



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Humedales Flotantes de Tratamiento (FTW) como Método de  
Remediación en Diversos Tipos de Aguas Residuales: Revisión  
sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Ambiental

**AUTOR:**

Canales Estacio, Rodrigo Alonso (orcid.org/0000-0002-0281-7474)

**ASESOR:**

Mg. Ugarte Alvan, Carlos Alfredo (orcid.org/0000-0001-6017-1192)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2022

## **Dedicatoria**

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mis padres y mis abuelos, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; pues mucho de mis logros se los debo a ustedes e incluso en este. Me forjaron con disciplina y con algunas libertades, pero al final de cuentas me motivaron constantemente para alcanzar mis metas.

## **Agradecimiento**

Este nuevo logro profesional es en gran parte gracias a ustedes, por sus esfuerzos y dedicaciones que me brindaron desde niño para por fin ser el profesional que soy hoy. Gracias a mis abuelos por el apoyo eterno brindado y la fe dejada en mí.

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	17
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	17
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización .....	17
3.3. Escenario de estudio.....	19
3.4. Participantes .....	19
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	19
3.6. Procedimiento .....	19
3.7. Rigor científico .....	21
3.8. Método de análisis de información .....	21
3.9. Aspectos éticos .....	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	23
V. CONCLUSIONES .....	35
VI. RECOMENDACIONES.....	36
REFERENCIAS	
ANEXOS	

## Índice de tablas

<i>Tabla 1. Matriz de categorización</i> _____	18
<i>Tabla 2. Tipos de aguas residuales</i> _____	23
<i>Tabla 3. Porcentaje de remoción de las aguas residuales</i> _____	26
<i>Tabla 4. Tipos de vegetación de los humedales flotantes</i> _____	31

## Índice de gráficos

<i>Gráfico 1. Procedimiento de estudio</i> -----	20
--	----

## Índice de figuras

<i>Figura 1. Riego de aguas residuales</i> -----	11
<i>Figura 2. Contaminación ambiental por el uso de aguas residuales</i> _____	12
<i>Figura 3. Contaminación de la cadena alimentaria por el riego de cultivos con aguas residuales</i> _____	13
<i>Figura 4. Funcionamiento del sistema de humedales de tratamiento flotante</i> _____	15

## Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar cuáles son los puntos más relevantes de la aplicación de humedales flotantes de tratamiento como método de remediación en diversos tipos de aguas residuales; para lo cual se aplicó un tipo de estudio aplicada, de diseño narrativo de tópico.

Mediante los resultados se obtuvo que, los tipos de aguas residuales más usadas son las aguas residuales industriales y pluviales; siendo entre las aguas industriales las que presentan mayor contaminación las industrias acuícolas, lácteas, grises sintéticos, drenaje ácido de la mina, con gasóleo diésel, industria textil. El porcentaje de remoción de las aguas residuales es alto presentando como promedio un porcentaje de 80% a más en contaminantes como TP, TN, TP, BOD, COD, metales pesados, hidrocarburos. Además, también se identificó que la mayor remoción se generaba con la adición de bacterias inoculadas. Por último, los tipos de vegetación de los humedales flotantes son de tipo macrofitas, siendo este la clase de vegetación que es más utilizadas para la remediación de aguas residuales, en especial para eliminar el nitrato de las aguas contaminadas. Siendo las macrofitas más empleadas *Phragmites australis*, *Spartina patens* y *Eichhornia Crassipes*.

Palabras clave: Humedal, tratamiento, remediación, flotante.

## **Abstract**

The objective of this work was to determine the most relevant points of the application of floating treatment wetlands as a remediation method in different types of wastewater; for this purpose, a type of applied study of topical narrative design was applied.

The results showed that the most used types of wastewater are industrial wastewater and rainwater; among industrial wastewater, the most polluted are the aquaculture, dairy, synthetic graywater, acid mine drainage, diesel fuel, and textile industries. The percentage of wastewater removal is high, with an average of 80% or more in pollutants such as TP, TN, TP, BOD, COD, heavy metals and hydrocarbons. In addition, it was also identified that the highest removal was generated with the addition of inoculated bacteria. Finally, the types of vegetation in the floating wetlands are of the macrophyte type, being this the type of vegetation that is most used for wastewater remediation, especially to remove nitrate from contaminated water. The most used macrophytes are *Phragmites australis*, *Spartina patens* and *Eichhornia Crassipes*.

Keywords: Wetland, treatment, remediation, floating.



# I. INTRODUCCIÓN

El agua es un valioso regalo de la naturaleza para la humanidad y otras formas de vida en la Tierra (Mok W. et al., 2020, p.4). En todo el mundo, el agua dulce representa el 3% del volumen total de agua de la Tierra, y sólo una pequeña fracción (<1%) de este recurso está disponible para los ecosistemas y la utilización humana (Peeters R. et al., 2021, p.3).

Convirtiéndose así el agua dulce en un recurso natural escaso por varias razones, como el rápido crecimiento de la población, la distribución desigual, el cambio climático, la contaminación y las actividades industriales y agrícolas (Weinzettel J. y Pfister S., 2019, p.1).

La escasez de agua dulce disponible afecta significativamente la producción sostenible de alimentos para la población en rápido crecimiento (Qureshi Asad S. y Ismail S., 2017, p.2). Este problema ha obligado a las personas en la mayor parte del mundo a utilizar las aguas residuales como una solución viable (Jiang Jing et al., 2022, p.2).

Estudios anteriores indicaron que, debido a la escasez de agua dulce en todo el mundo, las aguas residuales (tratadas y no tratadas) se utilizan ampliamente para el cultivo de plantas en zonas municipales (Angelakis Andreas N. et al., 2018, p.3).

Según el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (UNWWAP), la producción mundial anual de aguas residuales se estima en 1500 km<sup>3</sup> (Lane Kaycie et al., 2022, p.7). Se estima que, en todo el mundo, alrededor de 20 millones de ha (el 7% del total de las tierras de regadío) se riegan con aguas residuales no tratadas (UTW), especialmente en las regiones áridas y semiáridas (Hoogesteger J., 2022, p.4).

En Etiopía, en casi todas las partes del país las aguas residuales se vierten directamente en el medio ambiente circundante sin tratamiento; así mismo, en diversas partes del mundo las aguas residuales se vierten directamente en el medio ambiente circundante sin tratamiento (Shahid Muhammad et al., 2020, p.2). A pesar de ello, en varios países los agricultores, y la gente en general, prefieren utilizar las aguas residuales para regar las verduras y los cultivos (Khalid Sana et al., 2018, p.2).

Pero, la reutilización de aguas residuales tiene algunos efectos nocivos sobre la salud humana y ambiental como el deterioro de la estructura del suelo y alteración de sus variables fisicoquímicas (Mehmood Y. et al., 2022, p.3).

Ante ello, los humedales flotantes de tratamiento (FTW), están ganando cada vez más interés por la comunidad científica (Messer Tiffany L. et al., 2022, p.2). Ello debido a las diversas características valiosas, como la remediación de aguas residuales en diversas condiciones, la preservación de la calidad del ecosistema, la conservación del paisaje y los beneficios estéticos (Yamasaki Tais N. et al., 2022, p.2).

Siendo que, los FTW son una fitotecnología en la que las macrófitas crecen en una balsa flotante con sus raíces en contacto permanente con el agua y eliminan los contaminantes a través de varios procesos físico-químicos-biológicos (Stanley M. et al., 2022, p.4).

Por lo tanto, mediante la realidad problemática mostrada se plantea el siguiente problema general: ¿Cuáles son los puntos más relevantes de la aplicación de humedales flotantes de tratamiento como método de remediación en diversos tipos de aguas residuales?

Así mismo, se plantearon las tres siguientes preguntas:

**PE1:** ¿Cuáles son los tipos de aguas residuales más usadas en el tratamiento de remediación con humedales flotantes de tratamiento?

**PE2:** ¿Cuál es el porcentaje de remoción de las aguas residuales mediante humedales flotantes?

**PE3:** ¿Cuáles son los tipos de vegetación de los humedales flotantes como métodos de remoción de los diversos tipos de aguas residuales?

Así mismo se plantearon el objetivo de estudio: Determinar cuáles son los puntos más relevantes de la aplicación de humedales flotantes de tratamiento como método de remediación en diversos tipos de aguas residuales.

Mientras que los objetivos específicos fueron los siguientes:

**OE1:** Clasificar cuáles son los tipos de aguas residuales más usadas en el tratamiento de remediación con humedales flotantes de tratamiento

**OE2:** Definir cuál es el porcentaje de remoción de las aguas residuales mediante humedales flotantes

**OE3:** Identificar cuáles son los tipos de vegetación de los humedales flotantes como métodos de remoción de los diversos tipos de aguas residuales

Debido a la preocupación de la escases de agua dulce y el uso de las aguas residuales y al inadecuado o escaso tratamiento que se brinda a los diversos tipos de aguas residuales en especial en zonas alejadas de los centros urbanos se plantea investigar los sistemas FTW aplicados al tratamiento descentralizado de aguas residuales y analizar críticamente el papel que este presenta como método de tratamiento, por lo que el presente trabajo realizará una recolección de diversas literaturas actualizadas a nivel mundial; presentando de esta manera el trabajo una justificación teórica; siendo dirigido el estudio a los ingenieros investigadores con la finalidad de mejorar la calidad de los efluentes tratados y evaluar la potencial reutilización de los diversos tipos de aguas residuales, buscando brindar como opción un método viable y económico.

## II. MARCO TEÓRICO

Saleem Hamna et al., (2019, p.2), en su trabajo “*Phragmites australis*, una hierba helófito, puede establecer una asociación exitosa con las bacterias que degradan el fenol en un humedal de tratamiento flotante”, tiene como objetivo investigar la viabilidad de usar *P. australis* (una hierba helófito) en combinación con tres cepas bacterianas, a saber, *Acinetobacter lwoffii* ACRH76, *Bacillus cereus* LORH97 y *Pseudomonas* sp. LCRH90, en un humedal de tratamiento flotante (FTW) para la eliminación de fenol del agua contaminada. Las cepas se examinaron en función de sus actividades degradadoras de fenoles y promotoras del crecimiento de las plantas. Descubrimos que las bacterias inoculadas pudieron colonizar las raíces y los brotes de *P. australis*, lo que sugiere su papel potencial en la eliminación exitosa de fenol del agua contaminada. *Pseudomonas* sp. LCRH90 dominó la estructura de la comunidad bacteriana seguida por *A. lwoffii* ACRH76 y *B. cereus* LORH97. Como resultados, la tasa de eliminación fue significativamente alta en comparación con los socios individuales, es decir, plantas y bacterias por separado y la biomasa vegetal, que se redujo drásticamente en presencia de fenol, se recuperó significativamente con la inoculación de consorcios bacterianos. Asimismo, la mayor reducción en la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y el carbono orgánico total (TOC) se logra cuando se emplean plantas y bacterias.

Tara Nain et al., (2019, p.2), en su trabajo de investigación “Rendimiento in situ de macrocosmos de humedales de tratamiento flotante aumentados con bacterias que degradan el tinte para la remediación de aguas residuales de la industria textil”, tiene como objetivo evaluar el rendimiento de un sistema a escala piloto que transporta *Phragmites australis* en combinación con tres bacterias promotoras del crecimiento vegetal y degradadoras de colorantes (*Acinetobacter junii* cepa NT-15, *Rhodococcus* sp. cepa NT-39 y *Pseudomonas indoloxydans* cepa NT-38) para el tratamiento de la industria textil aguas residuales (Interloop Limited, Faisalabad, Pakistán). Se establecieron quince macrocosmos FTW que comprenden plantas y bacterias por separado o en combinación. Cada unidad era capaz de transportar 1000 L de aguas residuales y el sistema se operó en modo discontinuo durante un período de 2 años. Después de un año de instalación, el rendimiento de todas las unidades FTW fue óptimo. Los resultados mostraron que se observó una alta remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos en los tanques con vegetación, mientras

que la aplicación combinada de plantas y bacterias mejoró aún más el desempeño de la remoción, es decir, la demanda química de oxígeno se redujo al 92 %, la demanda bioquímica de oxígeno al 91 % y el color al 86 %. , y trazas de metales hasta aproximadamente el 87 % en las aguas residuales.

Lopardo Cristina R. et al., (2019, p.1); en su artículo “Comparación de la eficiencia de retención de nutrientes entre mesocosmos de humedales de tratamiento de flujo vertical y flotante con y sin plástico biodegradable”, comparó la retención de nutrientes y las comunidades microbianas de dos tipos de mesocosmos de humedales construidos, un humedal de tratamiento de flujo vertical (VFTW) y un humedal de tratamiento flotante (FTW) en el sur subtropical de Florida; donde, implementaron plástico biodegradable (policaprolactona) como fuente externa de carbono y monitoreamos el desempeño de VFTW y FTW para el tratamiento de efluentes de acuicultura marina. La superficie de policaprolactona estaba cubierta por varios géneros de cianobacterias, incluidos *Oscillatoria*, *Leptolyngbya*, *Brasilonema* y *Trichormus* y algunas bacterias que degradan el plástico, como *Pseudomonas*. La presencia de un plástico biodegradable en FTW mejoró el rendimiento general de la eliminación de nitrógeno (nitrito más nitrato) en un 14 % mediante desnitrificación \_ El patrón de eliminación de nutrientes entre dos mesocosmos de humedales de tratamiento fue significativamente diferente ( $p < 0,01$ ), con más del 87–91 % de retención de nitrógeno total en VFTW y sin retención en FTW, este último debido a la mala retención de nitrito más nitrato y a la producción de nitrógeno orgánico del sistema no presente en las aguas de entrada. El fósforo total se retuvo en ambos tipos de mesocosmos , con una mayor retención (74-81%) en el VFTW que en el FTW (17-40%).

