



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Revisión Sistemática: Tipos de Humedales Artificiales para el  
Tratamiento de Aguas Grises**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

**AUTOR:**

Escajadillo Mallma, Franklin Freund (ORCID: 0000-0003-3403-0630)

**ASESOR:**

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (ORCID: 0000-0003-1485-5854)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

## **DEDICATORIA**

La presente investigación esta dedica a mi madre por brindarme siempre su apoyo y mi padre que desde el cielo me ilumina.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres en especial a mi madre y hermanos por el apoyo incondicional durante estos años para poder llegar a cumplir mis metas profesionales a pesar de todos los momentos difíciles que pasamos, de igual manera un agradecimiento a todos mis profesores por sus enseñanzas y conocimientos brindados así mismo a mi asesor Dr. Fernando Antonio Sernaque Auccahuasi por el apoyo, consejos y enseñanzas durante este tiempo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	v
RESUMEN .....	vi
ABSTRACT .....	vii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA .....	13
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	13
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización. ....	14
3.3. Escenario de estudio .....	16
3.4. Participantes.....	16
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	17
3.6. Procedimiento.....	18
3.7. Rigor científico.....	19
3.8. Método de análisis de datos .....	21
3.9. Aspectos éticos .....	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN: .....	22
4.1. Objetivo específico: Identificar los tipos más usados de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. ....	22
4.2. Objetivo específico: Describir las ventajas de los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. ....	25
4.3. Objetivo específico: Identificar las plantas más utilizadas en los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises.....	33
V. CONCLUSIÓN:.....	37
VI. RECOMENDACIONES:.....	38
REFERENCIAS: .....	40
ANEXOS .....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de categorización .....	15
Tabla 2 Tipos más usados de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. ....	22
Tabla 3 Ventajas y limitaciones de los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.....	25
Tabla 4 Plantas más utilizadas en los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. ....	33

## RESUMEN

El propósito de la investigación fue determinar los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises. La investigación consistió en tres etapas: identificar los tipos más usados de humedales artificiales, describir las ventajas de los tipos de humedales artificiales e identificar las plantas más utilizadas en los humedales artificiales. Los resultados demostraron que existen diferencias entre los tipos más usados de humedales artificiales tenemos el de flujo subsuperficial horizontal y el de flujo subsuperficial vertical ambos con diferentes características al momento de hacer la descontaminación de las aguas grises, así mismo tenemos las ventajas de los tipos de humedales la cual se clasifica según su costo y según su mecanismo de remoción que tiene como funcionar eliminar diversos contaminantes, por otra parte tenemos las plantas más utilizadas para el tratamiento de aguas grises donde cumple una de las funciones más importantes, existen diferentes plantas en las cuales tienen porcentaje de rangos al momento de descontaminar, *Typha dominguensis* 93% a 97%, *Chrysopogon zizanioides* 88% a 90%, *Juncus sp* 70% a 80%, *Phragmites australis* 68% a 89%, *Cyperus papyrus* 50% a 55%. En conclusión, existe eficiencia en el sistema de tratamiento mediante humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal y vertical para reducir diferentes parámetros. Se logró identificar las plantas más utilizadas para el tratamiento de aguas residuales en función al porcentaje de remoción en los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

**Palabras claves:** Humedales Artificiales, flujo subsuperficial horizontal, flujo subsuperficial vertical, agua residual doméstica.

## ABSTRACT

The purpose of the research was to determine the types of constructed wetlands for treating greywater. The research consisted of three stages: identifying the most commonly used types of constructed wetlands, describing the advantages of the types of constructed wetlands, and identifying the most commonly used plants in constructed wetlands. The results showed that there are differences between the most used types of artificial wetlands, we have the horizontal subsurface flow and the vertical subsurface flow, both with different characteristics when doing the decontamination of gray water, we also have the advantages of the types of wetlands which is classified according to its cost and according to its removal mechanism that has the function of eliminating various pollutants, on the other hand we have the most used plants for the treatment of gray water where it fulfills one of the most important functions, there are different plants in the which have percentage ranges at the time of decontamination, *Typha dominguensis* 93% to 97%, *Chrysopogon zizanioides* 88% to 90%, *Juncus sp* 70% to 80%, *Phragmites australis* 68% to 89%, *Cyperus papyrus* 50% to 55%. In conclusion, there is efficiency in the treatment system using horizontal and vertical subsupercifial flow constructed wetlands to reduce different parameters. It was possible to identify the plants most used for wastewater treatment based on the percentage of removal in the artificial wetlands for the treatment of domestic wastewater.

**Keywords:** Artificial Wetlands, horizontal subsurface flow, vertical subsurface flow, domestic wastewater.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe a nivel mundial una gran preocupación por las condiciones de la contaminación del agua. Así se tiene que, en México ARTEAGA-CORTEZ, Viviana M. et al. (2019), revelan sobre un problema grave de la contaminación en los arroyos y cuerpos de agua que son receptores de emisiones domésticas, industriales y agrícolas y se inyectan directamente en arroyos y cuerpos de agua naturales sin tratamiento.

Según CRUZ BUSTAMANTE, Laydy (2018), el problema es que el 70% de las aguas residuales no tratadas proviene de hogares y / o empresas industriales, lo que tiene un gran impacto ambiental negativo en ríos naturales, océanos y cuerpos de agua subterráneos. Se observa que debido a la contaminación que producen una gran cantidad de especies migran mueren o se extinguen.

El humedal artificial es un sistema especialmente diseñado y construido para el tratamiento de aguas residuales que mejora la capacidad de depuración de las plantas y mejora la eficiencia de los humedales naturales optimizando los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el ecosistema. (ARTEAGA, Viviana M. et al. , 2019, p.322)

En Colombia CHENET, Julien Gwendal, et al. (2017) reportan que existen varias dificultades para proporcionar agua potable de calidad en todo el mundo. Y, que constantemente se descargan las aguas residuales sin tratar en el cuerpo humano. El agua puede ser parte del problema porque puede causar problemas graves. Eutrofización de ríos, lagunas, humedales y otras aguas superficiales. En ese sentido el impacto de las comunidades es grande en el entorno ambiental, la economía y la misma sociedad.

En Ecuador, QUIMIS, Alex & INTRIAGO, Andy (2019, p.8) manifiestan que en la comunidad Pan y Agua del Cantón Jipijapa no se está gestionando adecuadamente las aguas grises, ya que se carece de un sistema para tratar las aguas residuales, de ahí que son directamente descargadas a cauces naturales provocando estancamiento y permeabilización contaminando y deteriorando el suelo.

CRUZ BUSTAMANTE, Laydy Esthefany (2018) revela que Perú es el octavo

país del mundo con reservas de agua dulce a pesar de ello, la calidad de sus servicios de saneamiento y abastecimiento de agua sigue teniendo problemas. En la actualidad, los asentamientos informales de la población peruana representan el 70%, carecen de recursos básicos y vierten sus aguas residuales en las mismas aguas que consume la población; por lo que son más vulnerables a posibles enfermedades generándose focos de contagio.

También, TORRES CALLUPE, Gian Marco (2018) manifiesta que uno de los problemas ambientales más evidentes es la contaminación del agua que producen los hogares denominada aguas grises domésticas, debido a que estos hogares tienen un tratamiento de agua inadecuado, lo que genera una alta tasa de contaminación en los receptores naturales de agua. Ha provocado la formación de muchos vectores infecciosos, por lo que es necesario enfrentarlo, porque en los asentamientos humanos y otros lugares este recurso es escaso y no les proveen la calidad y cantidad de agua y así puedan utilizar el recurso de diferentes formas.

Por último, VALLE COTERA, Jennifer Deborah (2017) afirma que Perú posee el 1,89% del agua dulce del mundo, aun así, millones de personas aún no cuentan con servicios de agua potable y tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, la mayoría de las personas que pueden utilizar este recurso lo desperdician y tienen malos hábitos en la producción de agua. El distrito que más agua consume en Lima es San Isidro, con 447,5 litros por persona al día, mientras que el distrito que menos agua consume es Chosica con 15,2 litros.

En consecuencia, se hizo necesario investigar como problema general ¿Cuáles son los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises? Del cual se derivan los siguientes problemas específicos:

¿Cuáles son los tipos más usados de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises?

¿Qué ventajas tiene los tipos humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises?

¿Cuáles son las plantas más utilizadas en los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises?

La justificación de la presente investigación pretende generar una visión más

extensa acerca de los tipos de humedales artificiales para tratar las aguas residuales con base en los diferentes artículos científicos disponibles.

Esta investigación se justifica teóricamente porque los conceptos “humedales artificiales” y “aguas residuales” requieren ser descritas, comprendidas y explicadas en todas sus dimensiones. Lo que significa que, en vez de un problema teórico se encuentra con que estos conceptos son parte de las ciudades y, especialmente, comunidades para lograr mejoras en la calidad de vida de los pobladores. El valor metodológico de esta investigación consiste en que, los instrumentos aplicados en el presente estudio, permitirán ayudar de guía a futuras investigaciones relacionados con el mismo tema. En este aspecto la presente investigación busca conocer el tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales eficaces y de bajo costo, según lo establecido por la legislación ambiental de Perú.

Por lo que, el objetivo general planteado fue: determinar los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises, cuyos objetivos específicos son:

Identificar los tipos más usados de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises.

Describir las ventajas de los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises.

Identificar las plantas más utilizadas en los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises.

## II. MARCO TEÓRICO

En China, ZHANG, Zheyun, et al. (2017) en su investigación afirman que, para obtener nuevos conocimientos sobre los efectos del P sobre la movilidad, la especiación y la biodisponibilidad del As en los humedales, realizaron experimentos de invernadero bien controlados. El aumento de los niveles de P contribuyó a una mayor desorción de As, pero lo más interesante es que las interacciones entre el P y las plantas de los humedales desempeñaron un papel sinérgico en la movilización de As mediada por microbios y la absorción de As mejorada por las plantas. Los altos niveles de P promueven el crecimiento de las plantas y la exudación de carbono orgánico lábil de las raíces, lo que mejora el crecimiento de bacterias heterótrofas, incluidos los reductores de As y Fe.

Esto, a su vez, según indican los investigadores mencionados, dio como resultado tanto más desorción de As en solución debido a la disolución del hierro reductor, como una mayor fracción del As disuelto en forma de As (III) debido al mayor número de reductores de As (V). De acuerdo con los resultados de As disuelto, los espectros de arsénico-XANES de muestras de medio sólido demostraron que se secuestró más As en la rizosfera como As (III) en presencia de niveles altos de P que para niveles bajos de P. Por lo tanto, una mayor carga de P en los humedales estimula los procesos abióticos y bióticos en la rizosfera del humedal, lo que resulta en una mayor movilización de As, más reducción de As y una mayor absorción de As por las plantas.

