sugiere investigar sobre el tipo de sustrato, el tiempo de retención hidráulica y las especies vegetales que se tienen en cuenta para la construcción de un humedal artificial, con el objetivo de conocer cuál de estos factores es el más predominante para el agua contaminada por metales pesados, reduzca en mayor porcentaje su contaminación.

## REFERENCIAS

- Darwish, M., Aris, A., Hafiz Puteh, M., Abdul Kadir, A., Mohamed Najib, M. Z., & Mustafa, S. (2020). Phosphorus Extraction from Fish Waste Bones Ash by Acidic Leaching Method. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 17. doi:10.3233/AJW200013
- Abid, A. (2020). Use of two plants to remove pollutants in wastewater in constructed wetlands in southern Iraq. *The Egyptian Journal of Aquatic*, 46(3), 227-233. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687428520300492>
- Aboubacar, S. (2020). Domestic wastewater treatment using vertical flow constructed wetlands planted with *Arundo donax*, and the intermittent sand filters impact. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 20(1), 48-58. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.11.004>
- Afreen, M., & Ucak, I. (2020). Fish processing wastes used as feed ingredient for animal feed and aquaculture feed. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*. doi:10.18331/SFS2020.6.2.7
- Afreen, M., & Uçak, I. (2020). Fish processing wastes used as feed ingredient for animal feed and aquaculture feed. *Environmental Science*. doi:10.18331/SFS2020.6.2.7
- Afzal, M., Arslan, M., Muller, J., Shabir, G., Islam, E., Tahseen, R., . . . Khan, Q. (2019). Floating treatment wetlands as a suitable option for large-scale wastewater treatment. *Sostenibilidad de la naturaleza*, 2(9), 863-871. Obtenido de <https://www.nature.com/articles/s41893-019-0350-y>
- Agoro, M., Adeniji, A., Adelfisoye, M., & Okoh, O. (2020). Heavy Metals in Wastewater and Sewage Sludge from Selected Municipal Treatment Plants in Eastern Cape Province, South Africa. *Agua*, 12(10 ), 1-19. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4441/12>
- Ahuja, I., Dauksas, E., Remme, J., Richardsen, R., & Kristin Loes , A. (2020). Fish and fish waste-based fertilizers in organic farming – With status in Norway: A review. *Waste Management*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.025>
- Ajiboye, T., Oyewo, O., & Onwudiwe, D. (2021). Simultaneous removal of organics and heavy metals from industrial wastewater: A review. *Quimiosfera*(262), 1-20. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653520325741>
- Alarcon, M. T., Zurita, F., Lara, J., & Vidal, G. (2018). *Alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en America Latina*. Bogota: Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido de <http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2018/06/humedales-de-tratamiento-alternativa-de->

saneamiento-de-aguas-residuales-aplicables-en-Am%C3%A9rica-Latina.pdf

- Anand, S., Kumar, S., Kumar, S., & Kumar, N. (2019). Phytoremediation of Heavy Metals and Pesticides Present in Water Using Aquatic Macrophytes. *Remediacion de fito rizo*, 89-119. Obtenido de [https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&q=Phytoremediation+of+Heavy+Metals+and+Pesticides+Present+in+Water+Using+Aquatic+Macrophytes&btnG=#d=gs\\_cit&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3AMOjpGL9poiMJ%3AScholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D0%26h](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Phytoremediation+of+Heavy+Metals+and+Pesticides+Present+in+Water+Using+Aquatic+Macrophytes&btnG=#d=gs_cit&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3AMOjpGL9poiMJ%3AScholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D0%26h)
- Arce, P. A. (2018). *Humedales artificiales: una alternativa para tratamiento de aguas de produccion*. Bogota: Fundacion universidad de america facultad de educacion permanente y avanzada. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7132/1/091369-2018-I-GA.pdf>
- Arteaga, V. M. (2018). *Propuesta metodologica para la construccion de humedales artificiales*. Mexico: Institucion de enseñanza e investigacion en ciencias agricolas. Obtenido de <https://www.biopasos.com/biblioteca/Propuesta-metodologica-construccions-humedales-artificiales.pdf>
- Asprilla, W., Ramirez, J., & Rodriguez, D. (2020). Humedales artificiales de flujo subsuperficial: comparación de metodologías de diseño para el cálculo del área superficial basado en la remoción de materia orgánica. *Ingenierias USBMED*, 11(1), 65-73. Obtenido de <file:///C:/Users/hp/Downloads/Dialnet-HumedalesArtificialesSubsuperficiales-7973095.pdf>
- Aster, N. (2018). *Global Fish Market: Key facts & statistics to know in 2018*,. Reino Unido: Market Publishers Report Database. Obtenido de <https://marketpublishers.com/lists/23817/news.html>
- Aswad, Z., Ali, A., & Mhana, N. (2020). Vertical subsurface flow and free surface flow constructed wetlands for sustainable power generation and real wastewater selective pollutants removal. *Revista de ingenieria y desarrollo sostenible*, 24(6), 91-102. Obtenido de <https://jeasd.uomustansiriyah.edu.iq/index.php/jeasd/article/view/95>
- Atfaoui, K., Ettouil, A., Fadil, M., Asmaa, O., Inekach, S., Ouhssine, M., & Zarrouk, A. (2021). Controlled fermentation of food industrial wastes to develop a bioorganic fertilizer by using experimental design methodology. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.06.003>
- Atfaoui, K., Ettouil, A., Fadil, M., Asmaa, O., Inekach, S., Ouhssine, M., & Zarrouk, A. (2021). Controlled fermentation of food industrial wastes to develop a bioorganic fertilizer by using experimental design methodology. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20, 545. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.06.003>