Queiroz Rita et al., (2020, p.1); en su estudio “Evaluación de macrófitos acuáticos autóctonos con potencial de fitorremediación para el tratamiento de aguas residuales lácteas en humedales artificiales flotantes”, investigó el uso de macrófitas encontradas en ecosistemas naturales en la costa sur del estado de Bahía, Brasil, para el tratamiento de aguas residuales lecheras (DWW) usando sistemas experimentales del tipo de humedales artificiales flotantes. Se han probado cuatro especies de macrófitos acuáticos utilizando plataformas flotantes hechas de botellas de PET. La demanda química de oxígeno (COD), la demanda bioquímica de oxígeno (BOD), los sólidos totales (TS), el pH y la temperatura de DWW se analizaron durante

15 días. Al quinto día se logró una disminución de la DBO del 74,8% ( $\pm 7,7$ ). *Eichhornia crassipes* (86,4%) y *Eichhornia paniculata* (84,8%) mostraron los mejores resultados, mientras que *Polygonum ferrugineum* y *Borreria scabiosoides* logró la remoción de 65% y 74.2% de DBO, respectivamente. Considerando la reducción de TS en el ACS diluido con agua de lluvia, los mejores resultados los obtuvieron *Eichhornia crassipes* (64,3%) y *Eichhornia paniculata* (65,18%). Los macrófitos del género *Eichhornia* mostraron un mayor potencial para el tratamiento de DWW que los macrófitos *Polygonum ferrugineum* y *Borreria scabiosoides*, con un tiempo de retención hidráulica que varió entre cuatro y cinco días.

Abed Suhai et al., (2017, p.2), en su artículo “Remediación de aguas grises sintéticas en mesocosmos: humedales de tratamiento flotante a escala”, seleccionaron dos recetas químicas diferentes que comprenden varios contaminantes para crear niveles altos (HC) y bajos (LC) de aguas grises sintéticas contaminadas (SGW) y buscaron la remediación en humedales de tratamiento flotante (FTW) a escala de macrocosmos con vegetación de *Phragmites australis*(Cav.) Trin. ex Steud. (junco común) se investigó en condiciones climáticas naturales. Para evaluar el impacto de las interacciones entre las variables operativas experimentales en los rendimientos de eliminación de FTW, se aplicaron diferentes enfoques de análisis estadístico. Los resultados revelaron que los valores de sólidos suspendidos totales (TSS) y turbidez cayeron significativamente ( $p < 0,05$ ) en presencia de vegetación en comparación con los valores de humedales sin vegetación. Los resultados mostraron que la presencia de vegetación puede mejorar significativamente ( $p < 0,05$ ) la posibilidad de biodegradación de las aguas grises aumentando la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de cinco días y disminuyendo las concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO). En FTW con vegetación, se pueden lograr mayores tasas de eliminación de COD cuando se trata HC-SGS en comparación con LC-SGW. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en la eliminación de DBO. Se han registrado aumentos significativos ( $p < 0,05$ ) en las concentraciones de DBO al aumentar el tiempo de contacto del tratamiento, mientras que se han registrado altas eliminaciones de DQO.

Gupta Varun et al., (2020, p.1), en su estudio “Humedal de tratamiento flotante poco profundo capaz de reducir el sulfato en aguas impactadas por el drenaje ácido de la

mina en un clima del norte”, diseñaron un nuevo FTW con un perfil de suelo de 20 cm para probar su capacidad para soportar procesos microbianos anaeróbicos, como el hierro y el sulfato. reducción y permanecer funcional después de las condiciones de congelación de los meses de invierno. Se usaron tres plantas diferentes, *Carex lacustris*, *Typha latifolia* y *Juncus canadensis* para probar en nuestros FTW, que se implementaron en un agua afectada por la minería en Sudbury, ON, Canadá. Las muestras de agua intersticial se adquirieron utilizando mirones de agua intersticial incorporados. Prevalcieron condiciones de reducción baja a moderada, junto con la presencia de hierro ferroso y sulfuro de hidrógeno en el agua intersticial de todos los FTW, independientemente del tipo de vegetación constituyente. Además, además de un aumento de ~30 % en la riqueza de bacterias reductoras de sulfato (SRB) y un aumento de ~100 % en la abundancia de SRB entre años, hubo evidencia de que los procesos anaeróbicos estaban ocurriendo en estos FTW poco profundos.

Afzal Muhammad et al., (2019, p.1), en su estudio “Rehabilitación a gran escala de aguas contaminadas con petróleo utilizando humedales de tratamiento flotantes”, a gran escala, utilizó cuatro plantas diferentes, *Phragmites australis*, *Typha domingensis*, *Leptochloa fusca* y *Brachiaria mutica*, para vegetar una estera flotante con un área de 3058 m<sup>2</sup> hecho de materiales de origen local. Los humedales flotantes de tratamiento contruidos de esta manera se usaron para tratar un pozo de estabilización de agua contaminada con petróleo resultante de las actividades de exploración de petróleo y gas en el distrito de Chakwal, Pakistán. Las plantas y el agua del pozo se inocularon con un consorcio de 10 bacterias degradadoras de hidrocarburos diferentes. La aplicación de humedales de tratamiento flotante al tajo redujo la demanda química de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno, los sólidos disueltos totales, el contenido de hidrocarburos y los metales pesados en un 97,4 %, 98,9 %, 82,4 %, 99,1 % y 80 %, respectivamente, en 18 meses. Todas las plantas sobrevivieron y mostraron crecimiento, pero *P. australis* exhibió el máximo desarrollo y producción de biomasa. Además, las bacterias utilizadas para la inoculación pudieron persistir y mostrar actividad de degradación en el agua, así como en el rizoplaneo, las raíces y los brotes de las plantas. Concluyendo que los humedales de tratamiento flotante se pueden aplicar a pozos de estabilización de agua contaminada con petróleo para un tratamiento de agua asequible y eficaz.

Fahid Muhammad et al., (2020, p.2), en su trabajo “*Cyperus laevigatus* L. mejora la remediación de diesel oil en sinergia con la inoculación bacteriana en humedales flotantes de tratamiento”, se llevó a cabo para explorar las aplicaciones sinérgicas de plantas y bacterias para limpiar el agua contaminada con gasoil. Donde, examinaron la aplicación de humedales flotantes de tratamiento (FTW) es una opción económica y superlativa para el tratamiento de agua contaminada con gasóleo. En este estudio, se adoptó un sistema de tratamiento de humedales flotantes a escala piloto con agua contaminada con aceite diesel (1% p/v), utilizando *Cyperus laevigatus* L y una mezcla de cepas bacterianas degradantes de hidrocarburos; a saber, *Acinetobacter* sp.61KJ620863, *Bacillus megaterium*65 KF478214 y *Acinetobacter* sp.82 KF478231. Se observó que el consorcio de bacterias degradadoras de hidrocarburos mejoró la remediación del gasóleo en combinación con *Cyperus laevigatus* L. Además, el rendimiento de los FTW se vio mejorado por la colonización de cepas bacterianas en la raíz y el brote de *Cyperus laevigatus* L. Independientemente, la bacteria consorcio y *Cyperus laevigatus*L exhibió una reducción de 37,46% y 56,57% en diesel oil, respectivamente, mientras que la aplicación conjunta de plantas y bacterias en FTWs mostró una reducción de 73,48% en hidrocarburos. Además, la inoculación microbiana mejoró la biomasa fresca (11,62 %), la biomasa seca (33,33 %) y la altura (18,05 %) de las plantas. Concluyendo que *Cyperus laevigatus* L. aumentado con un consorcio bacteriano degradante de hidrocarburos mostró una notable capacidad para descontaminar el gasóleo del agua y podría mejorar el rendimiento de los FTW.

Shahid Munazzam J. et al., (2020, p.2), en su artículo “Comparación del rendimiento de cuatro macrófitos en humedales de tratamiento flotante asistido por bacterias para la eliminación de metales traza (Fe, Mn, Ni, Pb y Cr) del agua de río contaminada”, comparó el rendimiento de cuatro macrófitos , a saber , *Brachia mutica* , *Typha domingensis* , *Phragmites australis* y *Leptochala fusca* , en humedales de tratamiento flotante asistidos por bacterias (FTW) para la limpieza de cinco metales traza (Fe, Mn, Ni, Pb y Cr ) del agua contaminada del río. Las macrófitas se sembraron en una lámina de poliestireno para preparar FTW, que se colocaron sobre el agua del río contaminada con metales. El consorcio de cinco cepas bacterianas rizosféricas y endófitas, es decir, *Aeromonas salmonicida*, *Pseudomonasindoloxydans*, *Bacillus cerus*, *Pseudomonas gessardii* y *Rhodococcus*sp., se inoculó para respaldar la capacidad de remediación natural. Los resultados, muestran una reducción



significativa en el contenido de metal por parte de los cuatro macrófitos y la eliminación mejoró significativamente cuando se aplicó el inóculo bacteriano. La máxima remoción se observó en FTW sembrados con *P. australis* e inoculados con bacterias. En este tratamiento (T6) los contenidos de Fe, Mn, Ni, Pb y Cr se redujeron a 0.53, 0.20, 0.09, 1.04 y 0.07 mg L<sup>-1</sup> después de cinco semanas de tiempo de retención.

Zhang Xiaoyi et al., (2019, p.1), en su estudio “Estudio comparativo sobre la eliminación de nitrógeno y la respuesta de genes funcionales entre humedales construidos de flujo superficial y humedales flotantes de tratamiento plantados con *Iris pseudacorus*”, humedales construidos de flujo superficial (SFCW) y humedales de tratamiento flotante (FTW) plantados con *Iris pseudacorus* establecieron en paralelo para la eliminación de nitrógeno. Se investigaron las eficiencias y vías de eliminación de nitrógeno, así como la abundancia y diversidad funcional de la comunidad microbiana. Los resultados demostraron que SFCW generalmente tuvo un mejor rendimiento de eliminación de nitrógeno que FTW durante cuatro temporadas. La eficiencia promedio de remoción de nitrógeno total fue de 66.0% y 43.8% en SFCW y FTW, respectivamente. La absorción de la planta desempeñó un papel vital en la reducción de nitrógeno, que representó el 29,3 % y el 7,7 % del nitrógeno total eliminado en SFCW y FTW, respectivamente. Una combinación de secuenciación de alto rendimiento y análisis de reacción en cadena de la polimerasa cuantitativa reveló que los dos sistemas de humedales tenían un ciclo de nitrógeno completo, y el *narG* gen era el gen funcional de transformación de nitrógeno dominante en ambos sistemas.

Ante los antecedentes presentados se expone la problemática que abarcan los diversos estudios y el problema general:

Donde, es debido señalar que el agua puede considerarse uno de los bienes más valiosos de la tierra, ello se hace evidente por la plétora de actividades humanas que compiten por este recurso escaso (Rasheed R., 2022, p.2).

En el sector doméstico el agua se requiere para las tareas del hogar y para beber, la industria utiliza el agua como solvente o materia prima química, las centrales termoeléctricas necesitan agua como refrigerante y el agua de riego es esencial para

la agricultura, que es responsable de la mayor parte de la demanda de agua (Soliman Ahmed M. et al., 2022, p.2).

Además, debido a la amplia variedad de usos del agua hace que la escasez local de agua sea un problema grave (Rabaey Korneel et al., 2020, p.2). Por lo que se prevé que varios miles de millones de personas vivan en áreas con escasez de agua en un futuro cercano (Urban Jeffrey J., 2017, p.3).

Por ejemplo; una población mundial en crecimiento combinada con el deterioro de la calidad del agua, la caída de los niveles de las aguas subterráneas y la intensificación del nexo agua-energía hacen que el problema de la escasez de agua sea cada vez más prominente (Tang M. et al., 2022, p.3). El agua en la Tierra es abundante; sin embargo, la mayor parte de esta agua no es directamente útil ya sea porque es salina, presente en acuíferos profundos y de difícil acceso, o presente en estado sólido como nieve o hielo o vapor en la atmósfera (Boretti A. y Rosa L., 2019, p.2).

La escasez de agua es en gran medida un fenómeno regional o estacional causado por el ciclo hidrológico dinámico (Peeters Robin et al., 2021, p.2). Por lo que incrementar la producción local de agua es una solución lógica al problema de la escasez de agua (Zhao E. et al., 2021, p.1).

Las aguas residuales son similares a los residuos sólidos, diferenciándose principalmente por el mayor contenido de agua de las primeras (Yang Fang et al., 2022, p.2). Pueden contener sustancias muy tóxicas para la vida acuática y las poblaciones humanas (Yang Xueting et al., 2022, p.2).