En Colombia, ZAPATA, Elis & BERMÚDEZ, Yenny (2020), en su investigación concluyen que: Entre los métodos de tratamiento convencionales estudiados se encuentran los métodos de tratamiento que pueden degradar el CN; el peróxido de hidrógeno  $H_2O_2$  es el método de tratamiento más adecuado para eliminar el cianuro libre porque puede remover un alto porcentaje de contaminantes. Asimismo, el uso de ozono como ayuda en el proceso de oxidación y eliminación hidroliza naturalmente el ácido carboxílico para generar gas carbonato y amoníaco. Los hechos han demostrado que esto es más factible técnica, económica y ambientalmente. Y, con respecto a los diferentes tipos de biorremediación, determinaron que *Pseudomonas fluorescens* tiene una alta degradabilidad y es la opción más adecuada para el tratamiento de aguas contaminadas con cianuro. En los diferentes resultados de aplicación de

estos microorganismos, en comparación con el método de biorremediación, se encontró una viabilidad importante, que es la mejor alternativa para biodegradar compuestos contaminantes en aguas residuales industriales.

En México, MATEO, Nicolás; NANI, Graciela; MONTIEL, William; NAKASE, Carlos; SALAZAR, Corelly & SANDOVAL, Luis (2019), en su investigación revelan que, los resultados de la eliminación de contaminantes en aguas residuales porcinas en humedales construidos verticales parcialmente saturados sembrados con híbridos de *Canna hybrids*, aunque raramente se reporta su uso, han demostrado su capacidad para remover SS, PT, N-NO<sub>4</sub> y CF. En ese sentido, los investigadores muestran con ello que, las condiciones de operación parcialmente saturadas (aeróbicas / anóxicas) ayudan a eliminar los contaminantes. En su estudio muestran que, el HC-VPS es un método alternativo para eliminar los contaminantes convencionales en las aguas residuales de los cerdos. En comparación con los sistemas convencionales de humedales artificiales de flujo vertical, el HC-VPS tiene mejores condiciones de eliminación de contaminantes. Debido al bajo costo de implementación, el pequeño espacio de implementación y la fácil operación y operación de HC-VPS, ha demostrado un gran potencial de aplicación en pequeñas granjas de cerdos en diferentes países en desarrollo.

MUÑOZ TELLO, Keyla Madaly & VÁSQUEZ PÉREZ, Milagros (2019), en su investigación, tienen el propósito de analizar las tendencias actuales en el tratamiento de aguas residuales domiciliarias a través de una revisión de la literatura (en inglés y español) durante los últimos 10 años, la revisión sistemática se basa en diferentes buscadores BiBlat, Google académico, etc. Según los resultados, la gama de métodos para el tratamiento de las aguas residuales domésticas es amplia, pero según esta revisión, consideran el proceso de construcción de humedales artificiales y filtros biológicos como tendencias actuales. En general, todo esto demuestra la eficacia de eliminar los diferentes parámetros del análisis. En conclusión, las investigadoras sostienen que, hay muchas formas de tratar las aguas residuales domésticas, pero según su revisión, creen que el proceso de construcción de humedales artificiales y filtros biológicos o biofiltros es la tendencia actual.

SEGURA DELGADO, Paul & ROCHA VERA, Wilbert (2019), en su trabajo de

investigación “Eficiencia de remoción de contaminantes de lixiviados generado en un relleno sanitario, mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal a través de la especie macrófita emergente carrizo (*Phragmites australis*)”, lograron determinar la eficiencia de remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos del lixiviado diluido con agua residual a través de agentes de digestión biológica y humedales artificiales de flujo subterráneo horizontal, con una concentración triple promedio de 1%: 65% de DBO5; 50% de demanda química de oxígeno (DQO); Nitrógeno total 95 %; 95% coliformes resistentes al calor; fósforo total 54%; 94% nitrógeno amoniacal; turbidez es 94%; 47% oxígeno disuelto; conductividad 58%; contenido total de sólidos disueltos es 58%; valor de pH es 7,9, la temperatura es 26,3 ° C. De la misma manera, los investigadores lograron determinar una eficiencia de remoción a una concentración del 3%: 69% de DBO5; demanda química de oxígeno 69%; nitrógeno total 94%; 95% coliformes resistentes al calor; fósforo total 86%; 91% nitrógeno amoniacal; turbidez 93%; 40% oxígeno disuelto; conductividad 56%; total de sólidos disueltos 56%, pH 7,9, temperatura 25,7 ° C. Por tanto, demuestran que el sistema tiene eficiencias del 71 y 75% para las concentraciones 1 y 3%, alcanzando una eficiencia final del 73% en el sistema de tratamiento.

En otra investigación MUÑOZ TELLO, Keyla Madaly & VÁSQUEZ PÉREZ, Milagros (2020), se propusieron analizar comparativamente la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de cinco especies de macrófitas: *Juncus sp. (junco)*, *Phragmites australis (carrizo)*, *Typha dominguensis (totora)*, *Chrysopogon zizanioides (vetiver)*, *Cyperus papyrus (papiro)*, para lo cual, recolectaron los porcentajes de remoción de DBO5, DQO, sólidos suspendidos totales y parámetros de coliformes resistentes al calor (de cada estudio), mostrando el siguiente rango de remoción general: *Juncus sp.* 74,13% a 81,67%, *Phragmites australis (caña)* 67% a 89,5%, *typha (Typha dominguensis)* 93,57% a 96,77%, *Chrysopogon zizanioides (Chrysopogon zizanioides)* 88,09% a 91% y *Cyperus papyrus* 50,8%. Y, concluyen que, la *Typha dominguensis* es la especie con más eficiencia para remover contaminantes de las aguas residuales domésticas.

PAZÁN TOLEDO, Adriana Estefanía y TRELLES CALLE, Jorge Steven (2018), en su trabajo de investigación "Análisis del estado técnico de humedales subterráneos de flujo vertical para aguas residuales y lodos de depuradoras", el propósito es analizar el estado técnico de humedales de flujo subterráneo vertical usados para el tratamiento de aguas residuales y lodos de depuradora, y para estudiar los parámetros que se necesitan para implementar la tecnología en climas fríos o templados. En su conclusión, informa sobre los aspectos en los que se basa el diseño de humedal construido (HSSFV), de manera que se puedan identificar adecuadamente las ecuaciones necesarias y los factores de diseño de intervención, e insiste en que el factor más relevante para el diseño es la temperatura ambiente donde se ubica la obra, que es el factor decisivo para la vegetación, el funcionamiento del humedal, el tiempo de retención hidráulica, etc.

LAIZA OTINIANO, Jorge Luis (2018), en su investigación "Revisión sistemática de estudios realizados sobre reutilización de aguas grises tratadas en viviendas", tiene como objetivo promover la investigación sobre la reutilización del agua en los hogares porque en otros países se están desarrollando investigaciones de esta naturaleza, porque el problema del agua llega a ser un recurso agotable. Es porque en muchas partes del mundo ya han aparecido los primeros síntomas de esta deficiencia. El investigador hizo búsquedas en Ebsco, Redalyc y Scielo y logró diferenciar 29 estudios desde 2001. En conclusión, el investigador sostiene que, este tratamiento logra minimizar la contaminación ambiental, obtener beneficios económicos y sociales, y permite seguir avanzando como población. Pero, cree que, la investigación realizada aún es limitada porque la tecnología está en el inicio de brindar soluciones sustentables y factibles.

TORRES CALLUPE, Gian Marco (2018), el propósito de su investigación es evaluar el uso de humedales artificiales con totora en el tratamiento de aguas residuales domiciliarias. Para obtener este resultado, se construyeron dos humedales verticales subterráneos construidos y tres tipos de sustratos (arena fina, arena gruesa y confitillo). Excepto por las especies de *Typha dominguensis totora* extraídas del pantano de Ventanilla, el tamaño y el sustrato de los dos humedales son iguales. Se colocan en capas de 10 cm de altura. La

diferencia es que presentan una especie de totora (*Dypha dominguensis*) comúnmente llamada totora (tratamiento 1), que se usa como control (tratamiento 2), mientras que el otro humedal contiene solo sustrato. Las dimensiones de la construcción del humedal son 100 cm de largo, 50 cm de ancho y 40 cm de alto, se construyeron dos unidades experimentales una tras otra, cada método de tratamiento tiene las mismas características. Según lo mencionado concluye que los humedales artificiales que contienen plantas de totora (*Typha*) han afectado por completo el tratamiento de las aguas residuales domésticas. En concordancia con las Normas de Calidad Ambiental" y el Reglamento Internacional de la FAO (Organización de las Naciones Unidas), el agua tratada se puede reutilizar como agua de riego de tipo 3 alimentación y agricultura.

MALCA QUIROZ, Danny René (2020), en su trabajo se propuso determinar el efecto de tecnologías de humedales artificiales como tratamiento de aguas residuales. Ana utiliza bases de datos como Scielo, Redalyc, ScienceDirect y Crossref para evaluar sistemáticamente los efectos de las tecnologías de humedales construidos artificialmente, así como el tratamiento de aguas residuales. La búsqueda principal se realizó a través del motor de Google, con las palabras clave "humedal artificial" y "tratamiento de aguas residuales". La inclusión o exclusión de la cláusula se limita a lo siguiente: la naturaleza del humedal construido y su producción e insumos utilizados en aguas residuales. Asimismo, considere la investigación realizada dentro de una década. Como resultados: es claro que los años con mayor número de estudios son: 2013 representó el 33,4%, 2012 representó el 25%. Según el tema de investigación, para cada base de datos consultada, la base de datos en Redalyc es 93,3% y la base de datos en Scielo es 6,7%. Los resultados muestran que el uso de humedales artificiales reduce los riesgos para la salud y el medio ambiente, de igual forma mejora las características sensoriales de las aguas residuales y hace que el pH sea cercano a neutral. En su conclusión encontró una estrecha relación entre los tipos de hortalizas procesadas y la carga orgánica de las aguas residuales.

VALLE COTERA, Jennifer Deborah (2017), en su estudio se propuso determinar la eficiencia del sistema de acoplamiento de humedal construido y

gusano (SAHL) en el tratamiento de aguas grises. El caudal al sistema es de 0.015 metros cúbicos / día; el diseño del humedal es un flujo horizontal de flujo subterráneo, y sus dimensiones son 80 cm de largo, 26 cm de ancho y 30 cm de profundidad. Se utiliza para rellenar grava de 16 mm, 1 kg de arena fina y 6 plantas *El Jacinto de agua* es una planta. La investigadora tomó un total de 3 muestras y los parámetros a evaluar fueron DBO5, DQO, SST y Turbiedad. Como resultado, la eficiencia de eliminación de contaminantes fue 74% de Turbiedad, 91% de sólidos suspendidos totales, 36% de demanda de oxígeno químico y 28% de demanda de oxígeno bioquímico. La conclusión final es que la eficiencia de remoción de SAHL en turbiedad y materia suspendida total es mayor, mientras que los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno son menores.

De acuerdo con VYMAZAL, Jan (2011), los humedales naturales son todas las áreas sumergidas temporal o permanentemente por agua dulce o agua salada, estas áreas tienen vegetación adecuada para la vida en condiciones de suelo en saturación. Los ecosistemas ribereños son sumideros de nutrientes para la escorrentía de las tierras elevadas, por lo que estos humedales son importantes zonas de amortiguación entre tierras de cultivo, riachuelos, etc.