- Ayaz, T., Khan, S., Zeb, A., Lei, M., & Alam, M. (2020). Remediation of industrial wastewater using four hydrophyte species: A comparison of individual (pot experiments) and mix plants. *Revista de gestion ambiental*, 255, 1-10. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719315518>
- Ayaz, T., Khan, S., Zeb, A., Lei, M., & Alam, M. (2020). Remediation of industrial wastewater using four hydrophyte species: A comparison of individual (pot experiments) and mix plants (constructed wetland). *Revista de Gestión Ambiental*, 255, 1-10. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719315518>
- Bali, M., & Tlili, H. (2019). Removal of heavy metals from wastewater using infiltration-percolation process and adsorption on activated carbon. *Revista internacional de ciencia y tecnología ambiental*, 16, 249-258. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-018-1663-5>
- Bansal, S., Lishawa, S., Newman, S., Tangen, B., Wilcox, D., Albert, D., . . . Windham, L. (2019). Typha (Cattail) Invasion in North American Wetlands: Biology, Regional Problems, Impacts, Ecosystem Services, and Management. *Humedales*, 39(4), 645-684. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s13157-019-01174-7>
- Bjørngen, H., & Erling Olaf, K. (2021). Anatomy of teleost fish immune structures and organs. *Inmunogenética*, 73. doi:10.1007/s00251-020-01196-0
- Blanco, J. (2018). Suitability of Totora (*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják) for Its Use in Constructed Wetlands in Areas Polluted with Heavy Metals. *Sostenibilidad*, 11, 1-22. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/1/19>
- Bolpagni, R. (2019). Linking vegetation patterns, wetlands conservation, and ecosystem services provision: From publication to application. *Special Issue article*, 1734-1740. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aqc.3358>
- Borja, M. (2015). *Estudio y dimensionado experimental de humedales artificiales para la mejora de la calidad de aguas de cursos fluviales*. Universidad Miguel Hernandez de Elche. Obtenido de <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2712/1/Mateu%20%20Romero%2C%20Cristian%20Borja.pdf>
- Camaño, J. A., Londoño, L., & Zapata, J. (2021). *Análisis técnico-económico del sistema integrado por la producción de peces y la alimentación de aves con dietas elaboradas a partir de ensilado piscícolas*.
- Carchi, J. W., & Garcia, B. A. (2021). *tratamiento de lodos de fosas septicas con humedales de flujo vertical en cuenca, Ecuador*. Cuenca: Universidad del Azuay. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10951/1/16493.pdf>



- Carella, F., Seck, M., Degli Esposti, L., Diadiou, H., Maienza, A., Baronti, S., . . . Adamiano, A. (2020). Thermal conversion of fish bones into fertilizers and biostimulants for plant growth – A low tech valorization process for the development of circular economy in least developed countries. *Journal Pre-proof*, 9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104815>
- Carvajal, A., Zapattini, C., & Quintero, C. (2018). Humedales Artificiales, una alternativa para la depuración de Aguas Residuales en el Municipio de Mizque, Bolivia. *Diseño y tecnología para el desarrollo*, 5, 88-108. Obtenido de <http://polired.upm.es/index.php/distecd/article/view/3744>
- Chang, K., & Huamán, C. R. (2019). *Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domesticas mediante las macrófitas Eichhornia Crassipes y Pistia Stratiotes, plantas típicas de la Selva Peruana*. Lima: Universidad Peruana Unión. Obtenido de <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3230>
- Chao Zhang, Y., Sol, Q., Liu, S., Wei, S., Xiaa, Q., Ji, H., . . . Hao, J. (2021). Extraction of fish oil from fish heads using ultra-high pressure pre-treatment prior to enzymatic hydrolysis. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 70. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102670>
- Chavan, R., & Mutnuri, S. (2021). Domestic wastewater treatment by constructed wetland and microalgal treatment system for the production of value-added products. *Environmental Technology*, 42(1), 21. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593330.2020.1726471>
- Choe, U., Mustafa, A., Lin, H., Choe, U., & Sheng, K. (February de 2020). Anaerobic co-digestion of fish processing waste with a liquid fraction of hydrothermal carbonization of bamboo residue. *Bioresource Technology*, 297. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122542>
- Coelho, J., Hennessy, A., Casey, I., Woodcock, T., & Kennedy, N. (2019). Responses of ryegrass, white clover, soil plant primary macronutrients and microbial abundance to application of anaerobic digestates, cattle slurry and inorganic N-fertiliser. *Applied Soil Ecology*, 144. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.07.011>
- Coelho, J., Prieto, M., Dowling, S., Hennessy, A., Casey, I., Woodcock, T., & Kennedy, N. (2018). Physical-chemical traits, phytotoxicity and pathogen detection in liquid anaerobic digestates. *Waste Management*, 78. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.017>
- Cortese, B. (2021). *Amortigiación de metales pesados en macrofitas y sedimentos como servicios ecosistemicos de bañados de desborde fluvial.Su evaluacion mediante indices bioticos con macroinvertebrados*. Argentina: Universidad Nacional de la plata. Obtenido de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/129500/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=4&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/129500/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