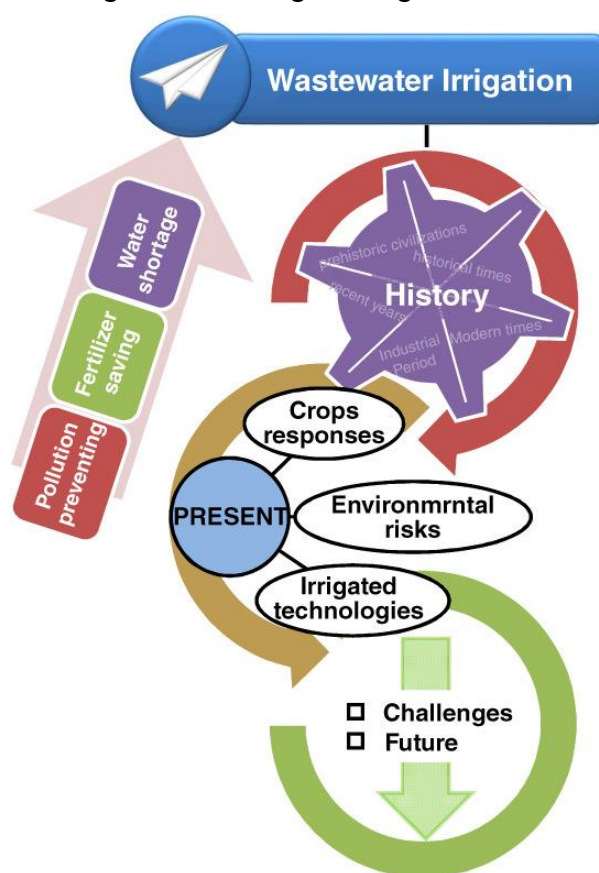
Las aguas residuales contienen casi todos los elementos de la tabla periódica; estos existen en muchas formas y los químicos diferencian los compuestos como orgánicos o inorgánicos (Gorfie Belihu et al., 2022, p.3). Si un compuesto carece de un átomo de carbono unido covalentemente a otro átomo de carbono o hidrógeno, se clasifica como "inorgánico"; donde los inorgánicos suelen diferenciarse en metales y no metales (Koutsou Olga P. et al., 2021, p.4).

Los contaminantes pueden estar disueltos o suspendidos en el agua; así, las aguas residuales pueden entrar directamente en las aguas superficiales (Chen Heng et al., 2022, p.3). Por ejemplo, a través de una estructura de vertido, o llegar a un sistema de alcantarillado pluvial. Una vez que el agua contaminada llega a las aguas

superficiales o subterráneas, perjudica a ambas de muchas maneras (Park Ji Won et al., 2022, p.2).

Ante ello en las zonas donde escasea el agua dulce, las aguas residuales se utilizan con frecuencia para el riego de los cultivos (Zhang Y. y Shen Y., 2019, p.2). Aunque no está legalmente permitido en la mayoría de los países, el uso de aguas residuales no tratadas para el riego de cultivos se ha practicado en muchos países del mundo debido a la escasez de agua de buena calidad (Khalid Sana et al., 2017, p.2). Ver figura 1.

Figura n°1. Riego de aguas residuales



Fuente: Extraído de Zhang Y. y Shen Y., (2019)

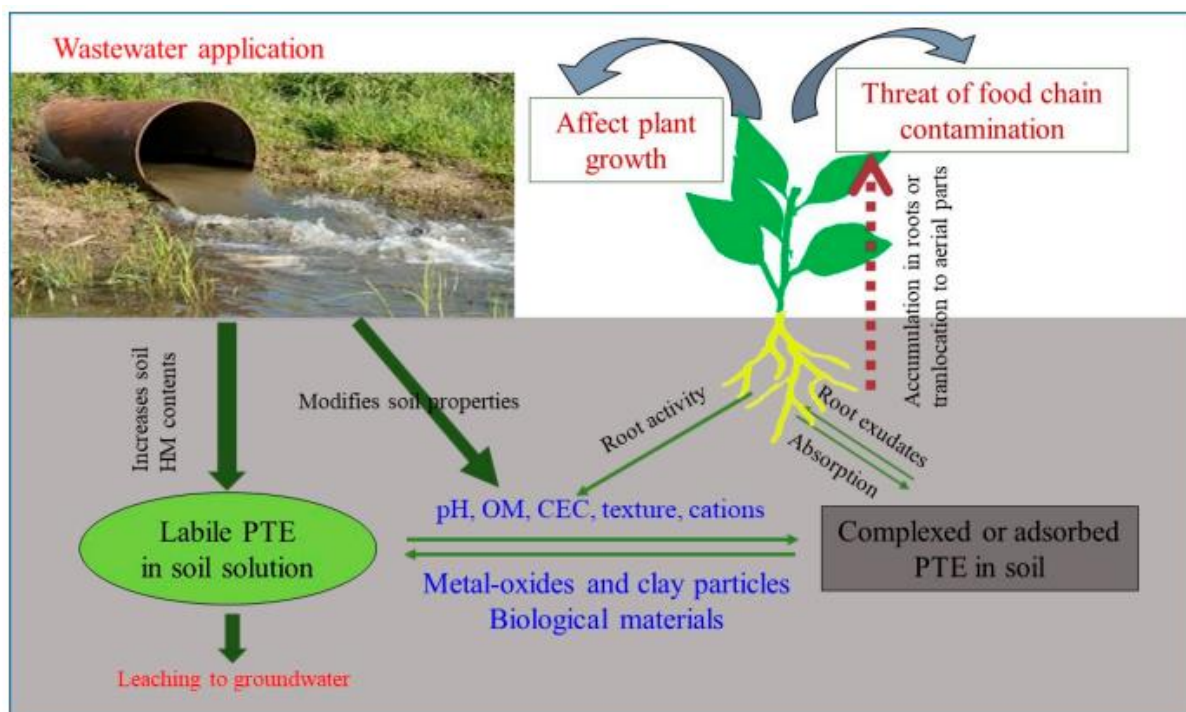
La figura 1 es una descripción general amplia y sistemática de la historia, el estado actual y los desafíos futuros centrados en el riego con aguas residuales.

El riego de cultivos con aguas residuales se convierte en una opción válida para los agricultores, especialmente debido a la falta de alternativas viables; donde, aproximadamente 20 millones de hectáreas en 50 países se riegan con aguas residuales (Wang Han-jie et al., 2022, p.4).

El uso de las aguas residuales para el riego tiene muchas ventajas, como ser una rica fuente de minerales, nutrientes (fósforo y diferentes especies de nitrógeno) y carbono orgánico (CO), además de proporcionar la humedad necesaria para el crecimiento de las hortalizas (Goyal Megh., 2016, p.283).

También tiene un efecto positivo en la estructura del suelo, que mejora la materia orgánica (MO), los nutrientes y las diversidades microbianas (Marano Roberto et al., 2019, p.3). Sin embargo, el uso excesivo de aguas residuales contaminadas deteriora la estructura del suelo y afecta a las variables fisicoquímicas del mismo (Mukhametov Almas et al., 2022, p.2). Ver figura 2.

Figura n°2. Contaminación ambiental por el uso de aguas residuales



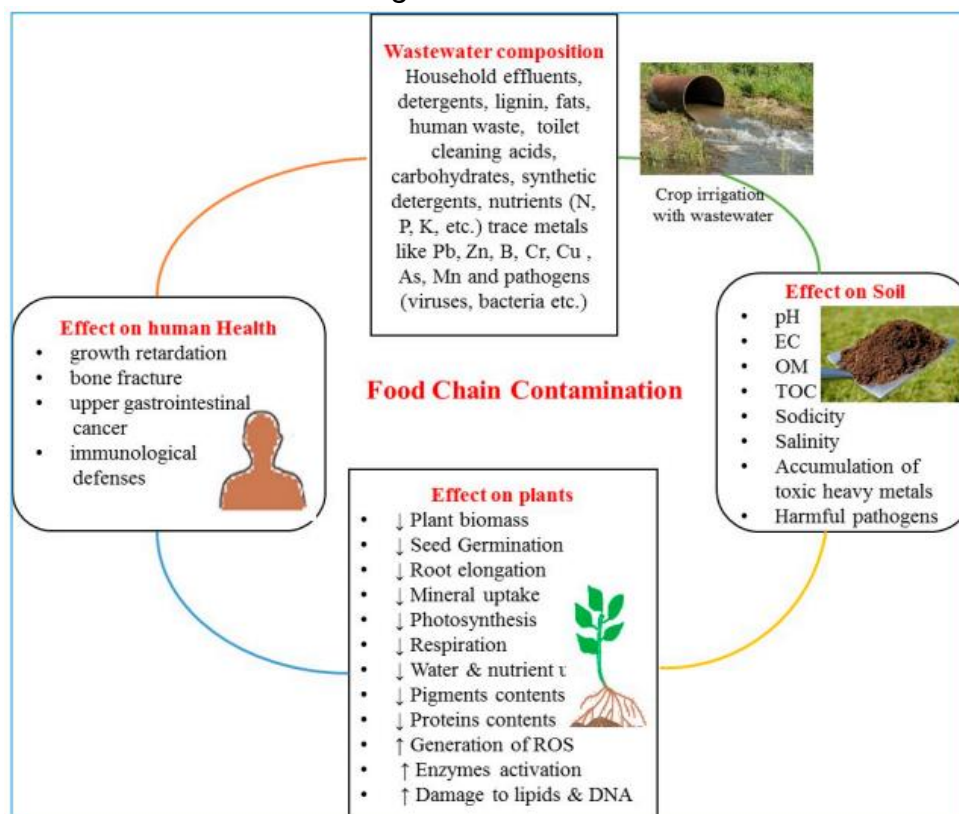
Fuente: Extraído de Khalid S. et al., (2018)

Además, el uso de aguas residuales contaminadas afecta las propiedades fisicoquímicas del suelo, como el pH, la materia orgánica y la capacidad de intercambio de cationes (CEC), teniendo un efecto tanto positivo como negativo en la transferencia de metales pesados (HM) en el suelo (Beneduce L. et al., 2017, p.2). Por ejemplo, los HM presentes en el suelo se vuelven menos móviles y menos fito-disponibles cuando el pH del suelo es alcalino debido a la formación de complejos metálicos con la MO (Natasha et al., 2020, p.5).

También, los altos contenidos de MO del suelo atrapaban los HM y los hacían menos fito-disponibles (Ahamad Arif et al., 2020, p.2). Como resultado, el aumento de la MO por la aplicación de aguas residuales puede ser un aspecto beneficioso para disminuir la fito-disponibilidad de los HMs presentes en los vegetales cultivados en suelos regados con aguas residuales contaminadas (Ahmad Kafeel et al., 2019, p.2).

El problema recae en que la materia en suspensión aumentará la turbidez, disminuyendo la infiltración de la luz y cambiando las poblaciones microbianas en las aguas receptoras; como ocurre siempre en los sistemas medioambientales, los efectos no se limitan a un solo cambio (Sun Huijuan et al., 2022, p.4). Como se observa en la figura 3.

Figura n° 3. Contaminación de la cadena alimentaria por el riego de cultivos con aguas residuales



Fuente: Extraído de Bakari Zaineb et al., (2022)

Como se observa en la figura 3, el uso de aguas residuales en el sector agrícola puede tener efectos negativos en la calidad/productividad del suelo, la producción de cultivos y la salud humana.

La reducción de la luz también puede disminuir sustancialmente la capacidad de crecimiento de las plantas acuáticas y altera los procesos normales, como la renovación estacional y el ciclo de los nutrientes en las aguas superficiales (Dhiman J. et al., 2021, p.2). Los contaminantes tóxicos, tanto orgánicos como inorgánicos, son arrastrados por las partículas en suspensión y disueltos en el agua, aumentando la carga orgánica y transportando compuestos químicos peligrosos (Wang Fenfang et al., 2022, p.4).

Ante ello, una de las principales preocupaciones del agua es si es portadora de microbios patógenos y es que cuando las aguas residuales contienen estos organismos, pueden llegar a los suministros de agua potable, a las instalaciones recreativas y a otros lugares donde las personas pueden estar expuestas (Thebo Anne L. et al., 2017, p.3). También pueden entrar en la cadena alimentaria, donde pueden residir en varios niveles tróficos y permanecer en los depósitos, por ejemplo, en los peces, que se consumen (Mehmood Y. et al., 2022, p.2).

Para brindar una solución a dichos problemas; uno de los objetivos del tratamiento de aguas residuales es la eliminación de partículas de las aguas residuales (Cornelis Geert et al., 2021, p.4).

El tratamiento de las aguas residuales implica física, química y biología, es decir, bioquímica (Lucke Terry et al., 2019, p.2). El tipo de tratamiento de aguas residuales que se necesita depende del tipo de residuo y de la calidad del agua que se desea obtener tras el tratamiento (Singh A. y Malaviya P., 2019, p.3).

Por ejemplo, las primeras etapas del tratamiento de las aguas residuales son físicas, es decir, la eliminación de los sólidos, por ejemplo, mediante la sedimentación (Ma Ying et al., 2019, p.2). Las siguientes etapas también incluyen la física, pero también la química y la biología, para entender la transformación de las aguas residuales en agua de mayor calidad (Preisner M. y Smol M., 2022, p.2).

La mayoría de las aguas residuales municipales se tratan mediante el cribado de materiales, la sedimentación y un tratamiento secundario (Demirel S. et al., 2022, p.1).