De acuerdo con ARTEAGA-CORTEZ, Viviana, et al., (2019), los humedales construidos se dividen en humedales de flujo libre (sistemas de plantas de flotación libre) y humedales subterráneos (sistemas de plantas enraizadas), que se clasifican también, en sistemas de flujo vertical y sistemas de flujo horizontal. En cuanto a los humedales superficiales o de flujo libre son estanques o vías fluviales donde la superficie del agua se exhibe a la atmósfera y contiene plantas que flotan con raíces. Y, un humedal de flujo subsuperficial es un estanque en el que se instala una base porosa que puede ser arena, grava u otro tipo de suelo de textura rugosa con nueva vegetación. Se hace una distinción entre humedales de flujo horizontal y humedales de flujo vertical.

En comparación con el tratamiento de aguas residuales convencional y tradicional, LUNA-PABELLO, Víctor Manuel & ABURTO-CASTAÑEDA, Sergio (2014) manifiestan que, estos humedales artificiales cuentan con grandes beneficios económicos, técnicos, sociales y estéticos porque pueden obtener

agua tratada de alta calidad de acuerdo con la normativa vigente, y como eliminan microorganismos patógenos, son aptos para riego agrícola. Así mismo afirman que, sus costos de implementación, operación y mantenimiento son más bajos porque consta de 25 años de vida útil y requieren la menor cantidad de energía para operar.

Adicionalmente, LLAGAS & GÓMEZ (2006) mencionan que el agua que fluye por debajo de la superficie del medio no causará problemas de mosquitos, ni emitirá olores y, lo más importante, puede brindar protección térmica al sistema (vegetación, sustrato y agua), lo que puede causar heladas severas. Implementar humedales artificiales en áreas locales.

CALHEIROS, et al. (2007) sostienen que, debido a los cambios en la estructura de las aguas residuales, los requisitos de tratamiento a menudo cambian, por lo que la aplicación de humedales artificiales es un asunto de mucho cuidado. En este tipo de diseños, la elección de la vegetación es un tema importante porque deben ser capaces de soportar los efectos tóxicos que pueden producir las aguas residuales.

ARTEAGA-CORTEZ, Viviana, et al. (2019) citando a RODRÍGUEZ (2003), afirman que, el humedal de flujo libre es probablemente el humedal más antiguo, utilizado para tratamiento secundario y limpieza con pesticidas. Están diseñados para cargas superficiales bajas y tienen una fosa que varía de 5 a 90 cm; sin embargo, se encuentran con frecuencia entre 30 y 40 cm, que consisten en zanjas de 3 m de ancho y 100 m de largo, con una profundidad que varía entre 0.30 y 0,40 m, las plantas utilizadas son *Scirpus lacustris*.

VYMAZAL, Jan (2009) afirma que, el humedal FSSH reemplaza el tratamiento secundario. Aquellos son sistemas medios porosos saturados en los que se planta vegetación de emergencia. También juegan un papel en la prevención de la salinización secundaria del suelo. Las vegetaciones utilizadas para desalinizar los sustratos agrícolas son: *Phragmites communis*, *Typha spp.*, *Medicago sativa Linn.*, *Phragmites japónica*, *Lemna minor L.*, *Potamogeton crispus*, *Phragmites communis* y *Potamogeton crispus*. La remoción de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$   $Cl^-$  y  $SO_4^{2-}$  puede llegar al 80% de eficiencia con *Typha spp.*

Debido a su capacidad de intercambio iónico, la arcilla puede eliminar

temporalmente el nitrógeno presente en las aguas residuales, en función del tiempo en que el sistema se estabilice. Para los humedales de flujo horizontal que usan suelo, tienen el potencial de eliminar aún más el fósforo y el amoníaco. En un sistema de flujo vertical, debido al flujo intermitente, es beneficioso restaurar las condiciones aeróbicas y absorber amonio. El fósforo tiene menor capacidad de remoción cuando se usa grava en los sistemas de humedales. (YANG et al., 2015).

De acuerdo con los investigadores hay dos tipos principales de macrófitos más comunes utilizados para tratar las aguas residuales en los estanques: plantas acuáticas flotantes y sumergidas: Las plantas flotantes sumergidas absorberán dióxido de carbono según sus requerimientos de oxígeno, mientras que la turbiedad suprime a la vegetación sumergida.

REYES-LUZ, María Ivonne et. al. (2011) afirman que, el uso de estos humedales artificiales puede eliminar principalmente contaminantes C, N y P. Por lo tanto, en el sistema de humedales subterráneos de flujo vertical (FSSV), el agua se distribuye uniformemente en el lecho del río. En este sentido, se suelen utilizar como equipos auxiliares y constan de dos momentos: uno con dos celdas de flujo verticales y el otro con una celda de flujo horizontal. El propósito es lograr la depuración de aguas residuales. La principal ventaja de este sistema es la restauración de las condiciones aeróbicas durante la sequía.

De acuerdo con RAMÍREZ-CARRILLO, et al., 2009), que el proceso de purificación sea eficiente está en función de la aireación del sustrato. También, este mecanismo es propenso a atascarse, por lo que se recomienda reducir la carga orgánica a 25g DQO / m<sup>2</sup> por día. Concomitantemente de utilizar el sistema de manera rotativa, esto adicionalmente permite oxigenar el lecho y generar un tiempo de descanso del sistema para permitir el lecho secado.

Según indican FOLADORI, et al. (2013), los humedales de flujo vertical con recirculación y operación intermitente, aún con carga alta, pueden lograr una mejor combinación en el lecho del humedal, precipitándose de ese modo. La multiplicación del oxígeno y purificando DQO y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, mermando de esa manera la superficie. Los humedales utilizados en estos sistemas son

particularmente adecuados para todos los humedales construidos en zonas montañosas con espacio limitado.

REYES-LUZ, María Ivonne et. al. (2011) sostienen que, el proceso de remoción biológica de los humedales puede ser el proceso más importante para remover escombros. Comienzan con la absorción de oxígeno por las plantas. Algunos contaminantes son nutrientes absorbidos por las plantas, como los iones de nitrato, amonio y fosfato. La eliminación de contaminantes por la vegetación depende de la edad de las plantas. Los microorganismos (como las bacterias del suelo) pueden proporcionar, capturar y almacenar nutrientes y otros contaminantes en poco tiempo.

Debido al flujo laminar de estos sistemas, el agua se mueve lentamente en el humedal, y la resistencia que brindan las raíces y la vegetación (son trampas para los sedimentos) y la principal vía para la remoción del fósforo. (PAVLINERI, et al. 2017) Según VYMAZAL, Jan (2018), si bien los humedales artificiales pueden purificar eficazmente compuestos orgánicos y sólidos en suspensión, juegan un papel decisivo para una mayor desnitrificación, alimentación, tipos de humedales.

ARTEAGA-CORTEZ, Viviana, et al., (2019) aseveran que, los humedales artificiales promueven la eliminación de patógenos a través de la filtración y sedimentación, la radiación ultravioleta, los antibióticos secretados por las raíces de las plantas y la muerte natural. La vegetación en el humedal proporciona una superficie para el crecimiento de microorganismos, puede filtrar y absorber los contaminantes en las aguas residuales, inhibir el crecimiento de algas y promover la circulación de oxígeno. El oxígeno es capturado por la vegetación y pasa a través de los tallos y hojas y, se lleva a las raíces para su uso.

Según indican LATERRA, et al. (2018), la existencia de vegetación en los humedales puede promover la erradicación de nutrientes al mermar la velocidad del flujo, incrementar la carga de agua y reducir la resuspensión de sedimentos. De manera similar, LLYAS & MASIH (2017) aseguran que, la aireación intermitente es ventajosa para la nitrificación y desnitrificación.

Además de ZHAO, et al. (2018) mencionan que, los humedales artificiales permiten la eliminación de fósforo mediante mecanismos biológicos y fisicoquímicos. Aunque la interacción de los nutrientes de las plantas en los humedales es clave para simplificar el proceso de purificación de los cuerpos de agua eutróficos, la absorción de nutrientes por las plantas y los microorganismos en los humedales constituye un sistema que implica una serie de reacciones bioquímicas. ARAYA, et al. (2018) precisan que, los métodos biológicos se producen absorbiendo fósforo de los tejidos vegetales hasta la cosecha. En métodos fisicoquímicos, aunque se han realizado procesos de precipitación y adsorción, el potencial redox y el medio portador son los más indispensables.

Según VYMAZAL (2011), hay varias taxonomías sobre los humedales construidos o desarrollados, conforme a distintas pautas: hidrología (flujo de agua superficial y subsuperficial); tipos de macrófitas (flotantes, emergentes y sumergidas) y trayectorias de flujo (horizontal o vertical). MACHADO, et al. (2017) afirman que, pueden aplicarse con éxito al tratamiento descentralizado de aguas residuales en áreas con baja densidad poblacional.

VYMAZAL (2014, p.49) argumenta que, en los humedales horizontales, “Su descomposición de su materia orgánica es frecuente en los procesos microbianos aeróbicos, y anaeróbicos tales como su precipitación, filtración de su materia particularmente orgánica, por el cual el nitrógeno logra eliminar nitrificación, condiciones anoxicas, anaeróbicas que son adaptadas por desnitrificación, su fosforo es obtenido por absorción, eliminación en base a su precipitación.”

### **III. METODOLOGÍA**

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

De acuerdo con Hernández et al. (2014, p.286), la investigación aplicada tiene como objetivo adquirir nuevos conocimientos técnicos y aplicarlos a problemas específicos de forma inmediata. Este tipo de investigación se basa en los resultados de la investigación básica, y los resultados de la investigación básica dependen de las necesidades sociales a atender.

En ese sentido esta investigación es de tipo aplicada ya que, pretende comprender los métodos y resultados de las investigaciones científicas que se han realizado con el fin de buscar respuestas a interrogantes comunes, por ello es necesario realizar una investigación disciplinada de los hechos o fenómenos ocurridos, además de tratando de formar un sistema de conocimientos armonioso y unificado.

El diseño de investigación que se realizó es cualitativo y narrativo tópico. Es cualitativo ya que, según Hernández, et al. (2014, p.288), el enfoque de la investigación cualitativa se centra en comprender los fenómenos y explorar desde la perspectiva de los participantes en el entorno natural y en relación con su entorno. Recopila y analiza datos para refinar las preguntas de investigación o revelar nuevas preguntas en el proceso de interpretación.

Es narrativo tópico, porque, de acuerdo con Hernández et al. (2014, p.289), el diseño narrativo tiene como objetivo comprender la continuidad de hechos, situaciones, fenómenos, procesos y eventos que involucran pensamientos e interacciones a través de las experiencias habladas por la persona experimentada y, tópico, cuando la investigación se centra en temas, eventos o fenómenos.

Por lo que, esta investigación es de diseño cualitativo, narrativo tópico porque tiene como objetivo comprender y analizar el conocimiento sobre el tema de investigación, y porque los análisis o resultados recientes de otros investigadores pueden compartir la posibilidad de aportar nuevas ideas.