- Dahija, S., Besta, R., Jerkovic, A., Dug, S., & Muratovic, E. (2019). Utilization of *Mentha aquatica* L. for removal of fecal pathogens and heavy metals from water of Bosna river, Bosnia and Herzegovina. *Revista internejacional de fitorremediacion*, 21(8), 807-815. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15226514.2019.1566883>
- Dimpe, M., & Nomngong, N. (2018). Preparation and application of a tyre-based activated carbon solid phase extraction of heavy metals in wastewater samples. *Fisica y quimica de la tierra, partes A/B/C*, 105, 161-169. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706516300833>
- Ebrahim, M., Gaber, Y., Ahmed, M., & Rizk, F. (2020). Effect of media variation on the removal efficiency of pollutants from domestic wastewater in constructed wetland systems. *Ecological Engineering*, 143(1). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857419303921>
- Esteves, E., Landry, G., Zambon, F., Soranz Ferrarezi, R., & Kadyampakeni, D. (2021). Nitrogen, Calcium, and Magnesium Inconsistently Affect Tree Growth, Fruit Yield, and Juice Quality of Huanglongbing-affected Orange Trees. *American Society for Horticultural Science*, 56. doi:<https://doi.org/10.21273/HORTSCI15997-21>
- Estiasih, T., Ahmadi, K., Ali, D., Suseno, S., & Lestari, L. (2021). Valorisation of viscera from fish processing for food industry utilizations. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. doi:10.1088/1755-1315/924/1/012024
- Etteieb, S., Zolfaghari, M., Magdouli, S., & Kaur, S. (2021). Performance of constructed wetland for selenium, nutrient and heavy metals removal from mine effluents. *Chemosphere*, 281(1), 130921. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521013928>
- Fahlivi, M. (2018). 2018. *Physicochemical characteristics of liquid fertilizer from fish viscera*. Islandia: viscera. United Nations University, Fisheries Training Programme.
- FAO. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/ca9229en/CA9229EN.pdf>
- Feng, J., Yun, C., Sha, B., Wen, P., Jie, Z., Tian, P., . . . Hong, J. (2021). Regulation of heavy metals accumulated by *Acorus calamus* L. in constructed wetland through different nitrogen forms. *Quimiosfera*(281), 1-10. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521012443>
- Ferraciolli, L. M., de Bem Luiz, D., & Pena Naval, L. (2017). Potential for reuse of effluent from fish-processing industries.
- Galba Busato, J., Moreira de Carvalho, C., Basilio Zandonadi, D., Fabríz Sodré, F., Ribeiro Mol, A., Lima de Oliveira, A., & Diana Navarro, R. (2018). Recycling of wastes from fish beneficiation by composting: chemical characteristics of

the compost and efficiency of their humic acids in stimulating the growth of lettuce. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-017-0795-3>

- Garcia, A., Martinez, S., Faz, A., Terrero, A., Muñoz, M., Dolores, M., & Acosta, J. (2020). Treatment of WASTEWATER from the Tannery Industry in a Constructed Wetland Planted with *Phragmites australis*. <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/2/176>, 10(2), 1-10. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/2/176>
- Garcia, A., Martinez, S., Terrero, M., Faz, A., Muñoz, M., Gomez, M., & Acosta, J. (2019). Fitorremediación de aguas residuales industriales en humedales artificiales para uso agrícola. *X Congreso Ibérico de Agroingeniería: Libro de actas*, 778-784. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8145329>
- Ghimire, U., Nandimandalam, H., Martinez, E., & Gnaneswar, V. (2019). Wetlands for wastewater treatment. *Water Environment Research*, 91(10), 1378-1389. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/wer.1232>
- Gomez, N. M., & Sanchez, T. C. (2020). *Revisión de eficiencia de hongos ligninolíticos en la biodegradación y adsorción de los metales pesados en aguas residuales textiles*. Lima: Universidad Peruana de la Unión. Obtenido de [https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3258/Naid\\_T\\_rabajo\\_Bachillerato\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3258/Naid_T_rabajo_Bachillerato_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Guidini Lopesa, I., Boscov Braosb, L., Pessôa Cruz, M., & Meire Vidottia, R. (2020). Valorization of animal waste from aquaculture through composting: Nutrient recovery and nitrogen mineralization. *Aquaculture*, 531. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735859>
- Guio, D. G., & Toscano, J. D. (2018). Fitorremediación en humedal artificial con *Eichhornia Crassipes* para remoción de materia orgánica en muestras de agua del canal Albina en Bogotá. 1-30. Obtenido de <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/3417>
- Gunatila, S. (2015). Methods of Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater. *Metodos*, 1(1), 12-18. Obtenido de [file:///C:/Users/hp/Downloads/EE%20\(9\).pdf](file:///C:/Users/hp/Downloads/EE%20(9).pdf)
- Guo, X., Zhu, G., Jiao, X., & Zhou, G. (2019). Effects of nitrogen application and planting density on growth and yield of *Sesbania pea* grown in saline soil. *Current Science*, 116. doi:10.18520/cs/v116/i5/758-764
- Gutierrez, E. J. (2020). Ingeniería genética e ingeniería microestructural. *Universitarios potosinos*, 22-25. Obtenido de <http://www.uaslp.mx/Comunicacion-Social/Documents/Divulgacion/Revista/Dieciseis/246/246-04.pdf>