El tratamiento secundario suele ser biológico, es decir, de biotecnología ambiental, como los lodos activados o el filtro percolador (Schagerl Michael et al., 2022, p.4). A menudo, estos pasos van seguidos de otro, es decir, el tratamiento terciario, que



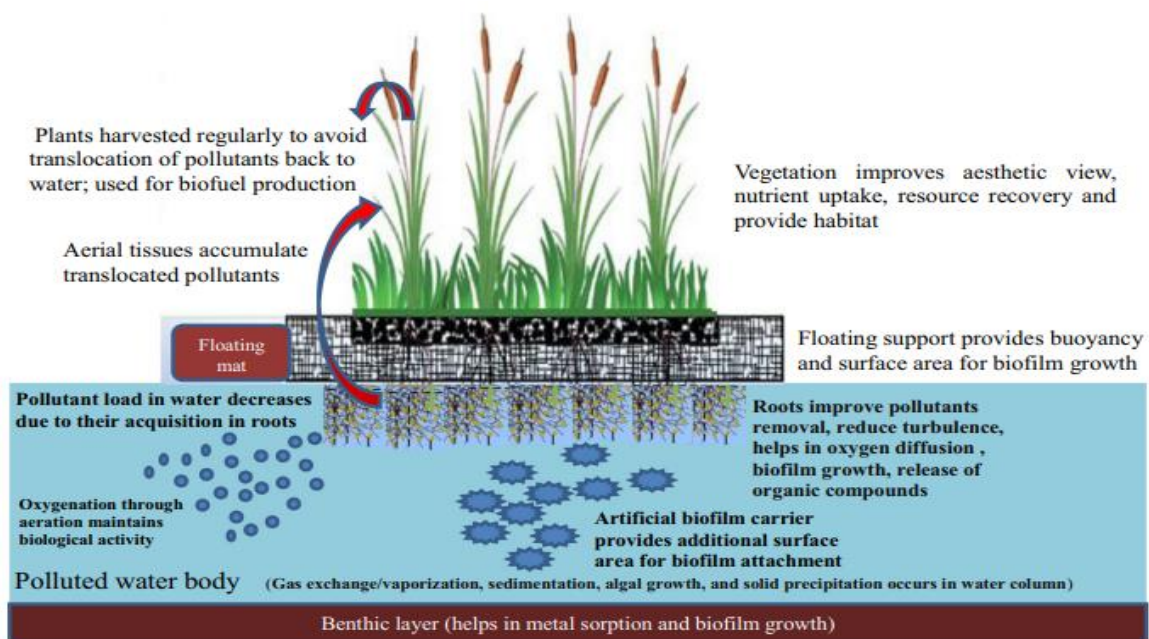
puede incluir la desinfección, la eliminación de nutrientes o la eliminación adicional de sólidos más allá de la etapa de sedimentación sedimentación (Singh V. y Mishra V., 2022, p.3).

Pero, los humedales de tratamiento flotantes (FTW) están ganando cada vez más popularidad debido a un conjunto de características valiosas, como la remediación de aguas residuales en diversas condiciones, la preservación de la calidad del ecosistema, la conservación del paisaje y los beneficios estéticos (Pavlineri N. et al., 2017, p.2).

Los FTW son las formas más desarrolladas y modélicas de los humedales construidos (CW); los FTW también se conocen con otros nombres como lechos de sistemas flotantes de plantación, lechos flotantes artificiales o con vegetación, humedales flotantes construidos (CFW) (Sharma R. et al., 2021, p.3).

Los FTW se basan en la capacidad de autolimpieza de las plantas para aumentar los proyectos acuáticos y eliminar rápidamente los contaminantes de las masas de agua (Scholz M., 2016, p.389). Los FTW imitan el funcionamiento de los CW, ya que también utilizan las interacciones entre el agua, los microorganismos, las partes de las plantas, las algas y los contaminantes para eliminar dichos contaminantes del agua (Jan Vymazal, 2019, p.14). Mostrándose en la figura 4.

Figura n°4. Funcionamiento del sistema de humedales de tratamiento flotante



Fuente: Extraído de Chance Lauren M. et al., (2022)

De acuerdo con la figura 4 ciertas reacciones físico-químicas que ocurren en la fase acuosa y las plantas contribuyen a la eliminación de contaminantes.

Un papel fundamental en el tratamiento de las aguas residuales lo desempeñan las raíces, los rizomas, las hojas y los brotes de las hidrófitas que crecen como una alfombra flotante en las FTW porque acumulan nutrientes (como N, P) y metales pesados, y establecen las condiciones para la degradación biológica de los residuos orgánicos (Oliveira Gislayne A. et al., 2021, p.3).

La interacción entre la red subterránea de raíces y rizomas, incluidos los conjuntos microbianos asociados, con las aguas residuales es la principal herramienta utilizada por las FTW para eliminar los contaminantes de las aguas residuales (Colares Gustavo S. et al., 2021, p.4).

Las FTW funcionan mediante el desarrollo de biopelículas que proporcionan una gran superficie biológicamente activa, liberan enzimas extracelulares y proporcionan un entorno adecuado para los procesos bioquímicos y físicos (Park Jasos B. et al., 2019, p.2). Todos estos procesos tienen como resultado la degradación de contaminantes orgánicos, el atrapamiento de sólidos, la filtración de materia en suspensión y la captación de nutrientes y metales (Stanley Madeline et al., 2022, p.3).

Además, las FTW son fáciles y baratas de construir, por lo que se utilizan para tratar efluentes secundarios, aguas pluviales y de escorrentía agrícola, escorrentía de las pistas de aterrizaje de los aeropuertos (Samal K. et al., 2019, p.3). Vertidos de aguas residuales, aguas de relaves mineros, ríos contaminados y aguas residuales industriales mediante una combinación de procesos físico-químicos-biológicos (Rehman K. et al., 2018, p.2).



### **III. METODOLOGÍA**

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

El presente trabajo cualitativo lleva por investigación un estudio de tipo aplicada, en el cual el objetivo de este tipo de investigación es generar conocimientos para su aplicación práctica dirigida a resolver problemas específicos (Tabosa Hamilton R. et al., 2016, p.3). Ante ello, la investigación de tipo aplicada se utilizó ya que, al ser este trabajo una revisión, se buscó mediante la recolección de artículos adquirir conocimientos sobre los humedales flotantes de tratamiento y como estos pueden servir de tratamiento en las aguas residuales.

Además, la investigación aplicada busca enriquecer, por lo que se busca el enriquecimiento del desarrollo científico en la ingeniería ambiental y ampliar conocimientos de los lectores así con artículos actualizados de los últimos 5 años.

Por otro lado, el diseño elegido fue el narrativo de tópico; siendo este aquel que trata de la aplicación de un método de una investigación, pero también de una manera de intervenir en la aclaración de puntos que no se encontraban claros (Blanco Mercedes., (2011, p.5). Como sería este el caso de ayudar a determinar cuáles son los puntos más relevantes de la aplicación de humedales flotantes de tratamiento como método de remediación en diversos tipos de aguas residuales. Para lo cual el investigador hace uso de materiales narrativos, como artículos científicos en los cuales se pueda saber los aspectos de vida de uno o un grupo de personas.

Pero, al ser narrativo de tópico; este se centrará en un fenómeno; siendo a investigar la remediación de diversos tipos de aguas residuales utilizando humedales flotantes de tratamiento.

#### **3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización**

De acuerdo a la tabla 1 se elaboraron 3 sub categorías las cuales presentarán un mismo concepto que serán agrupadas por categorías de buscan obtener un mismo fin; siendo este el caso el de determinar cuáles son los puntos más relevantes de la aplicación de humedales flotantes de tratamiento como método de remediación en diversos tipos de aguas residuales; para ello cada categoría será establecida por los problemas específicos planteados.

Tabla n°1. Matriz de categorización

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2
Clasificar cuáles son los tipos de aguas residuales más usadas en el tratamiento de remediación con humedales flotantes de tratamiento	¿Cuáles son los tipos de aguas residuales más usadas en el tratamiento de remediación con humedales flotantes de tratamiento?	Tipos de aguas residuales más usadas  (Sun Huijuan et al., 2022, p.4)	Aguas pluviales	De acuerdo al tipo de escala utilizada para la aplicación de humedales	De acuerdo a la clasificación de agua
			Aguas domésticas		
			Aguas industriales  (Wang Fenfang et al., 2022, p.4)		
Definir cuál es el porcentaje de remoción de las aguas residuales mediante humedales flotantes	¿Cuál es el porcentaje de remoción de las aguas residuales mediante humedales flotantes?	Porcentaje de remoción  (Mehmood Y. et al., 2022, p.2)	Alto (80-100)	De acuerdo al porcentaje de remoción de contaminantes	De acuerdo al tipo de vegetación utilizada en el humedal
			Medio (50-80%)		
			Bajo (0-50%)  (Stanley Madeline et al., 2022, p.3)		
Identificar cuáles son los tipos de vegetación de los humedales flotantes como métodos de remoción de los diversos tipos de aguas residuales	¿Cuáles son los tipos de vegetación de los humedales flotantes como métodos de remoción de los diversos tipos de aguas residuales?	Tipos de vegetación de los humedales flotantes  (Oliveira Gislayne A. et al., 2021, p.3)	Plantas flotantes	De acuerdo a la especie de planta utilizada	De acuerdo al porcentaje de estudios
			Plantas sumergidas		
			Plantas emergentes  (Sharma R. et al., 2021, p.3)		

### **3.3. Escenario de estudio**

El escenario de estudio al ser el lugar al que los investigadores tienen acceso para el desarrollo del trabajo experimental, considera a los laboratorios y centro de investigación, utilizados por los diversos autores detallados en los artículos que fueron seleccionados; ello debido a que el presente trabajo es un estudio cualitativo de diseño narrativo.

### **3.4. Participantes**

Los participantes en este caso fueron portales web, ya que, estos permitieron que se pueda realizar la búsqueda, estudio y extracción de documentos virtuales. Utilizando páginas web como Sciencedirect, Scopus y PubMed, cada uno de estos nos permitió el acceso a más de 3500 revistas académicas, siendo utilizadas únicamente artículos científicos, de los diversos países del mundo en diferentes idiomas.

Así mismo, los documentos presentes en dichos sitios web son confiables ya que son documentos indizados y presentan DOI.

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

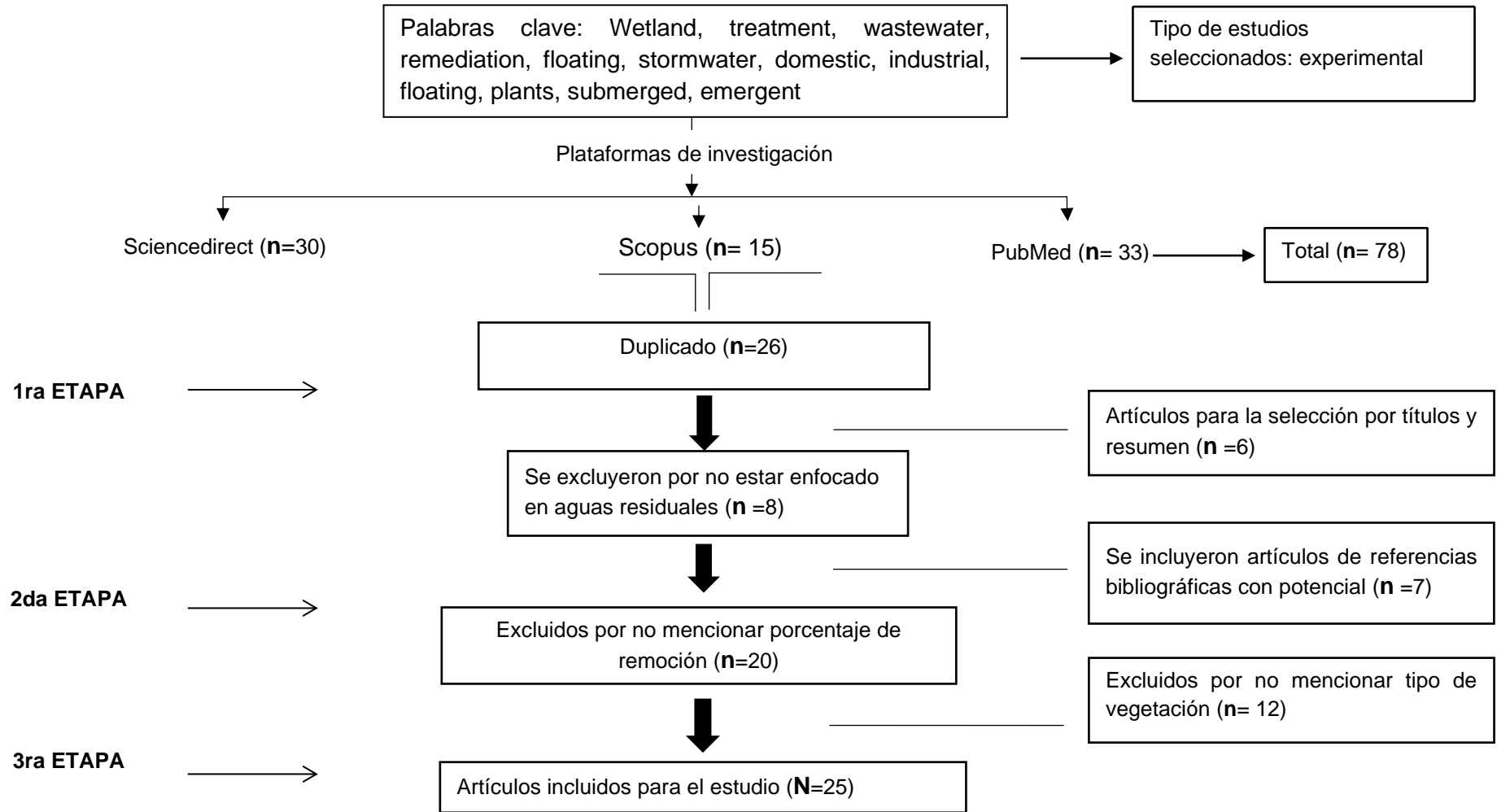
La técnica utilizada es el análisis documental o análisis de documentos; siendo este descrito por Tabosa Hamilton R. et al., (2016, p.7), como la técnica de datos más usada dentro del tipo de investigación cualitativa, donde se recoge datos de un estudio para analizarlos manualmente.