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

**Tabla 1.** Matriz de categorización

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2
Identificar los tipos más usados de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises.	¿Cuáles son los tipos más usados de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises?	Tipos de humedales artificiales	- Flujo libre. - Flujo subsuperficial horizontal. -Flujo subsuperficial vertical.  ARTEAGA-CORTEZ, Viviana, et al., 2019	Según el tipo de humedal  VYMAZAL, Juan (2018)	Según su Flujo  VYMAZAL (2011)
Describir las ventajas de los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises.	¿Qué ventajas tiene los tipos humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises?	Ventajas de los humedales artificiales	-costos.  - mecanismo de remoción.  LUNA-PABELLO, Víctor Manuel & ABURTO-CASTAÑEDA, Sergio (2014)	Según su costo  LUNA-PABELLO, Víctor Manuel & ABURTO-CASTAÑEDA, Sergio (2014)	Según su mecanismo de remoción  REYES-LUZ, María Ivonne et. al. (2011)
Identificar las plantas más utilizadas en los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises.	¿Cuáles son las plantas más utilizadas en los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises?	Plantas utilizadas en los tipos de humedales artificiales	-Plantas acuáticas flotantes.  -Plantas acuáticas sumergidas.  -Plantas acuáticas emergentes.  YANG et al., (2015)	Según su morfología  (PAVLINERI, et al. 2017)	Según su fisiología  (PAVLINERI, et al. 2017)

Nota: Elaboración propia del investigador.

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

Los escenarios de estudio en esta revisión sistemática fueron diferentes lagos; El Lago de Xochimilco, el de mayor dimensión (Ciudad de México), la zona actual del lago de Xochimilco tiene una superficie de 54 hectáreas en donde existen cultivos de especies vegetales. El Lago Dongqian es de agua dulce en el distrito de Yinzhou, Ningbo en Zhejiang, China, El Lago Bolsena (Provincia de Viterbo, al norte de Roma, Italia). El Lago del Bosque de San Juan de Aragón, se ubica en el nororiente de la Ciudad de México, en la colonia San Juan de Aragón, Delegación Gustavo A. Madero. En otro estudio, se analizaron los efectos de la desalinización de diferentes plantas en el lago Chagan. Se realizó un experimento de campo en el distrito de riego de Qianguo para elegir la planta desaladora más eficiente comparando el contenido de biomasa. El Lago de Xuanwu se ubica en el distrito de Xuanwu en la parte centro-noreste de Nankín en Jiangsu, China. Yellow River Delta (Delta del Río Amarillo). La región delta del río Amarillo está ubicada en el norte de China.

Así mismo las unidades experimentales piloto se ubicaron en una empresa de cuero en el norte de Portugal, y se coloca después de un tratamiento primario del efluente. posteriormente las muestras de agua de un pre y post en los humedales artificiales, fueron llevadas al laboratorio para llevarse a cabo los diferentes ensayos y poder diferenciar los diferentes resultados obtenidos.

### **3.4. Participantes**

Hernández, et al. (2014, p.291) afirman que, los participantes son fuentes internas de datos porque permiten que los datos se recopilen para luego analizarlos. Los investigadores también pueden desempeñar el papel de participantes.

En ese sentido, se realizó una búsqueda exhaustiva de la literatura científico tecnológica para recopilar estudios que pudieran proporcionar más información sobre los “humedales artificiales”. Science Direct, Scopus, Web of Science, Ebsco, Scielo son bases de datos que se

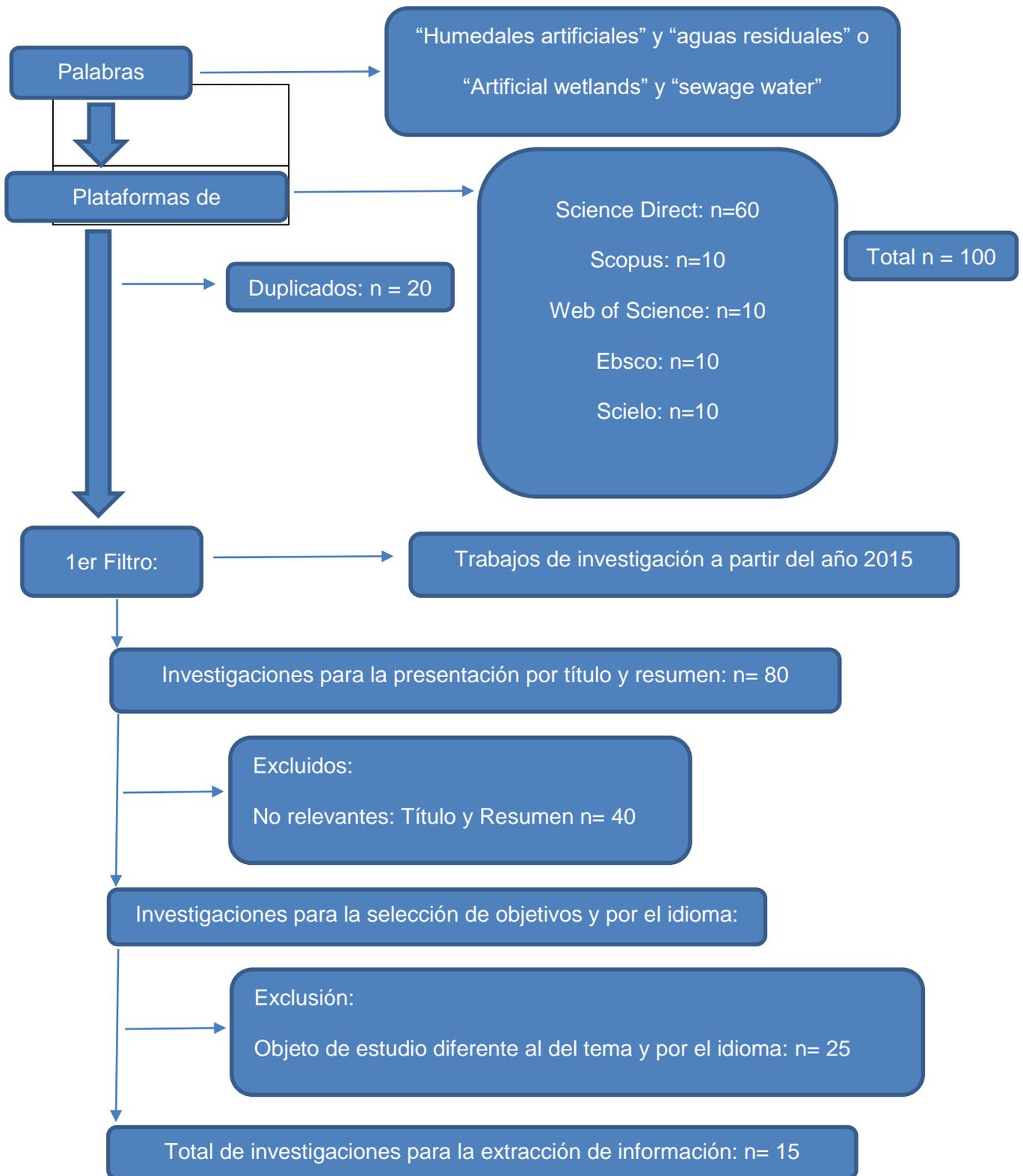
utilizan para compilar dicha investigación. Los resultados de la búsqueda en línea incluyen investigaciones hasta febrero de 2020.

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

Método analítico y sintético. Análisis de documentos. Fichas de Análisis de documentos. Revisión bibliográfica. Comparación histórico-lógica.

La técnica de recolección de datos que se aplicó es el análisis documental con su correspondiente instrumento de recolección de datos: Ficha de análisis de documentos. Y, se desarrolló un plan de procedimientos para determinar la investigación publicada sobre humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises. **Anexo 1 ficha de análisis**

### 3.6. Procedimiento



Fuente: Elaboración propia

El procedimiento metodológico de esta investigación adopta métodos cualitativos y aplica técnicas de investigación bibliográfica a nivel de descripción

exploratoria.

Se consideró la búsqueda con base en las palabras claves: “humedales artificiales” y “aguas residuales” los resultados de búsqueda fueron, Science Direct 60, Scopus 10, Web of Science 10, Ebsco10 y Scielo10 para el proceso de muestreo de artículos científicos de revistas, considerando investigaciones hasta el año 2020. Estas investigaciones pertenecen a revistas indexadas, son de carácter científico y aplicado.

La investigación se determina en dos etapas, la primera etapa consiste en buscar información utilizando palabras clave en español, como "humedales artificiales" y "aguas residuales". De esta forma, se pudo cubrir revistas o páginas web que realicen investigaciones en este idioma.

En la segunda etapa de la recopilación de datos, se muestran palabras clave en inglés, como: "Artificial wetlands" y "sewage water ". Durante el diagnóstico preliminar se encontró información más relevante con datos precisos, documentos relacionados al tema de investigación.

Se identificaron  $n = 100$  investigaciones, de las cuales  $n = 20$  de ellas eran duplicadas, por lo que fueron eliminadas. Luego, de los  $n=80$  restantes se descartaron  $n= 40$  debido a que el título y el abstract no eran relevantes para la presente investigación. Después, se excluyó a  $n= 25$  investigaciones porque el objeto de estudio y el idioma no cumplían los criterios de inclusión. Finalmente, se consideró  $n= 15$  investigaciones.

### **3.7. Rigor científico**

En cuanto a las revisiones sistemáticas, muchos investigadores han realizado extensos estudios sobre este método, principalmente en las ciencias médicas y luego en las ciencias sociales y administrativas, por lo que esta investigación es científicamente rigurosa.

#### **Dependencia**

Noreña (2012, p. 267) sostiene que, la dependencia tiene que ver con la estabilidad de la información (consistencia). Por su complejidad, la estabilidad de los datos no se puede garantizar en la investigación

cualitativa, y las investigaciones realizadas bajo este paradigma no pueden tener la misma reproducibilidad por la diversidad de realidades o situación analizada.

Este estudio es aplicable a este criterio porque está cuidadosamente formulado con base en la compilación y análisis de varios estudios, evaluables por diferentes investigadores, quienes pueden llegar a resultados iguales o consistentes que este estudio.

### **Credibilidad**

Suárez (2007, p. 647) argumenta que, la credibilidad significa que los investigadores capturan y valoran la situación relacionada con la experiencia del participante, por lo que es necesario estudiar la evidencia confiable que se probará en los resultados de la investigación de acuerdo con el proceso seguido.

La razón por la cual el estándar de credibilidad es aplicable al trabajo actual es que las creencias y opiniones se evitaron en el análisis de la investigación ya que podrían afectar la claridad de la interpretación de los datos, además, todos los datos se consideran valiosos, independientemente del investigador.

### **Transferibilidad**

Hernández et al. (2014, p.297) sostienen que, el estándar de transferibilidad se refiere al hecho de que el resultado de una investigación no puede ser transferido, ni puede ser aplicado a otros entornos y / o campos de acción, dada la naturaleza social y complejidad del fenómeno, un estándar debe ser estudiado en su totalidad correctamente. Pero, esto puede ser una referencia para la transferencia de herramientas y etapas de investigación en otros contextos, según la condición o intensidad del método (según la similitud del proceso desarrollado, de quien investiga y quiere producir la transferencia).