- Guzman, A. J., & Perez, G. P. (2019). *Diseño de humedales artificiales para fitorremediación de plomo y cromo con Typhía latifolia en el Lago Yahuarcocha-Imbura*. Ibarra: Universidad técnica del norte. Obtenido de [https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UTN\\_ee0f204613a35cdd3340f04e08327c06](https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UTN_ee0f204613a35cdd3340f04e08327c06)
- Hao, L., Liu, M., & Li, G. (2018). A critical review on arsenic removal from water using iron-based adsorbents. *RSC Adv.*, 8(1), 39545-39560. Obtenido de <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2018/ra/c8ra08512a>
- Heidarinejad, Z., Dehghani, M., Heidari, M., Javedan, G., Ali, I., & Sillanpää, M. (2020). Methods for preparation and activation of activated carbon: a review. *Cartas de química ambiental*, 18(2), 393-415. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-019-00955-0>
- Hepsibha Balraj, T., & Geetha, A. (2021). Effect of Biofertilizer (Fermented fish waste - Gunapaselam) on structure and biochemical components of *Vigna radiata* leaves. *RESEARCH JOURNAL OF CHEMISTRY AND ENVIRONMENT*, 27(7):64 - 70. doi:10.25303/257rjce6421
- Heredia, S. F., Gavilanes, A., & Heredia, M. F. (2020). Depuración de agua contaminada con hidrocarburos en el río Rumiayacu, utilizado humedales artificiales en la provincia de San Francisco. 84-93. Obtenido de <file:///C:/Users/User/Downloads/DEPURACI%C3%93N%20DE%20AGUA%20CONTAMINADA%20CON%20HIDROCARBUROS%20EN%20RIO%20RUMICAYU%20MEDIANTE%20HUMEDALES%20ARTIFICIALES%20EN%20LA%20PROVINCIA%20DE%20FRANCISCO%20ORELLANA.pdf>
- Hernández Mendoza, S. L., & Duana Avila, D. (2020). *Data collection techniques and instruments*. La Concepción: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL.
- Hernandez, J., Villar, M., Dominguez, E., & Cachaldora, I. (2012). Humedal subsuperficial vertical para el tratamiento de aguas residuales: Diseño, construcción y evaluación. *Revista cubana de química*, 24(2), 147-154. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543726006.pdf>
- Hernandez, R. (2014). En R. Hernandez . Mexico. Obtenido de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Huang, J., Wang, C., Qi, L., Zhang, X., Tang, G., Li, L., . . . Lua, M. (2020). Phosphorus is more effective than nitrogen in restoring plant communities of heavy metals polluted soils. *Environmental Pollution*, 266. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115259>

- Hussain, Z., Arsian, M., Shabiar, G., Hasan, M., Mohsin, M., Iqbal, S., & Afzal, M. (2019). Remediation of textile bleaching effluent by bacterial augmented horizontal flow and vertical flow constructed wetlands: A comparison at pilot scale. *Ciencia del medio ambiente total*, 685 , 370-379. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719324672>
- Idrees, N., Fathi, E., Hashem, A., & Sarah, R. (2018). Groundwater contamination with cadmium concentrations in some West U.P. Regions, India. *Saudi J Biol Sci*, 25(7), 1365–1368. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6252039/>
- Ikhajjagbe, B., Anoliefo, G. O., Olise, O., Rackelmann, F., Sommer, M., & Adekunle, I. (2020). Major phosphorus in soils is unavailable, yet critical for plant development. *Notulae Scientia Biologicae*. doi:10.15835/nsb12310672
- Iñarra, B., Bald, C., San Martín, D., Orive, M., Cebrián, M., & Zufía, J. (2018). *Guía de valorización de subproductos de la acuicultura*. Derio, España: AZTI.
- Islam, M. J., Encarnacion Emilia S, Y., Krongpong, L., Toppe, J., & Peñarubia, O. (2021). FISH WASTE MANAGEMENT: AN ASSESSMENT OF THE POTENTIAL PRODUCTION AND UTILIZATION OF FISH SILAGE IN BANGLADESH, PHILIPPINES AND THAILAND. *FAO Fisheries & Aquaculture Circular*.
- Janwgan, S., Vivek, K., & Amirsh, K. (2022). A review on the capability of zinc oxide and iron oxides nanomaterials, as a water decontaminating agent: adsorption and photocatalysis. *Applied Water Science volume*, 46(1). Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-021-01566-3>
- Jarvis, P., & Fawell, J. (2021). Lead in drinking water – An ongoing public health concern? *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 20(1), Current Opinion in Environmental Science & Health. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468584421000118>
- Jocou, A., & Gandullo, R. (2020). Diversidad de plantas vasculares de los humedales de la Norpatagonia (Argentina). *Revista del museo Argentino de ciencias naturales*, 22(2), 1-10. Obtenido de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1853-04002020000200134](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-04002020000200134)
- Johnson, R., Vishwakarma, K., Hossen, M., Kumar, V., Shackira, A., Puthur, J., . . . Hasanuzzaman, M. (2022). Potassium in plants: Growth regulation, signaling, and environmental stress tolerance. *Plant Physiol Biochem*. doi:10.1016/j.plaphy.2022.01.001
- Kasak, K., Truu, J., Sarjas, J., Paiste, P., Vainik, M., Mander, U., & Truu, M. (2018). Biochar enhances plant growth and nutrient removal in horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Ciencia del medio ambiente total*, 639 , 67-74. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718317947>