Además, esta técnica para ser eficiente hace uso de un tipo de instrumento de recolección de datos; siendo el utilizado la ficha de análisis de contenido (Ver anexo 1). Dicha ficha permite que mediante la extracción de puntos relevantes del documento original se pueda plasmar la información que hay y que va a permitir a los lectores su fácil recuperación y tener una idea clara del contenido que hay en este.

### **3.6. Procedimiento**

El procedimiento seguido para recolectar los artículos del presente estudio consistió en añadir y eliminar estudios que fueron tomados de manera general de las plataformas Sciencedirect, Scopus y PubMed; en idiomas en inglés y portugués con los últimos 5 años de antigüedad. Siendo detallados en el gráfico 1.

Gráfico n°1. Procedimiento de estudio



### **3.7. Rigor científico**

Siendo este un estudio cualitativo; el rigor científico se rige en establecer confianza en los resultados de un estudio de investigación; en lo cual, este rigor permite al investigador establecer consistencia en los métodos utilizados a lo largo del tiempo.

Además, para garantizar el rigor de un estudio se deben de cumplir con ciertos criterios que permitan obtener la confiabilidad del estudio; cumpliendo así con 4 criterios; dependencia, la transferibilidad, la credibilidad y la confiabilidad siendo citados a continuación por Cornejo et.al., (2011, pág.15):

**Dependencia:** Es la solidez que presentan los datos. Este criterio se obtiene brindando la mayor información posible para que el estudio presente peso y mayor estabilidad y con lo mismo confianza para el lector.

**Transferibilidad:** es la posibilidad de que los datos de un estudio se puedan extender a otro siendo esto designado por el investigador. Este criterio se puede obtener brindando objetividad a los datos presentados sin brindar puntos de vista personales para que la información sea lo más real.

**Credibilidad:** Es la manera como el investigador transmite los pensamientos y hallazgos del autor, presentándolos de manera clara y sin alteración alguna. Esto se obtiene plasmando los datos que son considerados reales.

**La confirmabilidad.** Es el criterio de permite que un trabajo se pueda utilizar o aplicar en otro. Este criterio se cumple tomando notas sobre los sesgos y manteniendo un sentido de conciencia y apertura al estudio y los resultados.

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

El método de análisis es un proceso que busca ampliar o describir la matriz apriorística; por lo cual uno de los métodos utilizados es el método de triangulación; siendo este usado ya que permite emplear uno o dos recolecciones de datos. Entre estos la matriz de categorización apriorística.

Siendo detallados a continuación la clasificación de los grupos de categorías y sub categorías:

**Categorías:** Tipos de aguas residuales más usadas, Porcentaje de remoción, Tipos de vegetación de los humedales flotantes.

**Subcategorías:**

Aguas pluviales, Aguas domésticas, Aguas industriales

Bastante (80-100), Regular (50-80%), Poco (0-50%)

Plantas flotantes, Plantas sumergidas, Plantas emergentes

**3.9. Aspectos éticos**

Los aspectos éticos cumplidos fueron; respeto a la persona; en la cual se citó debidamente mediante la Norma ISO 690-2 a cada autor de quien fue utilizado parte de su estudio; así mismo, se respetó la búsqueda del bien, en el cual se busca conseguir ganar los máximos beneficios para la sociedad al estudiar la remediación de las aguas residuales y con ello contribuir a la problemática de la escases del agua y reutilización de la misma; por último, se siguió con lo establecido por la Guía de productos observables de la universidad Cesar Vallejo.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con artículos analizados y pasados por un proceso de selección se elaboraron las tablas 2, 3 y 4 que permiten determinar cuáles son los puntos más relevantes de la aplicación de humedales flotantes de tratamiento como método de remediación en diversos tipos de aguas residuales.

A manera de presentación de resultados en la tabla 2 se muestra la clasificación de los tipos de aguas residuales más usadas en el tratamiento de remediación con humedales flotantes de tratamiento.

*Tabla n°2. Tipos de aguas residuales*

Agua residual	Tipo de agua	Tipo de escala utilizada	Fuente
Escorrentía de vivero	Aguas residuales agrícolas	Mesocosmos	Spangler Jonathan T. et al., 2019, p.1
Efluentes de la industria acuícola	Aguas residuales industriales	Piloto	Lopardo Cristina R. et al., 2019, p.1
Aguas residuales lácteas	Aguas residuales industriales	Laboratorio	Queiroz Rita de Cássia S. et al., 2020, p.1
Aguas grises sintéticas	Aguas residuales domésticas	Macrocosmos	Abed Suhail N. et al., 2017, p.2
Agua contaminada	Aguas residuales industriales	Microcosmo	Saleem Hamma et al., 2019, p.1
Aguas por el drenaje ácido de la mina	Aguas residuales industriales	Escala de campo	Gupta Varun et al., 2020, p.1
Aguas contaminadas con petróleo (inoculados con 10 bacterias degradadoras de hidrocarburos)	Aguas residuales industrial	Gran escala	Afzal Muhammad et al., 2019, p.1

Agua contaminada con gasóleo diésel	Aguas residuales industriales	Escala piloto Microcosmo	Fahid Muhammad et al., 2020, p.2
Aguas contaminadas con diésel	Aguas residuales industriales	No indica	Fahid M. et al., 2020, p.1
Agua de río contaminada	Aguas residuales pluvial	Mesocosmos	Shahid Munazzam J. et al., 2020, p.2
Aguas residuales	Aguas residuales industriales	A escala de laboratorio	Zhang Xiaoyi et al., 2019, p.1
Aguas residuales de batik	Aguas residuales industriales	A escala de laboratorio	Effendi H. et al., 2018, p.1
Aguas residuales de la industria textil	Aguas residuales industriales	A escala piloto	Tara Nain et al., 2019, p.2
Aguas residuales de tintes textiles sintéticos	Aguas residuales industriales	Macrocosmo	Nawas Neeha et al., 2020, p.1
Agua urbanos	Aguas pluviales	Escala de campo	Olguín Eugenia J. et al., 2017, p.1
Agua de los estanques urbanos de aguas pluviales	Aguas pluviales	Escala de campo	McAndrew Brendan y Ahn Changwoo, 2017, p.1
Vías fluviales	Aguas pluviales	Mesocosmos aireados o no aireados	Chance Lauren M. et al., 2018, p.2
Cuerpos de agua afectados por aguas de escorrentía	Aguas pluviales	Microcosmos	Di Luca Gisela Alfonsina et al., 2019, p.1
Aguas pluviales	Aguas pluviales	Gran escala	Schwammberger Peter F. et al., 2019, p.1
Escorrentía de vivero simulada	Aguas pluviales	Mesocosmos	Spangler Jonathan T. et al., 2019, p.1
Estanque suburbano de aguas pluviales	Aguas pluviales	Escala de campo	Tharp Rebecca et al., 2019, p.1
Estanque de retención de aguas pluviales urbano	Aguas pluviales	Gran escala	Schwammberger P. et al., 2020, p.1
Estanque húmedo de aguas pluviales	Aguas pluviales	Mesocosmos Escala de campo	Maxwell Bryan et al., 2020, p.2

Los tipos de aguas residuales más usadas en el tratamiento de remediación con humedales flotantes son las aguas residuales industriales y pluviales; siendo entre las aguas industriales las que presentan mayor contaminación las industrias



acuícolas, lácteas, grises sintéticos, drenaje ácido de la mina, con gasóleo diésel, industria textil por Lopardo Cristina R. et al., (2019, p.1), Queiroz Rita de Cássia S. et al., (2020, p.1), Abed Suhail N. et al., (2017, p.2), Gupta Varun et al., (2020, p.1), Fahid Muhammad et al., (2020, p.2), Tara Nain et al., (2019, p.2), respectivamente.

Mientras que en las aguas pluviales se encuentran el agua de río, aguas urbanas, estanques urbanos de aguas pluviales, cuerpos de agua afectados por aguas de escorrentía, escorrentía de vivero simulada, estanque suburbano de aguas pluviales por Shahid Munazzam J. et al., (2020, p.2), Olgúin Eugenia J. et al., (2017, p.1), Mcandrew Brendan y Ahn Changwoo, (2017, p.1), Di Luca Gisela Alfonsina et al., (2019, p.1), Spangler Jonathan T. et al., (2019, p.1), Tharp Rebecca et al., (2019, p.1) respectivamente.

Es así como, Saleem Hamma et al., (2019, p.2), trata el fenol del agua residual industrial; mencionando que este compuesto es uno de los contaminantes más presentes en las aguas residuales, ya que, su generación puede deberse tanto de manera sintética como natural y su aparición es debido a que muchos de los desechos en las plantas industriales liberadas contienen dicho contaminante; pudiendo mencionarse a las plantas industriales acuícolas, agrícolas, petroquímicos, farmacéuticos, fundición, resinas, entre otros.

Pero, Spangler Jonathan T. et al., (2019, p.1), menciona que las apariciones de las aguas residuales agrícolas son muy frecuentes debido a las fuertes lluvias que generan que las escorrentías transporten concentraciones altas de contaminantes presentes por el uso de fertilizantes como el Nitrogeno (N), Nitrogeno total (NT) y fosforo total (TP); para lo cual el uso de remediación con humedales flotantes a escala de mesocosmos es el tratamiento ideal. Así también, en el estudio de Zhang Xiaoyi et al., (2019, p.1), se buscó eliminar el N presente en las aguas residuales industriales.

Afzal Muhammad et al., (2019, p.1), señala que la contaminación del agua por hidrocarburos debido a la exploración y extracción del petróleo al ser uno de los contaminantes más severos debe ser tratado con una tecnología eficiente y respetuosa con el medio ambiente como la aplicación de los humedales flotantes de tratamiento.

Siendo ello respaldado por los autores; Fahid M. et al., 2020, p.1, Fahid Muhammad et al., 2020, p.2, Afzal Muhammad et al., 2019, p.1 y Gupta Varun et al., 2020, p.1, quienes mencionan que el tipo de agua residual más usado es el industrial para el tratamiento de remediación con humedales flotantes con aguas contaminadas con diésel, agua contaminada con gasóleo diésel, aguas contaminadas con petróleo, drenaje ácido de la mina.

Mientras que dicha afirmación también es corroborada por Lopardo Cristina R. et al., (2019, p.1), quién estudia la remediación del agua residual industrial por efluentes de la industria acuícola, el autor Gupta Varun et al., (2020, p.1), que estudia el agua residual industrial por el drenaje ácido de la mina y en el estudio de Afzal Muhammad et al., (2019, p.1), el agua industrial por el agua contaminadas con petróleo.

Por otro lado, el porcentaje de remoción de las aguas residuales mediante humedales flotantes se definió mediante la tabla 3.

Tabla n°3. Porcentaje de remoción de las aguas residuales

Tipo de planta	Porcentaje de remoción	Fuente
- <i>Pontederia cordata</i> - <i>Juncus effusus</i>	-TP: 90% –92% -TN: 84% –89%	Spangler Jonathan T. et al., 2019, p.1
- <i>Spartina patens</i>	-TN: 87–91 % -TP: 17-40%	Lopardo Cristina R. et al., 2019, p.1
- <i>Eichhornia Crassipes</i>	BOD: 86.4% TS: 64.3%	Queiroz Rita de Cássia S. et al., 2020, p.1
- <i>Eichhornia paniculata</i>	BOD: 84.8% TS:65.18%	
- <i>Polygonum ferrugineum</i>	BOD: 65%	
- <i>Borreria scabiosoide</i>	BOD: 74.2%	
<i>P. australis</i>	-DBO: 49/33,4% -COD: 25,5/27,2% -NH <sub>3</sub> : 0/25% -P: 17,4%	Abed Suhail N. et al., 2017, p.2
<i>P. australis</i> (inoculada con bacterias)	-Fenol: 96.14% -COD: 88.45% -BOD: 81.56% -TOC: 85.23	Saleem Hamma et al., 2019, p.1