Este estudio adopta el criterio de transferibilidad, porque el análisis final puede dar una idea general del método y ayudar a conocer más sobre el tema, y también puede hacer posible que los futuros investigadores apliquen el análisis a su propio entorno.

## **Confirmabilidad**

Noreña (2012, p. 268) manifiesta que, el criterio de Confirmabilidad permite recopilar registros específicos, citas directas, registros de texto y contemplar la neutralidad. El estándar incluye información de confirmación, interpretación del significado y resumen de las conclusiones.

La presente investigación aplicó el criterio de confirmabilidad debido a la objetividad del autor a cargo, porque se investigó con base en citas y registros específicos para confirmar la información recopilada.

### **3.8. Método de análisis de datos**

De acuerdo a la presente investigación los datos fueron analizados a través de una matriz de categorización apriorística que consta de 3 categorías; tipos de humedales artificiales, ventajas de los humedales artificiales y plantas utilizadas en los tipos de humedales artificiales.

La primera categoría de tipos de humedales artificiales presenta las subcategorías: flujo libre, flujo subsuperficial horizontal y flujo subsuperficial vertical, para efectuar el análisis de esta categoría se incluyeron dos criterios, tales como; según su tipo y según su flujo. De manera que estos criterios permitirán seleccionar la información necesaria de los artículos científicos para argumentar los resultados relacionados a esta categoría y de esta manera responder los objetivos.

En la segunda categoría ventajas de los humedales artificiales, presenta dos subcategorías; ventajas de los mecanismos de remoción y las desventajas de los mecanismos de remoción, para encontrar los datos exactos del análisis de esta categoría se incluyeron dos criterios, tales como; según su flujo y según su mecanismo de remoción. De manera que estos criterios permitan seleccionar la información necesaria de los artículos científicos para argumentar los resultados relacionados a esta categoría y de esta manera responder los objetivos.

Por último, en base a la tercera categoría plantas utilizadas en los tipos de humedales artificiales, presenta subcategorías; plantas acuáticas flotantes. Plantas acuáticas sumergidas y plantas acuáticas emergentes.

Para encontrar los datos necesarios del análisis de esta categoría se incluyeron dos criterios, tales como; según su morfología y según su fisiología. De manera que estos criterios permitan seleccionar la información necesaria de los artículos científicos para argumentar los resultados relacionados a esta categoría y de esta manera responder los objetivos.

### 3.9. Aspectos éticos

Esta investigación cumplió con los lineamientos establecidos en el Código de Ética de la Universidad del Cesar Vallejo (Resolución del Consejo Universitario No. 0126-2017), utilizando y respetando íntegramente los lineamientos establecidos por la ISO 690: 2010 como parte de los recursos de información, Sus pautas para la redacción de citas y referencias bibliográficas.

En ese sentido, este estudio se realizó sobre la base del respeto a la ética, que es un aspecto importante de toda investigación, sin excepción, se lleva a cabo sobre la base de la citación y el análisis adecuados, partiendo de la fuente auténtica cuidadosamente citada, y respetando la autoría.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

Después de analizar todos los artículos seleccionados, se identificó los tipos más usados de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales a nivel mundial.

### 4.1. Objetivo específico: Identificar los tipos más usados de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.

#### Tabla 2.

*Tipos más usados de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.*

Investigación	Autor	Año	Según su tipo	Según su afluente
Sistemas de humedales construidos vegetados con diferentes plantas aplicadas al	CALHEIROS, Cristina, RANGEL,	2007	VF-HF-P	Lixiviados de rellenos sanitarios

tratamiento de aguas residuales	Antonio, & CASTRO, Paula.			
Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la agricultura.	RAMÍREZ-CARRILLO, H., LUNA-PABELLO, V., & ARREDONDO-FIGUEROA, J.	2009	HF-VF	Aguas residuales
Mejora de la eliminación de nitrógeno en humedales construidos híbridos de gran altura para tratar aguas residuales domésticas para pequeñas comunidades rurales.	YE, Fenxia & LI, Ying.	2009	FL-HF	Río contaminado
Recirculación o aireación artificial en humedales artificiales de flujo vertical: un estudio comparativo para el tratamiento de aguas residuales de alta carga.	FOLADORI, Paola, RUABEN, Jenny, & ORTIGARA, Angela.	2013	HF-FL	Lagar
Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón.	LUNA-PABELLO, Víctor Manuel & ABURTO-CASTAÑEDA, Sergio.	2014	HF-VF	Aguas residuales
Desarrollo de humedales artificiales en la intensificación del desempeño para el tratamiento de aguas residuales: una revisión específica de nitrógeno y materia orgánica.	WU, Shubiao, KUSCHK, Peter, BRIX, Hans, VYMAZAL, Jan & DONG, Renjie.	2014	VF-HF	Aguas residuales
Desalación de agua de drenaje de tierras de cultivo salinas a través de plantas de humedales.	YANG, Y., SHENG, Q., ZHANG, L., KANG, H. Q., & LIU, Y.	2015	FL-HF	Industrial
Funciones de escorias y gravas como sustratos en sistemas de humedales construidos de demostración a gran escala para el tratamiento de aguas de ríos contaminados Ciencias ambientales e investigación de la contaminación.	GE, Yuan, WANG, Xiaochang, ZHENG, Yucong, DZAKPASU, Mawuli, ZHAO, Yaqian & XIONG, Jiaqing.	2015	FL-HF	Acuicultura
Humedales flotantes construidos: una revisión de los aspectos de investigación, diseño, operación y gestión, y metanálisis de datos	PAVLINERI, Natalia, SKOULIKIDIS, Nikolaos & TSIHRINTZIS, Vassilios.	2017	FL-HF	Aguas residuales

El desempeño de los humedales artificiales intensificados para la remoción de materia orgánica y nitrógeno: una revisión.	LLYAS, Huma & MASIH, Llyas.	2017	VF-HF	Aguas residuales
Panorama general del estado del arte de los humedales artificiales para la gestión descentralizada de aguas residuales en Brasil.	MACHADO, A., BERETTA, M., FRAGOSO, R., & DUARTE, E.	2017	HF-VF	Aguas residuales
Remoción altamente eficiente de nitrógeno y fósforo en un humedal construido con flujo subterráneo horizontal integrado por electrólisis modificado con biocarbón.	GAO, Yan, ZHANG, Wen, GAO, Bin, JIA, Wen & YANG, Liuyan.	2018	FL-HF	Acuicultura del camarón
Indicadores de eficiencia de remoción de nutrientes para humedales ribereños en paisajes agrícolas de la Pampa argentina.	LATERRA, Pedro, BOOMAN, Gisel, PICONE, Liliana, VIDELA, Cecilia & ORÚE, María.	2018	HF-VF	Aguas residuales
Características de la fracción de fósforo y la absorción-liberación de fosfato de los sedimentos de los humedales del delta del río Amarillo.	CUI, Yuan, XIAO Rong, XIE, Ying & ZHANG, Mingxiang.	2018	FL-HF	Industrial
Eficiencia de remoción de contaminantes de lixiviados generado en un relleno sanitario, mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal a través de la especie macrófita emergente carrizo ( <i>Phragmites australis</i> ).	SEGURA DELGADO, Paul & ROCHA VERA, Wilbert Antony.	2019	HF - FL	Lixiviados de rellenos sanitarios

*Nota:* VF = flujo vertical, HF = flujo horizontal, FL = superficie de agua libre; P = estanque. Elaboración propia del investigador.

En la Tabla 2, se muestran los resultados de los tipos más usados de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. De acuerdo con VYMAZAL, Jan (2014), los humedales de flujo horizontal mantienen condiciones anóxicas para proporcionar condiciones adecuadas para la desnitrificación. En cambio, mantener las condiciones aeróbicas en los humedales de flujo vertical favorece la nitrificación. Por lo que, la combinación de dos modelos de humedales (humedales mixtos en tándem) puede eliminar

eficazmente el nitrógeno total. Según indican TORRES-BOJORGES et al., (2017), la combinación de estos humedales proporciona una mayor eficacia de tratamiento de aguas residuales en diferentes etapas de tratamiento.

VYMAZAL (2009) dice que, la otra combinación es, mediante el sistema de flujo superficial y el sistema de flujo subsuperficial, por lo que, según diferentes contaminantes, será la mejor combinación de estos sistemas híbridos. ZHANG, et al. (2017) evidencian que, estos sistemas de humedales artificiales son usados fundamentalmente para captar materia orgánica y nutrientes en aguas grises, pluviales y escorrentías agrícolas. El fertilizante usado posee principalmente fosfatos, que pueden filtrarse al agua subterránea en la escorrentía de las tierras agrícolas.

#### **4.2. Objetivo específico: Describir las ventajas de los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.**

En la Tabla 3, se muestran los resultados de las ventajas y limitaciones de los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.

#### **Tabla 3.**

*Ventajas y limitaciones de los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.*

INVESTIGACIÓN	AUTOR-AÑO	VENTAJAS / DESVENTAJAS	
		SEGÚN SU MECANISMO DE REMOCIÓN	SEGÚN SU COSTO
<b>Sistemas de humedales construidos vegetados con diferentes plantas aplicadas al tratamiento de aguas residuales.</b>	CALHEIROS, Cristina, RANGEL, Antonio, & CASTRO, Paula.2007	-Los humedales artificiales eliminan el Nitrógeno, Nitrógeno amoniacal, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno orgánico, Fósforo, Fosfatos y Fósforo orgánico. -La mayoría de los contaminantes no son 100% degradables	-Los humedales artificiales son sistemas de bajo costo.
<b>Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la agricultura.</b>	RAMÍREZ-CARRILLO, H., LUNA-PABELLO, V., & ARREDONDO-FIGUEROA, J.2009	-Los humedales artificiales son funcionales en la eliminación de los diversos contaminantes de aguas residuales como Nitrógeno, Nitrógeno amoniacal, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno orgánico, Fósforo, Fosfatos y Fósforo orgánico. -La mayoría de los contaminantes no son 100% degradables	- Los humedales artificiales son sistemas de fácil operación.
<b>Mejora de la eliminación de nitrógeno en humedales construidos híbridos de gran altura para tratar aguas residuales domésticas para pequeñas comunidades rurales.</b>	YE, Fenxia & LI, Ying.2009	-Los humedales artificiales eliminan los diversos contaminantes de aguas residuales como Nitrógeno, Nitrógeno amoniacal, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno orgánico, Fósforo, Fosfatos y Fósforo orgánico. -La mayoría de los contaminantes no son 100% degradables	- Los humedales artificiales son sistemas de cero gastos energéticos.
<b>Recirculación o aireación artificial en humedales artificiales de flujo vertical: un estudio comparativo para el tratamiento de aguas residuales de alta carga.</b>	FOLADORI, Paola, RUABEN, Jenny, & ORTIGARA, Angela.2013	-Los humedales artificiales son funcionales en la eliminación de los diversos contaminantes de aguas residuales como Nitrógeno, Nitrógeno amoniacal, Nitratos,	- Los costos de implementación, operación y mantenimiento son más bajos porque consta de 25 años de vida útil.