- Kaushal, J., & Mahajan, P. (2021). Kinetic Evaluation for Removal of an Anionic Diazo Direct Red 28 by Using Phytoremediation Potential of *Salvinia molesta* Mitchell. *Contaminacion ambiental y toxicologica*, 1-6. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00128-021-03297-2>
- Kelova, M., Greatorex, S., & Krogstad, T. (2021). Human excreta as a resource in agriculture – Evaluating the fertilizer potential of different composting and fermentation-derived products. *Resources, Conservation and Recycling*, 175. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105748>
- Khan, S., Rehman, A., Shah, H., Aadil, R., Ali, A., Shehzad, Q., . . . Xia, W. (2020). Fish Protein and Its Derivatives: The Novel Applications, Bioactivities, and Their Functional Significance in Food Products. *Alimento Rev. Int.* doi:<https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1828452>
- Kochi, L., Freitas, P., Maranhão, L., Juneau, P., & Gomes, M. (2020). Aquatic Macrophytes in Constructed Wetlands: A Fight against Water Pollution. *Sostenibilidad*, 12(21), 1-21. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/21/9202>
- Kumar, P. (2019). Heavy metals/metalloids remediation from wastewater using free floating macrophytes of a natural wetland. *Tecnología e innovación ambiental*, 15, 1-25. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186418306151>
- Kumar, S., Pratap, B., Dubey, D., & Dutta, V. (2020). Removal of nutrients from domestic wastewater using constructed wetlands: assessment of suitable environmental and operational conditions. *Sostenibilidad ambiental*, 3(4), 341-352. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s42398-020-00124-y>
- Kumar, S., Thakur, N., Singh, A., Gudade, A., & Ghimire, D. (2022). Aquatic macrophytes for environmental pollution control. *Elsevier*, 1(1). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323857635000234>
- Li, D., Chen, F., & Han, J. (2019). A study of the treatment of high-salt chromium-containing wastewater by the photocatalysis-constructed wetland combination method. *Water Science and Technology*, 80(10), 1956-1966. Obtenido de <https://iwaponline.com/wst/article/80/10/1956/71941/A-study-of-the-treatment-of-high-salt-chromium>
- Liang, Y., Zhu, H., Bañuelos, G., Xu, Y., Yan, B., & Cheng, X. (2019). Preliminary study on the dynamics of heavy metals in saline wastewater treated in constructed wetland mesocosms or microcosms filled with porous slag. *Investigación de la ciencia ambiental y la contaminación*, 26(33), 33804-33815. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-018-2486-0>
- Liu, M., Li, X., He, Y., & Li, H. (2020). Aquatic toxicity of heavy metal-containing wastewater effluent treated using vertical flow constructed wetlands. *Ciencia*

- del medio ambiente total*, 727, 1-37. Obtenido de [https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&q=Aquatic+toxicity+of+heavy+metal-containing+wastewater+effluent+treated+using+vertical+flow+constructed+wetlands&btnG=](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Aquatic+toxicity+of+heavy+metal-containing+wastewater+effluent+treated+using+vertical+flow+constructed+wetlands&btnG=)
- Liu, Y., Gong, L., Mu, X., Zhang, Z., Zhou, T., & Zhang, S. (2020). Characterization and co-occurrence of microbial community in epiphytic biofilms and surface sediments of wetlands with submersed macrophytes. *Ciencia del medio ambiente total*, 715, 1-10. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720304605>
- Lizana, P. (2018). *Tratamiento de aguas residuales para el caserío Villa Palambala*. Piura: Universidad de Piura. Obtenido de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3636/ING\\_605.pdf](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3636/ING_605.pdf)
- Lu, S., Gao, X., Xuerui, P., Li, W., Bai, X., Sun, M., & Wang, A. (2019). Assessment of the treatment of domestic sewage by a vertical-flow artificial wetland at different operating water levels. *Journal of Cleaner Production*, 208(1), 649-655. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618331251>
- Marks, E., Kinigopoulou, V., Akrou, H., Amine Azzaz, A., Doulgeris, C., Jellali, S., . . . Jeguirim, M. (2020). Potential for Production of Biochar-Based Fertilizers from Olive Mill Waste in Mediterranean Basin Countries: An Initial Assessment for Spain, Tunisia, and Greece. *Sustainability*, 12. doi:<https://doi.org/10.3390/su12156081>
- Marti Quijal, F. J., Remize, F., Meca, G., Ferrer, E., Ruiz, M. J., & Barba, F. J. (2020). Fermentation in fish and by-products processing: an overview of current research and future prospects. *ScienceDirect*, 31. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.08.001>
- Martinez, L., & Lopez, C. (2018). Islas flotantes como estrategia para el establecimiento de plantas acuáticas en el jardín Botánico de Bogotá. *Gestión ambiental*, 21(1), 110-120. Obtenido de [file:///C:/Users/hp/Downloads/Dialnet-IslasFlotantesComoEstrategiaParaElEstablecimientoD-6687501%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/hp/Downloads/Dialnet-IslasFlotantesComoEstrategiaParaElEstablecimientoD-6687501%20(1).pdf)
- Men, C., & Rozidaini, M. (2018). Phytoremediation of chromium(VI) using *Colocasia esculenta* in laboratory scale constructed wetlands. *Revista de Recursos Tropicales y Ciencias Sostenibles*, 6(1), 45-49. Obtenido de <http://journal.umk.edu.my/index.php/jtrss/article/view/727>
- Milicia, V. J., Rodríguez, M. F., Hagiwara, J. C., & Soto, M. S. (2021). Utilización de plantas puente en el mejoramiento del complejo calibrachoa-petunia. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 37(2), 136-150. Obtenido de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0719-38902021000200136&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0719-38902021000200136&script=sci_arttext)