<i>T. latifolia</i> , <i>Carex lacustris</i> y <i>Juncus canadensis</i>	-30% de incremento en bacterias reductoras de sulfato (SRB) riqueza -aumento de ~100 % en la abundancia de SRB entre años	Gupta Varun et al., 2020, p.1
- <i>Leptochloa fusca</i> - <i>P. australis</i> - <i>T. domingensis</i> - <i>Brachiaria mutica</i>	-COD: 97.43% -DBO5: 98.9% -SDT: 82,4 % -Contenido de hidrocarburos: 99,1 % -Metales pesados: 80%	Afzal Muhammad et al., 2019, p.1
<i>Cyperus laevigatus</i> L. (inoculado con bacterias)	Reducción en diésel oil -Bacteria consorcio: 37,46% - <i>Cyperus laevigatus</i> L: 56,57% -Aplicación conjunta de plantas y bacterias: 73,48% en hidrocarburos.	Fahid Muhammad et al., 2020, p.2
<i>P. australis</i> (inoculada con bacterias)	Hidrocarburos: 95,8% -DQO: 98,6% -DBO5: 97,7% -Carbono orgánico total: 95,2 % -Fenol: 98,9 %	Fahid M. et al., 2020, p.1
- <i>Brachia mutica</i> - <i>Leptochloa fusca</i> - <i>P. australis</i> y - <i>T. dominigensis</i> (inoculados con bacterias)	Eliminación máxima con <i>P. australis</i> ; redujo Fe, Mn, Ni, Pb y Cr a 0.53, 0.2, 0,09, 1,04 y 0,07 mg/L en 35 días.	Shahid Munazzam J. et al., 2020, p.2
<i>Iris pseudacorus</i>	-Humedales construidos de flujo superficial (SFCW) TN: 66.0% -Humedales de tratamiento flotante (FTW) TN: 43.8%	Zhang Xiaoyi et al., 2019, p.1
<i>Chrysopogon zizanioides</i> L	-BOD 97.8% -COD 88.6% -NH3: 78.14%	Effendi H. et al., 2018, p.1
<i>Phragmites australis</i> (inoculada con 3 bacterias) ( <i>Acinetobacter junii</i> cepa NT-15, <i>Rhodococcus</i> sp. cepa NT-39 y <i>Pseudomonas indoloxydans</i> cepa NT -38)	-BOD: 91 -COD: 92 -PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> : ~60 -TN: 87 -Color: 86 %	Tara Nain et al., 2019, p.2
<i>P. australis</i> (inoculada con bacterias)	-Tinte: azul marino -DRD Cu-75 -Ni-73,3	Nawas Neeha et al., 2020, p.1

	-Zn-86,9 -Fe-75 - Mn- 70 -Pb- 76.7 Tinte: Rubina DB -Cu- 77.5 -Ni- 73.3 -Zn- 83.3 -Fe- 77.5 -Mn 66.7 -Pb- 73.3 Tinte: Negro DRKP Bezma -Cu- 77.5 -Ni- 73.3 -Zn- 89.7 -Fe- 81 - Mn- 70 -Pb- 65.5	
- <i>Pontederia sagittata</i> y - <i>Cyperus papiro</i>	Aumento de -DO: 15 a 67% % de eliminación - Coliformes fecales: 86% -Nitrato: 9–76% Absorción de TKN: 18,3– 28,1 g/kg de peso seco Absorción de TP: 0,05– 0,196 g/kg de peso seco	Olguín Eugenia J. et al., 2017, p.1
- <i>J. effusus</i> , <i>P. cordata</i> - <i>Carex stricta</i> - <i>Iris versicolor</i> - <i>Alisma subcordatum</i>	20 % de eliminación de N en un 25–30 % de la cubierta vegetal (a través de la absorción de la planta)	McAndrew Brendan y Ahn Changwoo, 2017, p.1
- <i>Juncus effusus</i> - <i>Canna flaccida</i>	Remoción % -TN: 22.6 y 67% ( <i>J. effusus</i> ) -TP: 32 y 49% ( <i>C. flaccida</i> )	Chance Lauren M. et al., 2018, p.2
<i>Typha domingensis</i>	Eliminación de -TP: 95% -Amonio: 94,5%	Di Luca Gisela Alfonsina et al., 2019, p.1
<i>Carex apressa</i>	Eliminación- -TN: 15% -NH3: 50% -TP-N: 17% Absorción de la planta (16 meses): -TN: 15-20,2 -Al total: 5,62 a 7,82	Schwammberger Peter F. et al., 2019, p.1
<i>C. stricta</i> , <i>Canna generalis</i> , <i>Iris ensata</i> , <i>Panicum virgatum</i>	Remoción: TN: 63,4% TP: 26,1%	Spangler Jonathan T. et al., 2019, p.1

- <i>Juncus effusus</i> L. (junco común) - <i>Schoenoplectus tabernaemontani</i> (CC Gmel.) - <i>Palla</i> (junco de tallo blando) - <i>Carex comosa</i> Boott (juncia de pelo largo) - <i>Pontederia cordata</i> L. (hierba lucio)	Eliminación TP: 25%	Tharp Rebecca et al., 2019, p.1
<i>Carex appressa</i>	Nutrientes secuestrados (en g/m <sup>2</sup> ) en un año -N: 11,2 -P: 1,37 -K: 16,13	Schwammberger P. et al., 2020, p.1
- <i>J. effusus</i> - <i>Spartina pectinata</i> - <i>P. cordata</i>	Eliminación con 20–23% de cobertura vegetal -SST: 10–43% -TN: 4,1% -TP: 3,3%	Maxwell Bryan et al., 2020, p.2

Mediante la aplicación de humedades flotantes el porcentaje de remoción de contaminantes de las aguas residuales como el TP, TN, TP, BOD, COD, metales pesados, hidrocarburos presentan un porcentaje de remoción alta, presentando porcentajes mayores al 80%.

Además, también se identificó que la mayor remoción se generaba con la adición de bacterias inoculadas, siendo así como lo confirma Shahid Munazzam J. et al., (2020, p.2), en su artículo, donde buscó eliminar los metales pesados Fe, Mn, Ni, Pb y Cr con la aplicación de *Brachia mutica*, *Leptochala fusca*, *P. australis* y *T. dominigenesis* inoculado con bacterias; mencionando que los metales pesados son contaminantes considerados potencialmente peligrosos que dañan la salud del ser humano y el ecosistema acuático; por lo que al aplicar los humedales flotantes la eliminación fue máxima en 35 días con el *P. australis*, con una remoción de 0.53, 0.2, 0,09, 1,04 y 0,07 mg/L.

Así también, apoyando lo anteriormente dicho el autor Fahid M. et al., (2020, p.1), menciona que al aplicar *P. australis* inoculada con bacterias presentó una eficiencia de remoción hidrocarburos en un 95.8% y para el DQO: 98,6%, DBO5: 97,7%, Carbono orgánico total: 95,2 % y Fenol: 98,9 %. A su vez, Fahid Muhammad et al., (2020, p.2), presentó la remoción de diésel oil con *Cyperus laevigatus* L. inoculado con bacterias, donde se demuestra que al aplicar la unión de plantas más bacterias

el porcentaje fue de 73.48%, mientras que solo con la aplicación de *Cyperus laevigatus L.* la remoción fue de 56.57% y solo el consorcio bacteriano presentó un porcentaje de 37.46%.

Al igual que los estudios anteriores Gupta Varun et al., (2020, p.1), manifiesta que la adición de bacterias reductoras de sulfato (SRB) incrementó al 100% la eficiencia de la aplicación de *T. latifolia*, *Carex lacustris* y *Juncus canadensis*.

Además, de acuerdo con Spangler Jonathan T. et al., (2019, p.1), la eliminación de N (suma de N-amonio, N-nitrato y N-nitrito) de los tratamientos FTW osciló entre 0,255 y 0,738 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (38,9 a 82,4% de eliminación) y 0,147 a 0,656 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (12,9 a 59,6% de eliminación) para los ensayos 1 y 2, respectivamente. La eliminación de P (fosfato-P) varió de 0,052 a 0,128 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (26,1 a 64,7 % de eliminación) para el ensayo 1, y de 0,074 a 0,194 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (26,8 a 63,2% de eliminación) para el ensayo 2. *Panicum virgatum* eliminó más N y P que cualquier otro tratamiento FTW y el control en ambos ensayos. Los resultados muestran que la selección de especies y el momento de la cosecha de FTW afectan la tasa y la masa de remediación de nutrientes.

Pero al adicionar inoculación de consorcios bacterianos a las plantas incrementa el porcentaje de eficiencia de eliminación como lo señala Afzal Muhammad et al., (2019, p.1), donde menciona que la aplicación de humedales de tratamiento flotante al tajo redujo la demanda química de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno, los sólidos disueltos totales, el contenido de hidrocarburos y los metales pesados en un 97,4 %, 98,9 %, 82,4 %, 99,1 % y 80 %, respectivamente, en 18 meses. Todas las plantas sobrevivieron y mostraron crecimiento, pero *P. australis* exhibió el máximo desarrollo y producción de biomasa; además, las bacterias utilizadas para la inoculación pudieron persistir y mostrar actividad de degradación en el agua, así como en el rizoplano, las raíces y los brotes de las plantas.

Así mismo, apoyando lo anteriormente mencionado, Fahid Muhammad et al., (2020, p.2); menciona en su estudio experimental que observó que el consorcio de bacterias degradadoras de hidrocarburos mejoró la remediación del gasóleo en combinación con *Cyperus laevigatus L.* Además, el rendimiento de los humedales flotantes de tratamiento (FTW) se vio mejorado por la colonización de cepas bacterianas en la raíz y el brote de *Cyperus laevigatus L.* Independientemente, la bacteria consorcio y

*Cyperus laevigatus* L. exhibió una reducción de 37,46% y 56,57% en diesel oil, respectivamente, mientras que la aplicación conjunta de plantas y bacterias en FTWs mostró una reducción de 73,48% en hidrocarburos.

Mientras que por su parte el autor Fahid M. et al., (2020, p.1), concluyó en su estudio que el aumento de bacterias que degradan los hidrocarburos en los FTW es una mejor opción para el tratamiento del agua contaminada con diésel; debido a que la máxima reducción de hidrocarburos (95,8%), demanda química de oxígeno (98,6%), demanda bioquímica de oxígeno (97,7%), carbono orgánico total (95,2 %), fenol (98,9 %) y se examinó la toxicidad cuando se emplearon plantas y bacterias en combinación. Asimismo, se observó un aumento en el crecimiento de las plantas en presencia de bacterias. Las bacterias inoculadas mostraron persistencia en el agua, raíz y brote de *P. australis*.

Así también, mediante el estudio de Zhang Xiaoyi et al., (2019, p.1), se logró eliminar el nitrógeno total en un 66% y 43.8% con la aplicación de humedales construidos de flujo superficial (SFCW) y humedales de tratamiento flotante (FTW) plantados con *Iris pseudacorusse* respectivamente, concluyendo que la diferencia de desnitrificación con SFCW que con FTW generó una mayor capacidad de eliminación de nitrógeno; por lo que en dicho estudio sugirieron que la plantación de la vegetación de los humedales presenta una eficiencia considerable de eliminación de N al afectar en la adsorción de plantas y el desarrollo de comunidades microbianas.

Por último, los tipos de vegetación de los humedales flotantes como métodos de remoción de los diversos tipos de aguas residuales se identificaron mediante la comparación de la tabla 4.

*Tabla n°4. Tipos de vegetación de los humedales flotantes*

Tipo de planta	Tipo de plantas	Fuente
- <i>Pontederia cordata</i> - <i>Juncus effusus</i>	Pontederia cordata	Spangler Jonathan T. et al., 2019, p.1
- <i>Spartina patens</i>	Macrófitos	Lopardo Cristina R. et al., 2019, p.1
- <i>Eichhornia</i> <i>Crassipes</i>	Macrofitas	Queiroz Rita de Cássia S. et al., 2020, p.1

- <i>Eichhornia paniculata</i>		
- <i>Polygonum ferrugineum</i>		
- <i>Borreria scabiosoide</i>		
<i>Phragmites. australis</i>	Macrofitas	Abed Suhail N. et al., 2017, p.2
<i>Phragmites australis</i> (inoculada con bacterias)	Macrofitas	Saleem Hamma et al., 2019, p.1
<i>T. latifolia, Carex lacustris y Juncus canadensis</i>	-	Gupta Varun et al., 2020, p.1
- <i>Leptochloa fusca</i> - <i>Phragmites australis</i> - <i>T. domingensis</i> - <i>Brachiaria mutica</i>	Macrofitas	Afzal Muhammad et al., 2019, p.1
<i>Cyperus laevigatus L.</i> (inoculado con bacterias)	Macrofitas	Fahid Muhammad et al., 2020, p.2
<i>Phragmites australis</i> (inoculada con bacterias)	Macrofitas	Fahid M. et al., 2020, p.1
- <i>Brachia mutica</i> - <i>Leptochloa fusca</i> - <i>Phragmites australis y</i> - <i>T. dominigenesis</i> (inoculados con bacterias)	Macrófitos	Shahid Munazzam J. et al., 2020, p.2
<i>Iris pseudacorus</i>	-	Zhang Xiaoyi et al., 2019, p.1
<i>Chrysopogon zizanioides L</i>	Vetiveria zizanioides	Effendi H. et al., 2018, p.1
<i>Phragmites australis</i> (inoculada con 3 bacterias) ( <i>Acinetobacter junii cepa NT-15, Rhodococcus sp. cepa NT-39 y Pseudomonas indoloxydans cepa NT -38</i> )	Macrofitas	Tara Nain et al., 2019, p.2
<i>Phragmites australis</i> (inoculada con bacterias)	Macrofitas	Nawas Neeha et al., 2020, p.1
- <i>Pontederia sagittata y Cyperus papiro</i>		Olguín Eugenia J. et al., 2017, p.1
- <i>J. effusus</i> - <i>P. cordata</i> - <i>Carex stricta</i> - <i>Iris versicolor</i> - <i>Alisma subcordatum</i>	Macrofitas	Mcandrew Brendan y Ahn Changwoo, 2017, p.1



- <i>Juncus effusus</i> - <i>Canna flaccida</i>	Macrófitas	Chance Lauren M. et al., 2018, p.2
<i>Typha domingensis</i>	-	Di Luca Gisela Alfonsina et al., 2019, p.1
<i>Carex appressa</i>	Plantas de juncia alta	Schwammberger Peter F. et al., 2019, p.1
<i>C. stricta</i> , <i>Canna generalis</i> , <i>Iris ensata</i> , <i>Panicum virgatum</i>	-	Spangler Jonathan T. et al., 2019, p.1
- <i>Juncus effusus</i> L. (junco común) - <i>Schoenoplectus tabernaemontani</i> (CC Gmel.) - <i>Palla</i> (junco de tallo blando) - <i>Carex comosa</i> Boott (juncia de pelo largo) - <i>Pontederia cordata</i> L. (hierba lucio)	Macrófitas	Tharp Rebecca et al., 2019, p.1
<i>Carex appressa</i>	-	Schwammberger P. et al., 2020, p.1
- <i>J. effusus</i> - <i>Spartina pectinata</i> - <i>P. cordata</i>	Macrófitas	Maxwell Bryan et al., 2020, p.2

Los tipos de vegetación de los humedales flotantes más utilizados como métodos de remoción de los diversos tipos de aguas residuales son de tipo macrofitas, siendo esta la clase de vegetación que es más utilizada para la remediación de aguas residuales, en especial para eliminar el nitrato de las aguas contaminadas. Siendo las macrofitas más empleadas *Phragmites australis*, *Spartina patens* y *Eichhornia Crassipes*.