		Nitritos, Nitrógeno orgánico, Fósforo, Fosfatos y Fósforo orgánico. -La mayoría de los contaminantes no son 100% degradables	
<b>Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón.</b>	LUNA-PABELLO, Víctor Manuel & ABURTO-CASTAÑEDA, Sergio.2014	-Los humedales artificiales son funcionales en la eliminación de los diversos contaminantes de aguas residuales como Nitrógeno, Nitrógeno amoniacal, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno orgánico, Fósforo, Fosfatos y Fósforo orgánico. -La mayoría de los contaminantes no son 100% degradables	- Los humedales artificiales son económicos.
<b>Desarrollo de humedales artificiales en la intensificación del desempeño para el tratamiento de aguas residuales: una revisión específica de nitrógeno y materia orgánica.</b>	WU, Shubiao, KUSCHK, Peter, BRIX, Hans, VYMAZAL, Jan & DONG, Renjie. 2014	-Los humedales artificiales son funcionales en la eliminación de los diversos contaminantes de aguas residuales como Nitrógeno, Nitrógeno amoniacal, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno orgánico, Fósforo, Fosfatos y Fósforo orgánico. -La mayoría de los contaminantes no son 100% degradables	- Los humedales artificiales requieren la menor cantidad de energía para operar.
<b>Desalación de agua de drenaje de tierras de cultivo salinas a través de plantas de humedales.</b>	YANG, Y., SHENG, Q., ZHANG, L., KANG, H. Q., & LIU, Y.2015	-Los humedales artificiales son funcionales en la eliminación de los diversos contaminantes de aguas residuales como Nitrógeno, Nitrógeno amoniacal, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno	- Los humedales artificiales son de bajo costo.

		orgánico, Fósforo, Fosfatos y Fósforo orgánico. -La mayoría de los contaminantes no son 100% degradables	
<b>Funciones de escorias y gravas como sustratos en sistemas de humedales construidos de demostración a gran escala para el tratamiento de aguas de ríos contaminados</b>	GE, Yuan, WANG, Xiaochang, ZHENG, Yucong, DZAKPASU, Mawuli, ZHAO, Yaqian & XIONG, Jiaqing.2015	-Los humedales artificiales son funcionales en la eliminación de los diversos contaminantes de aguas residuales como Nitrógeno, Nitrógeno amoniacal, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno orgánico, Fósforo, Fosfatos y Fósforo orgánico. -La mayoría de los contaminantes no son 100% degradables	- Los humedales artificiales son sistemas de fácil operación.
<b>Ciencias ambientales e investigación de la contaminación.</b>			
<b>Humedales flotantes construidos: una revisión de los aspectos de investigación, diseño, operación y gestión, y metanálisis de datos</b>	PAVLINERI, Natalia, SKOULIKIDIS, Nikolaos & TSIHRINTZIS, Vassilios.2017	-Los humedales artificiales son funcionales en la eliminación de los diversos contaminantes de aguas residuales como Nitrógeno, Nitrógeno amoniacal, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno orgánico, Fósforo, Fosfatos y Fósforo orgánico. -La mayoría de los contaminantes no son 100% degradables	- Los humedales artificiales son sistemas de cero gastos energéticos.
<b>El desempeño de los humedales artificiales intensificados para la remoción de materia orgánica y nitrógeno: una revisión.</b>	LLYAS, Huma & MASIH, Llyas.2017	-Los humedales artificiales son funcionales en la eliminación de los diversos contaminantes de aguas residuales como Nitrógeno, Nitrógeno amoniacal, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno orgánico, Fósforo,	- Los humedales artificiales requieren la menor cantidad de energía para operar.

		Fosfatos y Fósforo orgánico. -La mayoría de los contaminantes no son 100% degradables	
<b>Panorama general del estado del arte de los humedales artificiales para la gestión descentralizada de aguas residuales en Brasil.</b>	MACHADO, A., BERETTA, M., FRAGOSO, R., & DUARTE, E.2017	-Los humedales artificiales son funcionales en la eliminación de los diversos contaminantes de aguas residuales como Nitrógeno, Nitrógeno amoniacal, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno orgánico, Fósforo, Fosfatos y Fósforo orgánico. -La mayoría de los contaminantes no son 100% degradables	- Los humedales artificiales son económicos.
<b>Remoción altamente eficiente de nitrógeno y fósforo en un humedal construido con flujo subterráneo horizontal integrado por electrólisis modificado con biocarbón.</b>	GAO, Yan, ZHANG, Wen, GAO, Bin, JIA, Wen & YANG, Liuyan.2018	-Los humedales artificiales son funcionales en la eliminación de los diversos contaminantes de aguas residuales como Nitrógeno, Nitrógeno amoniacal, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno orgánico, Fósforo, Fosfatos y Fósforo orgánico. -La mayoría de los contaminantes no son 100% degradables	- Los humedales artificiales requieren la menor cantidad de energía para operar.
<b>Indicadores de eficiencia de remoción de nutrientes para humedales ribereños en paisajes agrícolas de la Pampa argentina</b>	LATERRA, Pedro, BOOMAN, Gisel, PICONE, Liliana, VIDELA, Cecilia & ORÚE, María. 2018	-Los humedales artificiales son funcionales en la eliminación de los diversos contaminantes de aguas residuales como Nitrógeno, Nitrógeno amoniacal, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno orgánico, Fósforo, Fosfatos y Fósforo orgánico	-Los humedales artificiales requieren la menor cantidad de energía para operar.

		orgánico. -La mayoría de los contaminantes no son 100% degradables	
<b>Características de la fracción de fósforo y la absorción-liberación de fosfato de los sedimentos de los humedales del delta del río Amarillo.</b>	CUI, Yuan, XIAO Rong, XIE, Ying & ZHANG, Mingxiang.2018	-Los humedales artificiales son funcionales en la eliminación de los diversos contaminantes de aguas residuales como Nitrógeno, Nitrógeno amoniacal, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno orgánico, Fósforo, Fosfatos y Fósforo orgánico. -La mayoría de los contaminantes no son 100% degradables	-Los humedales artificiales requieren el menor cantidad de energía para operar.
<b>Eficiencia de remoción de contaminantes de lixiviados generado en un relleno sanitario, mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal a través de la especie macrófita emergente carrizo (<i>phragmites australis</i>).</b>	SEGURA DELGADO, Paul & ROCHA VERA, Wilbert Antony. 2019	-Los humedales artificiales son útiles en la remoción de contaminantes de lixiviados de rellenos sanitarios. -La mayoría de los contaminantes no son 100% degradables	- Los humedales artificiales son económicos.

*Nota:* Elaboración propia del investigador.

ARTEAGA-CORTEZ, Viviana, et al. (2019) sostienen que, los procesos químicos, físicos y biológicos que eliminan los desechos en las aguas residuales, se producen dentro de los sistemas de los humedales artificiales.

TORRES-BOJORGES et al., (2017) declara que, la purificación en este tipo de sistema suele deberse a la existencia de microbios colonizando la superficie de la planta y al medio de soporte. El proceso metabólico de microbios puede erradicar el nitrógeno inorgánico en los humedales, La eliminación de nitrógeno comienza, con la conversión de su (N<sub>Org</sub>) y amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) por la cual

mediante la amonificación. El  $N-NH_4^+$  logra ser absorbido por sus raíces de las plantas dentro de los organismos.

ARTEAGA-CORTEZ, Viviana, et al., (2019) aseguran que, es mediante la conjunción del proceso de remoción y el proceso metabólico de la comunidad microbiana en el humedal que se eliminan los sólidos suspendidos totales (SST) y parte de la materia orgánica biodegradable (DBO) se elimina de la precipitación y filtración del agua. Debido a la degradación microbiana (aerobia, anaeróbica y facultativa), se purifica la materia orgánica biodegradable (DBO).

GAO, et al. (2018) Se señala que el proceso de desnitrificación en el tratamiento de humedales artificiales se manifiesta como los siguientes procesos: Su volatilización del  $NH_3$ , desnitrificación, nitrificación y la fijación de  $N_2$  puede absorber las plantas, mineralización, microorganismos, lixiviación, etc.

VYMAZAL & BŘEZINOVÁ (2015) Señalaron que la gente ahora está prestando más atención a la eliminación de pesticidas. Estos productos se eliminan en estos sistemas a través de procesos físicos (precipitación, floculación, absorción, coprecipitación, precipitación); sustancias químicas (oxidación, reducción, intercambio catiónico, hidrólisis, fotólisis); biología (absorción y metabolismo vegetal) o bioquímica (microbiana degradación).

ARTEAGA-CORTEZ, Viviana, et al., (2019) Algunas personas creen que en los humedales que fluyen bajo tierra o subterráneos, el agua fluye bajo tierra para suministrar oxígeno al sistema y purificar grandes cantidades de contaminantes orgánicos. Al igual que FL e IF, están inundados de espejos de agua por un sistema lleno de agua que está expuesto al medio ambiente, donde la única forma de oxigenación en el sistema es la vegetación. Los IF pueden adaptarse al asentamiento de vegetación en las profundidades del agua, que puede acumular residuos orgánicos de origen vegetal, animal y humano.

MATEO, Nicolás; et al. (2019) muestran que, el HC-VPS es un método alternativo para eliminar los contaminantes convencionales en las aguas residuales de los cerdos. En comparación con los sistemas convencionales de humedales artificiales de flujo vertical, el HC-VPS tiene mejores condiciones de eliminación de contaminantes. Debido al bajo costo de implementación, el pequeño espacio de implementación y la fácil operación y operación de HC-

VPS, ha demostrado un gran potencial de aplicación en pequeñas granjas de cerdos en diferentes países en desarrollo.

De acuerdo con PAVLINERI et al. (2017); VYMAZAL, Jan (2013) y FOLADORI et al. (2013), En un humedal de flujo vertical, la difusión de oxígeno del aire tiene un mayor efecto sobre la oxigenación del lecho de percolación. Cuanto mayor sea el grado de oxigenación del sistema ( $> 1,50 \text{ mg OD L}^{-1}$  para nitrificación y  $< 0,50 \text{ mg OD L}^{-1}$  para desnitrificación), mayor será la eficiencia de biodegradación y eliminación de nitrógeno y materia orgánica en el sistema. La vegetación de la isla flotante tiene una buena capacidad para absorber nitrógeno y fósforo.

GAO et al. (2018) destacan que, la baja eficiencia de depuración y la obstrucción son problemas provocados por los sustratos convencionales, por lo que, los estudios también tienen como objetivo encontrar sustratos eficaces y rentables para mejorar la capacidad de depuración y minimizar las obstrucciones, conchas de ostras, neumáticos, residuos de construcción y recolección de arcilla expandida, los materiales que se utilizan como sustratos. Idealmente, el sustrato tiene propiedades físicoquímicas únicas y puede eliminar eficientemente los contaminantes.