- Min, X., Yao, L., Li, Q., Wang, L., & Cheng, Z. (2018). Distribution and ecological risk assessment of cadmium in water and sediment in Longjiang River, China: Implication on water quality management after pollution accident. *Chemosphere*, 194, 107-116. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653517319045>
- Mittal, Y., Dash, S., Srivastava, P., Mishra, P., & Aminabhavi, T. (2022). Azo dye containing wastewater treatment in earthen membrane based unplanted two chambered constructed wetlands-microbial fuel cells: A new design for enhanced performance. *Chemical Engineering Journal*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894721034331>
- Mohamad, N., Mohd, R., Mohd, F., & Hamzah, Z. (2019). Phytoremediation of heavy metals from wastewater by constructed wetland microcosm planted with *alocasia puber*. *Jurnal Teknologi*, 81(5), 17-23. Obtenido de <https://journals.utm.my/jurnalteknologi/article/view/13613>
- Mohammed, H. (2020). Comparative study on the performance of *Typha latifolia* and *Cyperus Papyrus* on the removal of heavy metals and enteric bacteria from wastewater by surface constructed wetlands. *Chemosphere*, 1-44.
- Moogouei, R., & Chen, Y. (2020). Removal of cesium, lead, nitrate and sodium from wastewater using hydroponic constructed wetland. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(7), 3495-3502. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-020-02627-x>
- Moreno, J. R., & Rangel, J. T. (2018). *Evaluacion de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal prototipo plantado con sistema vetiver para el tratamiento de aguas residuales en una vivienda rural en el municipio de Florida Blanca*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. Obtenido de [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5590/digital\\_37498.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5590/digital_37498.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Muñoz, K. M., & Vasquez, M. (2018). *Tendencias actuales para el tratamiento de aguas residuales domesticas:una revision de la literatura*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/23046/Mu%c3%b1oz%20Tello%20Keyla%20Madaly%20-%20Vasquez%20Perez%20Milagros.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Murphy, K., Efremov, A., Davidson, T., Molina, E., Fidanzad, K., Crivelari, T. C., . . . Bastrup, L. (2019). World distribution, diversity and endemism of aquatic macrophytes. *Botanica acuatica*, 158, 1-16. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304377019300300>
- Naciri, R., Lahrir, M., Benadis, C., Chtouki, M., & Oukarroum, A. (2021). *Interactive effect of potassium and cadmium on growth, root morphology and chlorophyll a fluorescence in tomato plant*. Scientific reports.



- Nadeem, A., Rachida, E., Roohul, A., Sirajuddin, A., Aastha, D., Majed, A., & Amadur, R. (2020). Horizontal sub surface flow Constructed Wetlands coupled with tubesettler for hospital wastewater treatment. *Journal of Environmental Management*, 267(1). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110627>
- Niño, I. D., Aponte, M. C., Rodriguez, L. A., & Perico, N. R. (2018). Fitorremediación en aguas residuales sin tratamiento. *Revista de tecnología*, 17(1), 37-48. Obtenido de <https://masd.unbosque.edu.co/index.php/RevTec/article/view/2950>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Lima. Obtenido de [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
- Pandeeswar, M., Debasis, G., & Govindaraju, R. G. (2021). Highly sensitive and Rapid detection of mercury in water using functionalized etched fiber Bragg grating sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 333(1), 129550. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925400521001180>
- Pandey, L., Park, J., Hee son, D., Kim, W., Islam, S., Choi, S., . . . Han, T. (2019). Assessment of metal contamination in water and sediments from major rivers in South Korea from 2008 to 2015. *Ciencia del medio ambiente total*, 651 , 325-333. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718334934>
- Paredes, J., & Ñique, M. (2018). Optimización de la fitorremediación de mercurio en humedales de flujo continuo empleando Eichhornia crassipes Jacinto de agua. *Investigación y amazonia*, 5, 44-49. Obtenido de <https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/57>
- Patel, D. S., Kirti, B., Patel Dhiraji, P., Vipulkumar, P., Suchismita, J., Narwade Ajay, V., & Chhatrola Harshadkumar, N. (2021). *Does plant root architecture respond to potassium under water stress? A case from rice seedling root responses*. Research Articles.
- Peraza , R., Garcia , M., Herrera , C., Medina , R., Rodriguez , M., & Terrones , B. (2019). Optimization of organic matter degradation kinetics and nutrient removal on artificial wetlands using Eichhornia crassipes and Typha domingensis. *Tecnología ambiental*, 40(5), 633-641. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593330.2017.1400111>
- Pickens, J., Danaher, J., Sibley, J., Chappell, J., & Hanson, T. (Noviembre de 2020). Integrating Greenhouse Cherry Tomato Production with Biofloc Tilapia Production. *Horticulturae*. doi:<https://doi.org/10.3390/horticulturae6030044>
- Prasad, M., Gupta, D., Shukla, R., Kumar, T., & Kumar, V. (2020). Phytoremediation of Heavy Metals from Mixed Domestic Sewage Through Vertical- Flow Constructed Wetland Planted with Canna Indica and Acorus Calamus.

*Practica y tecnologia de agua*, 15(2), 528-539. Obtenido de <https://iwaponline.com/wpt/article/15/2/528/74136/Phytoremediation-performance-of-Acorus-calamus-and>