Como se demuestra en los estudios de Abed Suhail N. et al., (2017, p.2), Saleem Hamma et al., (2019, p.1), Afzal Muhammad et al., (2019, p.1), Fahid M. et al., (2020, p.1), Tara Nain et al., (2019, p.2), Nawas Neeha et al., (2020, p.1), Lopardo Cristina R. et al., (2019, p.1), Queiroz Rita de Cássia S. et al., (2020, p.1).

Así Queiroz Rita de Cássia S. et al., (2020, p.1), mencionó que aplicando macrofitas para el tratamiento de aguas residuales lecheras (DWW) usando sistemas experimentales del tipo de humedales artificiales flotantes se analizaron durante 15 días, obteniendo al quinto día una disminución de la DBO del 74,8% ( $\pm 7,7$ ). *Eichhornia crassipes* (86,4%) y *Eichhornia paniculata* (84,8%) mostraron los mejores resultados, mientras que *Polygonum ferrugineum* y *Borreria scabiosoides* logró la remoción de 65% y 74.2% de DBO, respectivamente. Considerando la reducción de TS en el ACS

diluido con agua de lluvia, los mejores resultados los obtuvieron *Eichhornia crassipes* (64,3%) y *Eichhornia paniculata* (65,18%).

Así también, el autor Lopardo Cristina R. et al., (2019, p.1), comparó la retención de nutrientes y las comunidades microbianas de dos tipos de mesocosmos de humedales construidos, un humedal de tratamiento de flujo vertical (VFTW) y un humedal de tratamiento flotante (FTW), donde el patrón de eliminación de nutrientes entre dos mesocosmos de humedales de tratamiento fue significativamente diferente ( $p < 0,01$ ), con más del 87–91 % de retención de nitrógeno total en VFTW y sin retención en FTW, pero el fósforo total se retuvo en ambos tipos de mesocosmos , con una mayor retención (74-81%) en el VFTW que en el FTW (17-40%).

Mientras que, por su parte Chance Lauren M. et al., (2018, p.2), utilizó la combinación de 2 plantas, es decir una combinación mixta de plantas, para tratar las aguas pluviales, dando a conocer que la remoción porcentual de TN fue de 22.6 y 67% con *J. effusus* y para TP fue del 32 y 49% con *C. flaccida*. Así mismo, apoyando lo mencionado Mcandrew Brendan y Ahn Changwoo, (2017, p.1) aplicó *J. effusus*, *P. cordata*, *Carex stricta*, *Iris versicolor*, *Alisma subcordatum* obteniendo el 20 % de eliminación de N en un 25–30 % de la cubierta vegetal a través de la absorción de la planta en agua de los estanques urbanos de aguas pluviales

## V. CONCLUSIONES

Mediante los resultados presentados se llegó a la conclusión que el tipo de vegetación que se utilice en los humedales flotantes es uno de los aspectos más importantes del tratamiento como método de remediación en diversos tipos de aguas residuales, además de la adición que se le pueda incorporar, como el uso de bacterias, que incrementan la reducción del contaminante.

Así también se muestra las siguientes conclusiones:

Los tipos de aguas residuales más usadas en el tratamiento de remediación con humedales flotantes son las aguas residuales industriales y pluviales; siendo entre las aguas industriales las que presentan mayor contaminación las industrias acuícolas, lácteas, grises sintéticos, drenaje ácido de la mina, con gasóleo diésel, industria textil. Mientras que en las aguas pluviales se encuentran el agua de río, aguas urbanas, estanques urbanos de aguas pluviales, cuerpos de agua afectados por aguas de escorrentía, escorrentía de vivero simulada, estanque suburbano de aguas pluviales.

El porcentaje de remoción de las aguas residuales mediante humedales flotantes es alto presentando como promedio un porcentaje de 80% a más en contaminantes como TP, TN, TP, BOD, COD, metales pesados, hidrocarburos. Además, también se identificó que la mayor remoción se generaba con la adición de bacterias inoculadas.

Los tipos de vegetación de los humedales flotantes como métodos de remoción de los diversos tipos de aguas residuales son de tipo macrofitas, siendo este la clase de vegetación que es más utilizadas para la remediación de aguas residuales, en especial para eliminar el nitrato de las aguas contaminadas. Siendo las macrofitas más empleadas *Phragmites australis*, *Spartina patens* y *Eichhornia Crassipes*.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se requiere estudios para investigar cual es el funcionamiento de los humedales a nivel de campo con condiciones variables.

- Así mismo, se recomienda plantas y bacterias inoculadas para un mayor incremento de remoción de aguas residuales.
- Se recomienda realizar estudios mayores sobre métodos alternativos para añadir enmiendas de carbono en los humedales flotantes.
- Por último, se sugiere estudiar la bioenergía generada mediante la eliminación de contaminantes con humedales flotantes.

## REFERENCIAS

1. ABED, Suhail N.; ALMUKTAR, Suhad A.; SCHOLZ, Miklas. Remediation of synthetic greywater in mesocosm—Scale floating treatment wetlands. *Ecological Engineering*, 2017, vol. 102, p. 303-319. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.01.043>
2. AFZAL, Muhammad, et al. Large-scale remediation of oil-contaminated water using floating treatment wetlands. *NPJ Clean Water*, 2019, vol. 2, no 1, p. 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41545-018-0025-7>
3. AHAMAD, Arif, et al. Trace elements contamination in groundwater and associated human health risk in the industrial region of southern Sonbhadra, Uttar Pradesh, India. *Environmental Geochemistry and Health*, 2020, vol. 42, no 10, p. 3373-3391. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00582-7>
4. AHMAD, Kafeel, et al. Evaluation of potential toxic metals accumulation in wheat irrigated with wastewater. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 2019, vol. 102, no 6, p. 822-828. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02605-1>
5. ANGELAKIS, Andreas N., et al. Water reuse: from ancient to modern times and the future. *Frontiers in Environmental Science*, 2018, p. 26. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00026>
6. BAKARI, Zaineb, et al. Assessment of the impact of irrigation with treated wastewater at different dilutions on growth, quality parameters and contamination transfer in strawberry fruits and soil: Health risk assessment. *Scientia Horticulturae*, 2022, vol. 297, p. 110942. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.110942>
7. BENEDUCE, Luciano, et al. Impact of the reusing of food manufacturing wastewater for irrigation in a closed system on the microbiological quality of the food crops. *International journal of food microbiology*, 2017, vol. 260, p. 51-58. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.08.009>

8. BLANCO, Mercedes. Investigación narrativa: una forma de generación de conocimientos. Argumentos (México, DF), 2011, vol. 24, no 67, p. 135-156. Disponible en: [ISSN 0187-5795](https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9)
9. BORETTI, Alberto; ROSA, Lorenzo. Reassessing the projections of the world water development report. NPJ Clean Water, 2019, vol. 2, no 1, p. 1-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>
10. CHANCE, Lauren M. Garcia; HALL, Charles R.; WHITE, Sarah A. Viability assessment for the use of floating treatment wetlands as alternative production and remediation systems for nursery and greenhouse operations. Journal of Environmental Management, 2022, vol. 305, p. 114398. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114398>
11. CHANCE, Lauren M. Garcia; WHITE, Sarah A. Aeration and plant coverage influence floating treatment wetland remediation efficacy. Ecological Engineering, 2018, vol. 122, p. 62-68. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.07.011>
12. CHEN, Heng, et al. Pilot-scale study of desulfurization wastewater evaporation: Emission and migration characteristics of mercury. Fuel, 2022, vol. 324, p. 124443. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124443>
13. COLARES, Gustavo Stolzenberg, et al. Floating treatment wetlands integrated with microbial fuel cell for the treatment of urban wastewaters and bioenergy generation. Science of The Total Environment, 2021, vol. 766, p. 142474. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142474>
14. CORNELIS, Geert, et al. Challenges and current approaches toward environmental monitoring of nanomaterials. Monitoring Environmental Contaminants, 2021, p. 73-108. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64335-3.00003-7>
15. DEMIREL, Duygun Fatih; GÖNÜL-SEZER, Eylül Damla; PEHLIVAN, Seyda Alperen. Analyzing the wastewater treatment facility location/network design problem via system dynamics: Antalya, Turkey case. Journal of Environmental

- Management, 2022, vol. 320, p. 115814. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115814>
16. DHIMAN, Jaskaran, et al. Effect of hydrogel based soil amendments on yield and growth of wastewater irrigated potato and spinach grown in a sandy soil. *Environmental Technology & Innovation*, 2021, vol. 23, p. 101730. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101730>
17. DI LUCA, Gisela Alfonsina, et al. Nitrogen and phosphorus removal and *Typha domingensis* tolerance in a floating treatment wetland. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 650, p. 233-240. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.042>
18. EFFENDI, H., et al. Reducing ammonia and chromium concentration in batik wastewater by vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L.) grown in floating wetland. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2018, vol. 16, no 3, p. 2947-2956. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1603\\_29472956](http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1603_29472956)
19. FAHID, Muhammad, et al. *Cyperus laevigatus* L. enhances diesel oil remediation in synergism with bacterial inoculation in floating treatment wetlands. *Sustainability*, 2020, vol. 12, no 6, p. 2353. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su12062353>
20. FAHID, Muhammad, et al. *Phragmites australis* in combination with hydrocarbons degrading bacteria is a suitable option for remediation of diesel-contaminated water in floating wetlands. *Chemosphere*, 2020, vol. 240, p. 124890. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124890>
21. GORFIE, Belihu Nigatu, et al. Effect of brewery wastewater irrigation on soil characteristics and lettuce (*Lactuca sativa*) crop in Ethiopia. *Agricultural Water Management*, 2022, vol. 269, p. 107633. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107633>
22. GOYAL, Megh R. (ed.). *Wastewater management for irrigation: principles and practices*. CRC Press, 2016. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=PuKYCgAAQBAJ&lpg=PP1&ots=UT3Uv2P6E5&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>

23. GUPTA, Varun, et al. Shallow floating treatment wetland capable of sulfate reduction in acid mine drainage impacted waters in a northern climate. *Journal of environmental management*, 2020, vol. 263, p. 110351. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110351>
24. HOOGESTEGER, Jaime. Regulating agricultural groundwater use in arid and semi-arid regions of the Global South: Challenges and socio-environmental impacts. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2022, p. 100341. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2022.100341>
25. JanVymazal. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Encyclopedia of Ecology (Second Edition). Volume 1*, 2019, Pages 14-21. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11238-2>
26. JIANG, Jing, et al. Janus Co@ C/NCNT photothermal membrane with multiple optical absorption for highly efficient solar water evaporation and wastewater purification. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2022, vol. 647, p. 128960. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.128960>
27. KHALID, Sana, et al. A review of environmental contamination and health risk assessment of wastewater use for crop irrigation with a focus on low and high-income countries. *International journal of environmental research and public health*, 2018, vol. 15, no 5, p. 895. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijerph15050895>
28. KHALID, Sana, et al. Influence of groundwater and wastewater irrigation on lead accumulation in soil and vegetables: Implications for health risk assessment and phytoremediation. *International journal of phytoremediation*, 2017, vol. 19, no 11, p. 1037-1046. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1319330>
29. KOUTSOU, Olga P., et al. Estimation of N<sub>2</sub>O emissions from wastewater characteristics in constructed wetlands. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, vol. 9, no 6, p. 106632. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106632>