RAMÍREZ-CARRILLO et al. (2009) afirman que, cuanto mayor es la espera o el tiempo de retención, más alto es el porcentaje de contaminantes removidos. Según indican CORZO et al., (2016), para eliminar la materia orgánica de alta tasa, el llamado humedal artificial de alta tasa (HAAT) ha surgido como una nueva variante de humedal. Estos sistemas utilizan plástico como medio de soporte, lo que facilita la formación de biopelículas, con porosidades de hasta 94% a 96%.

GE et al. (2015) aseveran que, la grava y la escoria volcánica se utilizan a menudo como sustrato para rehabilitar ríos contaminados. Al usar escoria como sustrato, el fósforo total (TP) se puede eliminar en mayor medida y se puede reducir la demanda química de oxígeno (DQO). No obstante, durante el período de seguimiento, la adsorción de TP (fósforo total) por la ceniza volcánica se saturó rápidamente. CUI, et al. (2018) afirman que, en los sedimentos de los humedales, la concentración de P se regula, absorbe y libera bajo determinadas condiciones físicas, químicas y biológicas.

Con el fin de optimizar la remoción de P de los humedales, GAO et al. (2018) sostienen que, se han utilizado diferentes materiales, por lo que este método permite su procedimiento durante mucho tiempo. Grava, Dolomita, Arena, Piedra caliza. Bauxita y el barro rojo son escorias a nivel volcánico en algunos medios de soporte.

MATEO, Nicolás; et al. (2019) Confirmado que el humedal construido es un sistema de bajo costo, fácil de operar con cero consumos de energía y gasto funcional, que puede eliminar varios contaminantes en las aguas residuales.

#### **4.3. Objetivo específico: Identificar las plantas más utilizadas en los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises.**

**Tabla 4.**

*Plantas más utilizadas en los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises.*

Autor	Año	Plantas más utilizadas en los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales
<b>CALHEIROS, Cristina, RANGEL, Antonio, &amp; CASTRO, Paula.</b>	2007	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Especie macrófita emergente <i>Typha dominguensis</i> (totora) 94% a 96%</li> <li>- Especie macrófita flotante <i>Chrysopogon zizanioides</i> (Pasto vetiver) 85% a 90%.</li> <li>- Especie macrófita emergente <i>Junco</i> (<i>Juncus</i> sp) 72% a 82%.</li> <li>- Especie macrófita emergente carrizo (<i>phragmites australis</i>) 67% a 88%.</li> </ul>
<b>RAMÍREZ-CARRILLO, H., LUNA-PABELLO, V., &amp; ARREDONDO-FIGUEROA, J.</b>	2009	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Especie macrófita emergente <i>Typha dominguensis</i> (totora) 93% a 96%</li> <li>- Especie macrófita flotante <i>Chrysopogon zizanioides</i> (Pasto vetiver) 87% a 90%.</li> <li>- Especie macrófita emergente <i>Junco</i> (<i>Juncus</i> sp) 68% a 78%,</li> <li>- Especie macrófita emergente carrizo (<i>phragmites australis</i>) 68% a 88%.</li> </ul>
<b>YE, Fenxia &amp; LI, Ying.</b>	2009	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Especie macrófita emergente <i>Typha dominguensis</i> (totora) 93% a 97%</li> <li>- Especie macrófita flotante <i>Chrysopogon zizanioides</i> (Pasto vetiver) 88% a 90%.</li> <li>- Especie macrófita emergente <i>Junco</i> (<i>Juncus</i> sp) 73% a 79%,</li> <li>- Especie macrófita emergente carrizo (<i>phragmites australis</i>) 68% a 89%,</li> <li>- Especie macrófita <i>Cyperus papyrus</i> (Papiro) 55% a 58%.</li> </ul>
<b>FOLADORI, Paola, RUABEN, Jenny, &amp; ORTIGARA, Angela.</b>	2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Especie macrófita emergente <i>Typha dominguensis</i> (totora) 93% a 96%</li> <li>- Especie macrófita flotante <i>Chrysopogon zizanioides</i> (Pasto vetiver) 88% a 90%.</li> <li>- Especie macrófita emergente <i>Junco</i> (<i>Juncus</i> sp) 72% a 78%,</li> <li>- Especie macrófita emergente carrizo (<i>phragmites australis</i>) 68% a 89%,</li> <li>- Especie macrófita <i>Cyperus papyrus</i> (Papiro) 52% a 57%.</li> </ul>
<b>LUNA-PABELLO, Víctor Manuel &amp; ABURTO-CASTAÑEDA, Sergio.</b>	2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Especie macrófita emergente <i>Typha dominguensis</i> (totora) 95% a 97%</li> <li>- Especie macrófita flotante <i>Chrysopogon zizanioides</i> (Pasto vetiver) 88% a 90%.</li> <li>- Especie macrófita emergente <i>Junco</i> (<i>Juncus</i> sp) 70% a 80%,</li> <li>- Especie macrófita emergente carrizo (<i>phragmites australis</i>) 68% a 89%,</li> <li>- Especie macrófita <i>Cyperus papyrus</i> (Papiro) 50% a 55%.</li> </ul>
<b>WU, Shubiao, KUSCHK, Peter, BRIX, Hans, VYMAZAL, Jan &amp; DONG, Renjie.</b>	2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Especie macrófita emergente <i>Typha dominguensis</i> (totora) 93% a 96%</li> <li>- Especie macrófita flotante <i>Chrysopogon zizanioides</i> (Pasto vetiver) 88% a 90%.</li> <li>- Especie macrófita emergente <i>Junco</i> (<i>Juncus</i> sp) 74% a 80%,</li> <li>- Especie macrófita emergente carrizo (<i>phragmites australis</i>) 68% a 89%,</li> <li>- Especie macrófita <i>Cyperus papyrus</i> (Papiro) 50% a 55%.</li> </ul>
<b>YANG, Y., SHENG, Q., ZHANG, L., KANG, H. Q.,</b>	2015	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Especie macrófita emergente <i>Typha dominguensis</i> (totora) 93% a 95%</li> </ul>

& LIU, Y.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Especie macrófita flotante <i>Chrysopogon zizanioides</i> (<i>Pasto vetiver</i>) 88% a 90%.</li> <li>- Especie macrófita emergente <i>Junco</i> (<i>Juncus sp</i>) 70% a 78%,</li> <li>- Especie macrófita emergente <i>carrizo</i> (<i>phragmites australis</i>) 68% a 89%,</li> <li>- Especie macrófita <i>Cyperus papyrus</i> (<i>Papiro</i>) 50% a 55%.</li> </ul>
<b>GE, Yuan, WANG, Xiaochang, ZHENG, Yucong, DZAKPASU, Mawuli, ZHAO, Yaqian &amp; XIONG, Jiaqing.</b>	2015	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Especie macrófita emergente <i>Typha dominguensis</i> (<i>totorá</i>) 93% a 96%</li> <li>- Especie macrófita flotante <i>Chrysopogon zizanioides</i> (<i>Pasto vetiver</i>) 88% a 90%.</li> <li>- Especie macrófita emergente <i>Junco</i> (<i>Juncus sp</i>) 72% a 80%,</li> <li>- Especie macrófita emergente <i>carrizo</i> (<i>phragmites australis</i>) 68% a 89%,</li> <li>- Especie macrófita <i>Cyperus papyrus</i> (<i>Papiro</i>) 50% a 55%.</li> </ul>
<b>PAVLINERI, Natalia, SKOULIKIDIS, Nikolaos &amp; TSIHRINTZIS, Vassilios.</b>	2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Especie macrófita emergente <i>Typha dominguensis</i> (<i>totorá</i>) 94% a 97%</li> <li>- Especie macrófita flotante <i>Chrysopogon zizanioides</i> (<i>Pasto vetiver</i>) 88% a 90%.</li> <li>- Especie macrófita emergente <i>Junco</i> (<i>Juncus sp</i>) 74% a 80%,</li> <li>- Especie macrófita emergente <i>carrizo</i> (<i>phragmites australis</i>) 68% a 89%,</li> <li>- Especie macrófita <i>Cyperus papyrus</i> (<i>Papiro</i>) 50% a 55%.</li> </ul>
<b>LLYAS, Huma &amp; MASIH, Llyas.</b>	2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Especie macrófita emergente <i>Typha dominguensis</i> (<i>totorá</i>) 93% a 97%</li> <li>- Especie macrófita flotante <i>Chrysopogon zizanioides</i> (<i>Pasto vetiver</i>) 88% a 90%.</li> <li>- Especie macrófita emergente <i>Junco</i> (<i>Juncus sp</i>) 75% a 80%,</li> <li>- Especie macrófita emergente <i>carrizo</i> (<i>phragmites australis</i>) 68% a 89%,</li> <li>- Especie macrófita <i>Cyperus papyrus</i> (<i>Papiro</i>) 50% a 55%.</li> </ul>
<b>MACHADO, A., BERETTA, M., FRAGOSO, R., &amp; DUARTE, E.</b>	2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Especie macrófita emergente <i>Typha dominguensis</i> (<i>totorá</i>) 94% a 97%</li> <li>- Especie macrófita flotante <i>Chrysopogon zizanioides</i> (<i>Pasto vetiver</i>) 88% a 90%.</li> <li>- Especie macrófita emergente <i>Junco</i> (<i>Juncus sp</i>) 70% a 78%,</li> <li>- Especie macrófita emergente <i>carrizo</i> (<i>phragmites australis</i>) 68% a 89%,</li> <li>- Especie macrófita <i>Cyperus papyrus</i> (<i>Papiro</i>) 50% a 55%.</li> </ul>
<b>GAO, Yan, ZHANG, Wen, GAO, Bin, JIA, Wen &amp; YANG, Liuyan.</b>	2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Especie macrófita emergente <i>Typha dominguensis</i> (<i>totorá</i>) 94% a 96%</li> <li>- Especie macrófita flotante <i>Chrysopogon zizanioides</i> (<i>Pasto vetiver</i>) 88% a 90%.</li> <li>- Especie macrófita emergente <i>Junco</i> (<i>Juncus sp</i>) 73% a 78%,</li> <li>- Especie macrófita emergente <i>carrizo</i> (<i>phragmites</i></li> </ul>

		<i>australis</i> ) 68% a 89%, - Especie macrófita <i>Cyperus papyrus</i> ( <i>Papiro</i> ) 50% a 55%.
<b>LATERRA, Pedro, BOOMAN, Gisel, PICONE, Liliana, VIDELA, Cecilia &amp; ORÚE, María.</b>	2018	- Especie macrófita emergente <i>Typha dominguensis</i> ( <i>tatora</i> ) 93% a 97% - Especie macrófita flotante <i>Chrysopogon zizanioides</i> (Pasto vetiver) 87% a 90%. - Especie macrófita emergente <i>Junco</i> ( <i>Juncus sp</i> ) 72% a 80%, - Especie macrófita emergente <i>carrizo</i> ( <i>phragmites australis</i> ) 68% a 89%, - Especie macrófita <i>Cyperus papyrus</i> ( <i>Papiro</i> ) 52% a 54%.
<b>CUI, Yuan, XIAO Rong, XIE, Ying &amp; ZHANG, Mingxiang.</b>	2018	- Especie macrófita emergente <i>Typha dominguensis</i> ( <i>tatora</i> ) 94% a 96% - Especie macrófita flotante <i>Chrysopogon zizanioides</i> (Pasto vetiver) 88% a 90%. - Especie macrófita emergente <i>Junco</i> ( <i>Juncus sp</i> ) 70% a 78%, - Especie macrófita emergente <i>carrizo</i> ( <i>phragmites australis</i> ) 68% a 89%, - Especie macrófita <i>Cyperus papyrus</i> ( <i>Papiro</i> ) 52% a 54%.
<b>SEGURA DELGADO, Paul &amp; ROCHA VERA, Wilbert Antony.</b>	2019	- Especie macrófita emergente <i>carrizo</i> ( <i>phragmites australis</i> ) 69% a 88%.