- Quevedo, A. W. (2021). Diseño y construcción de humedal artificial para la recuperación de aguas residuales en la población de Alcalá. *Revista ciencia tecnología e INNOVACION*, 19(24), 133-147. Obtenido de [http://www.scielo.org.bo/pdf/rcti/v19n24/v19n24\\_a09.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/rcti/v19n24/v19n24_a09.pdf)
- Quisocala, M. M. (2019). *Actitud que tiene la población arequipeña hacia la credibilidad de los medios de comunicación masiva durante el proceso de producción noticiosa en Arequipa, durante el primer semestre del año 2018*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8170/CCDqulimm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramirez, L. (2020). *Agrobiología una visión general y sus aplicaciones*. Venezuela: Mérida. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Luis-Ramirez-Merida/publication/342293464\\_Agrobiologia\\_Una\\_vision\\_general\\_y\\_sus\\_aplicaciones/links/5f9232e9299bf1b53e3d8138/Agrobiologia-Una-vision-general-y-sus-aplicaciones.pdf#page=30](https://www.researchgate.net/profile/Luis-Ramirez-Merida/publication/342293464_Agrobiologia_Una_vision_general_y_sus_aplicaciones/links/5f9232e9299bf1b53e3d8138/Agrobiologia-Una-vision-general-y-sus-aplicaciones.pdf#page=30)
- Rana, V., & Kumar, M. (2018). Municipal wastewater treatment potential and metal accumulation strategies of *Colocasia esculenta* (L.) Schott and *Typha latifolia* L. in a constructed wetland. *Monitoreo y evaluación ambiental*, 19(6), 1-15. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-018-6705-4>
- Ranasinghe, A., Ratnayake, R., & Kannangara, S. (2021). Effects of Foliar and Soil-Applied Liquid Organic Fertilizers on the Growth of *Basella alba* L. and *Centella asiatica* L. *Journal of Agricultural Sciences*, 16, No 3. doi:<http://doi.org/10.4038/jas.v16i03.9466>
- Raphael, O., Ojo, A., Ogedengbe, K., Eghobamien, C., & Morakinyo, A. (2019). Comparison of the performance of horizontal and vertical flow constructed wetland planted with *Rhynchospora corymbosa*. *Revista Internacional de fitorremediación*, 21(2), 152-159. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15226514.2018.1488809>
- Rashmi, V., & Surindra, S. (2018). Performance assessment of horizontal and vertical surface flow constructed wetland system in wastewater treatment using multivariate principal component analysis. *Ecological Engineering*, 116(1), 121-126. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.02.022>
- Ratnayake, R., Kannangara, S., & Ranasinghe, A. (2021). Hydrolysis of fish waste using fruit wastes of *Ananas comosus* and *Carica papaya* for the formulation of liquid fertilizers. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. doi:10.30486/IJROWA.2021.1891960.1034
- Rojas Bravo, X., & Osorio A., B. (2019). Criterios de Calidad y Rigor en la Metodología Cualitativa. *Gaceta de Pedagogía*, 36.

- Rolewicz, M., Rusek, P., & Borowik, K. (2017). Obtaining of granular fertilizers based on ashes from combustion of waste residues and ground bones using phosphorous solubilization by bacteria *Bacillus megaterium*. *Journal of Environmental Management*. doi:10.1016/j.jenvman.2017.05.004
- Romero, D. F. (2021). *Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria textil por medio de humedales artificiales*. Bogota: Fundacion Universidad de America. Obtenido de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8737/1/58221-2021-2-GA.pdf>
- Saeed, T., Alamk, K., Miah, J., & Majed, N. (2021). Removal of heavy metals in subsurface flow constructed wetlands: Application of effluent recirculation. *Indicadores ambientales y de sostenibilidad*, 12, 1-10. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665972721000477>
- Salgado, A. C. (2017). Investigacion cualitativa: Diseños, evaluacion del rigor metodologico y retos. 13, 71-78. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/liber/v13n13/a09v13n13.pdf>
- Siles, L. B. (2020). *Caracterización fisicoquímica del agua superficial en la subcuenca del río La Paz, San Ramón, Alajuela Costa Rica; como indicador del impacto ambiental por urbanismo en la zona*. Costa Rica: Universidad Costa Rica. Obtenido de <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/82277/TFG%20Proyecto%20Laura%20Siles%20Alvarado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sima, J., Svoboda, L., Seda, M., Krejsa, J., & Jahodová, J. (2019). The fate of selected heavy metals and arsenic in a constructed wetland. *Revista de ciencias ambientales y salud*, 54(1), 56-64. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10934529.2018.1515519>
- Talebi, M., Sayed, B., & Akbarzadeh, H. (2019). Hyperaccumulation of Cu, Zn, Ni, and Cd in *Azolla* species inducing expression of methallothionein and phytochelatin synthase genes. *Quimiosfera*, 230, 488-497. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653519310021>
- Tamiru, M., & Bekele, G. (2020). Various Absorbents and Parameters Affecting Removal of Water Hardness from Wastewater: Review. *Int J Agua Tratamiento de aguas residuales*, 6(3), 1-20. Obtenido de [https://web.archive.org/web/20201212014608id\\_/https://www.sciforschenonline.org/journals/water-and-waste/article-data/IJWWT173/IJWWT173.pdf](https://web.archive.org/web/20201212014608id_/https://www.sciforschenonline.org/journals/water-and-waste/article-data/IJWWT173/IJWWT173.pdf)
- Tiwow, V., Adrianton, Abram, P., & Simatupang, E. (2019). The application of liquid and solid organic fertilizer from Tilapia fish waste for conservation of Central Sulawesi superior Jackfruit plant from Tulo and Beka. *Journal of Physics: Conference Series*. doi:10.1088/1742-6596/1567/2/022027
- Toledo, F. N. (2021). *Revisión Sistemática: Tecnologías de Tratamiento de Aguas Contaminadas con Metales Pesados para su Aplicación en el Ámbito Social*,