30. LANE, Kaycie, et al. Co-development of a risk assessment tool for use in First Nations water supply systems: A key step to water safety plan implementation. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2022, vol. 240, p. 113916. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113916>
31. LOPARDO, Cristina R., et al. Comparison of nutrient retention efficiency between vertical-flow and floating treatment wetland mesocosms with and without biodegradable plastic. *Ecological engineering*, 2019, vol. 131, p. 120-130. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.01.024>
32. LUCKE, Terry; WALKER, Christopher; BEECHAM, S. Experimental designs of field-based constructed floating wetland studies: A review. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 660, p. 199-208. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.018>
33. MA, Ying, et al. Potential of plant beneficial bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of metal-contaminated saline soils. *Journal of hazardous materials*, 2019, vol. 379, p. 120813. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120813>
34. MARANO, Roberto BM, et al. Antibiotic resistance and class 1 integron gene dynamics along effluent, reclaimed wastewater irrigated soil, crop continua: elucidating potential risks and ecological constraints. *Water research*, 2019, vol. 164, p. 114906. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114906>
35. MAXWELL, Bryan; WINTER, Danielle; BIRGAND, François. Floating treatment wetland retrofit in a stormwater wet pond provides limited water quality improvements. *Ecological Engineering*, 2020, vol. 149, p. 105784. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105784>
36. MCANDREW, Brendan; AHN, Changwoo. Developing an ecosystem model of a floating wetland for water quality improvement on a stormwater pond. *Journal of Environmental Management*, 2017, vol. 202, p. 198-207. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.035>

37. MEHMOOD, Yasir; ARSHAD, Muhammad; KÄCHELE, Harald. Effects of wastewater reuse on perceived health risks of farmers in Pakistan: Application of the Zero-Inflated Poisson regression model. *Journal of Cleaner Production*, 2022, p. 133430. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133430>
38. MESSER, Tiffany L., et al. Nitrate-N removal rate variabilities in floating treatment wetland mesocosms with diverse planting and carbon amendment designs. *Ecological Engineering*, 2022, vol. 174, p. 106444. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106444>
39. MOK, Wai Kit; TAN, Yong Xing; CHEN, Wei Ning. Technology innovations for food security in Singapore: A case study of future food systems for an increasingly natural resource-scarce world. *Trends in food science & technology*, 2020, vol. 102, p. 155-168. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.013>
40. MUKHAMETOV, Almas, et al. Treated livestock wastewater influence on soil quality and possibilities of crop irrigation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2022, vol. 29, no 4, p. 2766-2771. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12.057>
41. NAWAZ, Neeha, et al. Bacterial augmented floating treatment wetlands for efficient treatment of synthetic textile dye wastewater. *Sustainability*, 2020, vol. 12, no 9, p. 3731. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su12093731>
42. OLGUÍN, Eugenia J., et al. Long-term assessment at field scale of floating treatment wetlands for improvement of water quality and provision of ecosystem services in a eutrophic urban pond. *Science of the Total Environment*, 2017, vol. 584, p. 561-571. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.072>
43. OLIVEIRA, Gislayne A., et al. Floating treatment wetlands in domestic wastewater treatment as a decentralized sanitation alternative. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 773, p. 145609. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145609>

44. PARK, Jason BK; SUKIAS, James PS; TANNER, Chris C. Floating treatment wetlands supplemented with aeration and biofilm attachment surfaces for efficient domestic wastewater treatment. *Ecological Engineering*, 2019, vol. 139, p. 105582. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105582>
45. PARK, Ji Won, et al. A shift from chemical oxygen demand to total organic carbon for stringent industrial wastewater regulations: Utilization of organic matter characteristics. *Journal of Environmental Management*, 2022, vol. 305, p. 114412. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114412>
46. PAVLINERI, Natalia; SKOULIKIDIS, Nikolaos Th; TSIHRINTZIS, Vassilios A. Constructed floating wetlands: a review of research, design, operation and management aspects, and data meta-analysis. *Chemical Engineering Journal*, 2017, vol. 308, p. 1120-1132. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.09.140>
47. PEETERS, Robin, et al. Fresh water production from atmospheric air: Technology and innovation outlook. *Iscience*, 2021, vol. 24, no 11, p. 103266. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.103266>
48. PREISNER, Michał; SMOL, Marzena. Investigating phosphorus loads removed by chemical and biological methods in municipal wastewater treatment plants in Poland. 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116058>
49. QUEIROZ, Rita de Cássia Souza de, et al. Assessment of autochthonous aquatic macrophytes with phytoremediation potential for dairy wastewater treatment in floating constructed wetlands. *International Journal of Phytoremediation*, 2020, vol. 22, no 5, p. 518-528. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1686603>
50. QURESHI, Asad Sarwar; ISMAIL, Shoaib. Evaluating health risks of using treated wastewater for vegetables under desert conditions. *Journal of Arid Land Studies*, 2016, vol. 26, no 3, p. 111-119. Disponible en: [https://doi.org/10.14976/jals.26.3\\_111](https://doi.org/10.14976/jals.26.3_111)

51. RABAEY, Korneel, et al. The third route: Using extreme decentralization to create resilient urban water systems. *Water Research*, 2020, vol. 185, p. 116276. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116276>
52. RASHEED, Rezan O. Impact of Polyethylene Terephthalate in Different Temperatures and Storage Duration on Some Physicochemical Properties of Drinking Bottled Water. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 2022, p. 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10406638.2022.2083191>
53. REHMAN, Khadeeja, et al. Inoculation with bacteria in floating treatment wetlands positively modulates the phytoremediation of oil field wastewater. *Journal of hazardous materials*, 2018, vol. 349, p. 242-251. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.02.013>
54. SALEEM, Hamna, et al. *Phragmites australis*—a helophytic grass—can establish successful partnership with phenol-degrading bacteria in a floating treatment wetland. *Saudi journal of biological sciences*, 2019, vol. 26, no 6, p. 1179-1186. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.01.014>
55. SAMAL, Kundan; KAR, Soham; TRIVEDI, Shivanshi. Ecological floating bed (EFB) for decontamination of polluted water bodies: Design, mechanism and performance. *Journal of environmental management*, 2019, vol. 251, p. 109550. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109550>
56. SCHAGERL, Michael, et al. The efficiency of microalgae-based remediation as a green process for industrial wastewater treatment. *Algal Research*, 2022, vol. 66, p. 102775. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102775>
57. SCHOLZ, M. Seasonal assessment of vertical-flow wetlands treating domestic wastewater. *Wetlands for Water Pollution Control*, 2016, vol. 2, p. 389-400. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63607-2.00034-4>
58. SCHWAMMBERGER, Peter F., et al. Nutrient uptake by constructed floating wetland plants during the construction phase of an urban residential development. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 677, p. 390-403. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.341>

59. SCHWAMMBERGER, Peter F.; YULE, Catherine M.; TINDALE, Neil W. Rapid plant responses following relocation of a constructed floating wetland from a construction site into an urban stormwater retention pond. *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 699, p. 134372. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134372>
60. SHAHID, Muhammad, et al. A critical analysis of wastewater use in agriculture and associated health risks in Pakistan. *Environmental Geochemistry and Health*, 2020, p. 1-20. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00702-3>
61. SHAHID, Munazzam Jawad, et al. Comparing the performance of four macrophytes in bacterial assisted floating treatment wetlands for the removal of trace metals (Fe, Mn, Ni, Pb, and Cr) from polluted river water. *Chemosphere*, 2020, vol. 243, p. 125353. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125353>
62. SHARMA, Rozi; VYMAZAL, Jan; MALAVIYA, Piyush. Application of floating treatment wetlands for stormwater runoff: A critical review of the recent developments with emphasis on heavy metals and nutrient removal. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 777, p. 146044. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146044>
63. SINGH, Asha; MALAVIYA, Piyush. Chromium phytoaccumulation and its impact on growth and photosynthetic pigments of *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid. on exposure to tannery effluent. *Environmental Sustainability*, 2019, vol. 2, no 2, p. 157-166. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00062-4>
64. SINGH, Vishal; MISHRA, Vishal. Analysing the effects of culture parameters on wastewater treatment capability of microalgae through association rule mining. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2022, p. 108444. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108444>
65. SOLIMAN, Ahmed M., et al. In-situ, facile and green preparation of nanoscale silver supported on activated carbon: Disinfection properties and removal of inorganic DBPs from drinking water. *Environmental Nanotechnology*,

- Monitoring & Management, 2022, vol. 17, p. 100621. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100621>
66. SPANGLER, Jonathan T., et al. Floating treatment wetland aided nutrient removal from agricultural runoff using two wetland species. *Ecological Engineering*, 2019, vol. 127, p. 468-479. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.12.017>
67. SPANGLER, Jonathan T., et al. Assessing nitrogen and phosphorus removal potential of five plant species in floating treatment wetlands receiving simulated nursery runoff. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, vol. 26, no 6, p. 5751-5768. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3964-0>
68. STANLEY, Madeline, et al. Floating treatment wetlands for the bioremediation of oil spills: A review. *Journal of Environmental Management*, 2022, vol. 317, p. 115416. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115416>
69. SUN, Huijuan; YU, Najiaowa; LIU, Yang. Importance of low-abundance microbial species in response to disturbances in wastewater bioreactors. *Process Safety and Environmental Protection*, 2022, vol. 162, p. 663-671. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.04.047>
70. TABOSA, Hamilton Rodrigues; PINTO, Virgínia Bentes; LOUREIRO, José Mauro Matheus. Análise de regularidades metodológicas em pesquisas brasileiras sobre comportamentos de uso e usuários da informação. *Investigación Bibliotecológica: archivonomía, bibliotecología e información*, 2016, vol. 30, no 70, p. 249-267. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibbai.2016.10.011>
71. TANG, Ming, et al. Risk assessment of sectional water quality based on deterioration rate of water quality indicators: A case study of the main canal of the Middle Route of South-to-North Water Diversion Project. *Ecological Indicators*, 2022, vol. 135, p. 108592. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108592>
72. TARA, Nain, et al. On-site performance of floating treatment wetland macrocosms augmented with dye-degrading bacteria for the remediation of


- textile industry wastewater. *Journal of cleaner production*, 2019, vol. 217, p. 541-548. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.258>
73. THARP, Rebecca; WESTHELLE, Kelly; HURLEY, Stephanie. Macrophyte performance in floating treatment wetlands on a suburban stormwater pond: Implications for cold climate conditions. *Ecological Engineering*, 2019, vol. 136, p. 152-159. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.06.011>
74. THEBO, Anne Louise, et al. A global, spatially-explicit assessment of irrigated croplands influenced by urban wastewater flows. *Environmental Research Letters*, 2017, vol. 12, no 7, p. 074008. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa75d1>
75. URBAN, Jeffrey J. Emerging scientific and engineering opportunities within the water-energy nexus. *Joule*, 2017, vol. 1, no 4, p. 665-688. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2017.10.002>
76. WANG, Fenfang, et al. Saltmarsh sediments with wastewater input emit more carbon greenhouse gases but less N<sub>2</sub>O than mangrove sediments. *CATENA*, 2022, vol. 213, p. 106205. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106205>
77. WANG, Han-jie; JINGJING, W. A. N. G.; XIAOHUA, Y. U. Wastewater irrigation and crop yield: A meta-analysis. *Journal of Integrative Agriculture*, 2022, vol. 21, no 4, p. 1215-1224. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(21\)63853-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(21)63853-4)
78. WEINZETTEL, Jan; PFISTER, Stephan. International trade of global scarce water use in agriculture: Modeling on watershed level with monthly resolution. *Ecological economics*, 2019, vol. 159, p. 301-311. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.01.032>
79. YAMASAKI, Taís N., et al. Flow distribution and mass removal in floating treatment wetlands arranged in series and spanning the channel width. *Journal of Hydro-environment Research*, 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jher.2022.07.001>

80. YANG, Fang, et al. Characteristics and the potential impact factors of microplastics in wastewater originated from different human activity. *Process Safety and Environmental Protection*, 2022, vol. 166, p. 78-85. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.07.048>
81. YANG, Xueting, et al. Characteristics of Pyrolytic Wastewater Incineration and Effects on NO<sub>x</sub> Emissions of Shenmu Coal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2022, p. 108041. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108041>
82. ZHANG, Xiaoyi, et al. Comparative study on nitrogen removal and functional genes response between surface flow constructed wetland and floating treatment wetland planted with *Iris pseudacorus*. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, vol. 26, no 23, p. 23696-23706. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05580-6>
83. ZHANG, Yucui; SHEN, Yanjun. Wastewater irrigation: past, present, and future. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2019, vol. 6, no 3, p. e1234. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/wat2.1234>
84. ZHAO, Enmin; KUO, Yi-Ming; CHEN, Nengwang. Assessment of water quality under various environmental features using a site-specific weighting water quality index. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 783, p. 146868. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146868>



# ANEXOS

## ANEXO 1: Ficha de Análisis de Contenido

 Universidad César Vallejo	<b>FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO</b>	
TÍTULO DE INVESTIGACIÓN		
DATOS DEL AUTOR:	PAGINAS UTILIZADAS	
	AÑO DE PUBLICACION	
	LUGAR DE PUBLICACION	
DATOS DEL DOCUMENTO:	TIPO DE INVESTIGACION	
	CÓDIGO	
PALABRAS CLAVES :		
METODOLOGÍAS UTILIZADAS:		
TIPOS DE AGUAS RESIDUALES:		
PORCENTAJE DE REMOCIÓN:		
TIPOS DE VEGETACIÓN		
RESULTADOS :		
CONCLUSIONES:		

*Elaboración propia*



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Humedales Flotantes de Tratamiento (FTW) como Método de Remediación en Diversos Tipos de Aguas Residuales: Revisión sistemática", cuyo autor es CANALES ESTACIO RODRIGO ALONSO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 16.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

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

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

LIMA, 15 de Noviembre del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO <b>DNI:</b> 10473562 <b>ORCID:</b> 0000-0001-6017-1192	Firmado electrónicamente por: CUGARTEA el 25-11- 2022 13:15:11

Código documento Trilce: TRI - 0441196