2021. Lima: Universidad César Vallejo. Obtenido de [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/73290/Toledo\\_TFJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/73290/Toledo_TFJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Vásquez, P., Zapata, J. E., Chamorro, V. C., García Fillería, S. F., & Tironi, V. A. (2022). Antioxidant and angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptides of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) viscera hydrolysates subjected to simulated gastrointestinal digestion and intestinal absorption. *LWT*, 154. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112834>
- Ventura, D., Ferrante, M., Copat, C., Grasso, A., Milani, M., Sacco, A., . . . Cirelli, G. (2021). *Ciencia del medio ambiente total*, 754, 1-10. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720357508>
- Ventura, D., Ferrante, M., Copat, C., Grasso, A., Milani, M., Sacco, A., . . . Cirelli, G. (2021). Metal removal processes in a pilot hybrid constructed wetland for the treatment of semi-synthetic stormwater. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 754, 1-10. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720357508>
- Verma, S., & Kuila, A. (2019). Bioremediation of heavy metals by microbial process. *Tecnología e innovacion ambiental*, 14, 1-39. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186418305911>
- Wang, J., Wang, W., Xiong, J., Li, L., Zhao, B., Sohail, I., & He, Z. (2021). A constructed wetland system with aquatic macrophytes for cleaning contaminated runoff/storm water from urban area in Florida. *Revista de Gestión Ambiental*, 280, 1-9. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720317199>
- Wang, J., Yun, C., Weng, B., Mo, P., Xu, Z., Tian, P., . . . Bai, J. (2021). Regulation of heavy metals accumulated by *Acorus calamus* L. in constructed wetland through different nitrogen forms. *Quimiosfera*, 281, 1-10. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521012443>
- Wang, M., Gu, Z., Wang, R., Guo, J., Ling, N., Firbank, L., & Guo, S. (2018). Plant Primary Metabolism Regulated by Nitrogen Contributes to Plant–Pathogen Interactions. *Plant Cell Physiol*, 60(2). doi:[10.1093/pcp/pcy211](https://doi.org/10.1093/pcp/pcy211),
- Wang, Q., Hu, Y., Xie, H., & Yang, Z. (2018). Constructed Wetlands: A Review on the Role of Radial Oxygen Loss in the Rhizosphere by Macrophytes. *Agua*, 10(6), 1-11. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/6/678>
- Winarso, S., Hermiyanto, B., Romadhona, S., Pandutama, M., Candra Setiawati, T., & Indasah, D. (2021). Effectiveness of Biopellet Combination of Biochar, Chicken Manure and Fish Waste To Improvement of Chemical Properties of Sandy Soil and Soybean Plant Growth. *Earth and Environmental Science*. doi:[10.1088/1755-1315/709/1/012068](https://doi.org/10.1088/1755-1315/709/1/012068)

- Wolowiec, M., Komorowska, M., Pruss, A., Rzepa, G., & Bajda, T. (2019). Eliminación de metales pesados y metaloides del agua Uso de Residuos de Tratamiento de Agua Potable como Adsorbentes: una revisión. *Minerales*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/514964>
- Wu, H., Ma, w., Kong, Q., & Liu, H. (2018). Spatial-temporal dynamics of organics and nitrogen removal in surface flow constructed wetlands for secondary effluent treatment under cold temperature. *Revista de ingeniería Química*, 350, 445-452. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894718310416>
- Xiaomeng Zhanga, e. a. (2020). Effect of heavy metals in mixed domestic-industrial wastewater on performance of recirculating standing hybrid constructed wetlands. *Chemical Engineering Journal*, 1-8.
- Xu, R., Zhang, Y., Liu, R., Cao, Y., Wang, G., Ji, L., & Xu, Y. (2019). Effects of different substrates on nitrogen and phosphorus removal in horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Investigación sobre ciencias ambientales y contaminación*, 26(16), 16229-16238. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-04945-1>
- Xu, X., & Mills, G. (2018). Do Constructed Wetlands Remove Metals or Increase Metal Bioavailability? *Revista de gestión ambiental*, 2018, 2245-255. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718303906>
- Young Kim, N., Yi Jung, H., & Kyun Kim, J. (2021). Identification and characterisation of a novel heptapeptide mackerel by-product hydrolysate, and its potential as a functional fertiliser component. *Journal of Chromatography B*, 1180. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2021.122881>
- Zamora, C., Negrete, D., Fuigueroa, F., Zamora, E., Alexis, F., & Guerrero, V. (2021). Heavy metal water pollution: A fresh look about hazards, novel and conventional remediation methods. *Technology & Innovation*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186421001528>
- Zhang, H., Zhang, L., Li, J., Chen, M., & Dong, R. (2020). Comparative study on the bioaccumulation of lead, cadmium and nickel and their toxic effects on the growth and enzyme defence strategies of a heavy metal accumulator, *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle. *Investigación de la ciencia ambiental y contaminación*, 27(9), 9853-9865. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-06968-0>
- Zhang, X., Wang, T., Xu, Z., Zhang, L., Dai, Y., Tang, X., . . . Tai, Y. (2020). Effect of heavy metals in mixed domestic-industrial wastewater on performance of recirculating standing hybrid constructed wetlands (RSHCWs) and their removal. *Revista de ingeniería química*, 379, 1-8. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894719317668>

- Zhao, Z., Zhang, X., Cheng, M., Song, X., & Zhang, Y. (2019). Influences of Iron Compounds on Microbial Diversity and Improvements in Organic C, N, and P Removal Performances in Constructed Wetlands. *Ecologia microbiana*, 78(4), 792-803. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00248-019-01379-7>
- Zhimiao, Z., Zhang, X., Cheng, M., Song, X., Zhang, Y., & Zhong, X. (2019). Influences of Iron Compounds on Microbial Diversity and Improvements in Organic C, N, and P Removal Performances in Constructed Wetlands. *Ecologia microbiana*, 78(4), 792-803. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00248-019-01379-7>

## ANEXO

### ANEXO 1: Ficha de análisis de contenido

	<b>FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO</b>	
<b>DATOS DEL AUTOR: NOMBRE(S)</b>		
<b>PÁGINAS UTILIZADAS</b>	<b>AÑO DE PUBLICACIÓN</b>	<b>LUGAR DE PUBLICACIÓN</b>
<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b>		
<b>PALABRAS CLAVE:</b>	Macrophytes, wastewater, heavy metals, artificial wetlands.	
<b>EFICIENCIA DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES</b>		
<b>FUENTES DE AGUAS RESIDUALES</b>		
<b>TIPOS DE HUMEDALES ARTIFICIALES</b>		
<b>TIPOS DE METALES PESADOS</b>		
<b>CONDICIONES OPERACIONALES DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES</b>		
<b>RESULTADOS:</b>		
<b>CONCLUSIONES:</b>		

*Elaboración propia*