Nota: Elaboración propia del investigador.

En la Tabla 4, se identificó las plantas más utilizadas en los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas con relación al promedio del porcentaje de remoción en los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas oscila entre los siguientes rangos:

-*Typha dominguensis* 93% a 97%

-*Chrysopogon zizanioides* 88% a 90%,

-*Juncus sp* 70% a 80%,

-*Phragmites australis* 68% a 89%,

-*Cyperus papyrus* 50% a 55%.

En esa línea, MUÑOZ, Keyla & VÁSQUEZ, Milagros (2020) Se logró identificar que los porcentajes de su remoción en los parámetros de DBO5 y DQO en estado sólido total al mantenerse en suspensión y a la vez coliformes termotolerantes logran con diferentes especies macrofitas de las cuales son:

*Cyperus papyrus*, *Phragmites australis*, *Typha dominguensis*, *Chrysopogon zizanioides* y *Juncus sp* con similares resultados: *Juncus sp* 74.13% a 81.67%, *Phragmites australis* 67% a 89.5%, *Typha dominguensis* 93.57% a 96.77% , *Chrysopogon zizanioides* 88.09% a 91%, *Cyperus papyrus* 50.8%.

Según los investigadores hay dos tipos principales de macrófitos más comunes utilizados para tratar las aguas residuales en los estanques: plantas acuáticas flotantes y sumergidas: Las plantas flotantes sumergidas absorberán dióxido de carbono según sus requerimientos de oxígeno, mientras que la turbiedad suprime a la vegetación sumergida.

VYMAZAL , Jan (2014) afirma que, el humedal FSSH reemplaza el tratamiento secundario. Aquellos son sistemas medios porosos saturados en los que se planta vegetación de emergencia. También juegan un papel en la prevención de la salinización secundaria del suelo. Las vegetaciones utilizadas para desalinizar los sustratos agrícolas son: *Phragmites communis*, *Typha spp.*, *Medicago sativa Linn.*, *Phragmites japonica*, *Lemna minor L.*, *Potamogeton crispus*, *Phragmites communis* y *Potamogeton crispus*. La remoción de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> Cl<sup>-</sup> y SO<sup>2-</sup> puede llegar al 80% de eficiencia con *Typha spp.*

## **V. CONCLUSIÓN:**

Dado que estos sistemas se han implementado con éxito en diferentes países del mundo para el tratamiento de aguas residuales, especialmente de aguas residuales domésticas, han demostrado la eficiencia de eliminar DBO<sub>5</sub>, demanda química de oxígeno, DQO, nitrógeno, sólidos totales en suspensión, coliformes fecales, etc.

Por lo que, se concluye:

Respecto a los objetivos específicos: Identificar los tipos más comunes de humedales artificiales utilizados para el tratamiento de aguas residuales. En muchos países, los humedales artificiales son el mejor método de gestión para reducir los contaminantes (plaguicidas, fuentes dispersas, escorrentías agrícolas y drenaje). Sin embargo, aún faltan estudios comparativos sobre la eficiencia de depuración de contaminantes y humedales artificiales. Por tanto, es necesario seguir investigando esto. Los tipos de humedales más

comúnmente utilizados son los humedales superficiales y los humedales subterráneos, que se dividen en humedales subterráneos horizontales y humedales subterráneos verticales.

Respecto a los objetivos específicos: Describir las ventajas del tipo de humedal artificial utilizado para el tratamiento de aguas residuales. En términos de costo, tiene diferentes ventajas. Son sistemas de bajo costo, fáciles de operar y con cero costos de energía. Debido a que tiene una vida útil de 25 años, el costo de implementación, operación y mantenimiento es bajo, económico y práctico. La potencia requerida es la mínima. En cuanto al mecanismo de remoción, eliminan nitrógeno, nitrato, nitrito, fósforo, la mayoría de contaminantes no son 100% degradables.

En cuanto al objetivo específico: determinar las plantas más utilizadas en los tipos de humedales artificiales utilizados para el tratamiento de aguas residuales. Las plantas más comúnmente utilizadas en el tipo de humedal artificial se pueden determinar de acuerdo con el porcentaje de remoción del tratamiento de aguas residuales domésticas en el humedal artificial:

-*Typha dominguensis* 93% a 97%

-*Chrysopogon zizanioides* 88% a 90%,

-*Juncus sp* 70% a 80%,

-*Phragmites australis* 68% a 89%,

-*Cyperus papyrus* 50% a 55%.

## **VI. RECOMENDACIONES:**

En referencia al objetivo específico: Identificar los tipos más usados de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Dada la importancia de los humedales artificiales para reducir los contaminantes, se hace necesario recomendar a los futuros interesados en este tema, emprender investigaciones comparativas sobre la eficiencia de purificación de contaminantes y humedales artificiales.

Con relación al objetivo específico: Describir las ventajas de los tipos de

humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. En concordancia con la afirmación de que sigue vigente la discusión científica sobre las ventajas y limitaciones de utilizar sustratos alternativos y sus combinaciones, así como las medidas preventivas tomadas para evitar la obstrucción del sustrato en el humedal. Por lo que, se recomienda a los futuros interesados en este tema, emprender investigaciones experimentales sobre las ventajas y limitaciones de los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.

En cuanto al objetivo específico: Identificar las plantas más utilizadas en los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Se recomienda a los futuros interesados en este tema, investigar las características físicas y químicas, la composición de nutrientes y las especies del hábitat de los humedales.

## REFERENCIAS:

1. ARTEAGA-CORTEZ, Viviana; QUEVEDO-NOLASCO, Abel; DEL VALLE-PANIAGUA, David; CASTRO-POPOCA, Martiniano; BRAVO-VINAJA, Ángel & RAMÍREZ-ZIEROLD, Jorge. Estado del arte: una revisión actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo. *Tecnol. cienc. agua* [online]. 2019, vol.10, n.5, pp.319-343. <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222019000500319&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222019000500319&lng=es&nrm=iso)>. Epub 15-Feb-2020. ISSN 2007-2422. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-12>.
2. ANDRÉS, Ernesto., ARAYA, Felix, VERA, Iván, POZO, Gustavo & VIDAL, Gael. Phosphate removal using zeolite in treatment wetlands under different oxidation-reduction potentials. *Ecological Engineering*. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.03.008> , 117, pp.18-27. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857418300855>
3. CALHEIROS, Cristina, RANGEL, Antonio, & CASTRO, Paula. Constructed wetland systems vegetated with different plants applied to the treatment of tannery wastewater. *Water Research*. 2007. 41(8), pp. 1790–1798. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.01.012> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135407000310> <https://repositorio.ucp.pt/bitstream/10400.14/2829/3/Constructed%20wetland%20systems%20vegetated%20with%20different.PDF>
4. CHENET, Julien Gwendal, SOLORZA MEDINA, Juan David & RAMÍREZ CONTRERAS, David Leonardo. Tratamiento de aguas grises con humedales artificiales en la Universidad EAN.2017. ISBN: 978-958-5467-15-6 <https://www.umb.edu.co/libros-editorial-UMB/analisis-del-recurso-hidrico-universidad-manuela-beltran.pdf#page=77>
5. CLOTER, A., MAZARI, H., & DE ANDA, S. Atlas de la cuenca Lerma Chapala construyendo una visión conjunta. México, DF, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2006. ISBN: 968-817-783-0 <http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/163>
6. COOPER, C., & KNIGHT, S. Insecticide and metal contamination of a mixed cover agricultural watershed. *Water Science and Technology*. 1996. 33(2),

- pp.227-234. [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(96\)00204-1](https://doi.org/10.1016/0273-1223(96)00204-1)  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0273122396002041>
7. COOPER, P. A review of the design and performance of vertical- flow and hybrid reed bed treatment systems. *Water Science and Technology*. 1999. 40(3), pp.1-9. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00414-X](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00414-X)
  8. CORZO, A., SANABRIA, O., & GARCÍA, M. Optimización hidráulica de humedales artificiales de alta tasa de rellenos con medios de soporte plástico. *Memorias de la III Conferencia Panamericana de Sistemas de Humedales para el Tratamiento y Mejoramiento de la calidad del Agua*, Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería Química. 2016. ISBN 978-987-692-122-0  
[https://www.researchgate.net/profile/Henry-Casierra-Martinez/publication/313994951\\_Effect\\_of\\_hydraulic\\_operation\\_mode\\_on\\_removal\\_efficiency\\_of\\_constructed\\_wetlands\\_planted\\_with\\_Cyperus\\_ligularis\\_and\\_Echinochola\\_colonum/links/590bed1d458515b7c61e34ea/Effect-of-hydraulic-operation-mode-on-removal-efficiency-of-constructed-wetlands-planted-with-Cyperus-ligularis-and-Echinochola-colonum.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Henry-Casierra-Martinez/publication/313994951_Effect_of_hydraulic_operation_mode_on_removal_efficiency_of_constructed_wetlands_planted_with_Cyperus_ligularis_and_Echinochola_colonum/links/590bed1d458515b7c61e34ea/Effect-of-hydraulic-operation-mode-on-removal-efficiency-of-constructed-wetlands-planted-with-Cyperus-ligularis-and-Echinochola-colonum.pdf)  
<http://www.fiq.unl.edu.ar>
  9. CRUZ BUSTAMANTE, Laydy Esthefany. Tratamiento de aguas grises domésticas por el sistema de humedales artificiales con el *Nuphar Luteum* en el AA. HH La Rivera– Carabayllo, 2018. 2018. oai:repositorio.ucv.edu.pe:20.500.12692/33978  
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/33978>
  10. CUI, Yuan, XIAO Rong, XIE, Ying & ZHANG, Mingxiang. Phosphorus fraction and phosphate sorption-release characteristics of the wetland sediments in the Yellow River Delta. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 2018. 103, pp.19-27. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2017.06.005>  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706516302996>
  11. EPA, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Guía de diseño y construcción de un humedal construido con flujo subsuperficial. Región 6. Dallas, EUA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. 1993. <https://espanol.epa.gov/>
  12. FOLADORI, Paola, RUABEN, Jenny, & ORTIGARA, Angela. Recirculation or artificial aeration in vertical flow constructed wetlands: A comparative study for

- treating high load wastewater. *Bioresource Technology*. 2013. 49, pp.398-405.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.099>
13. GAO, Yan, ZHANG, Wen, GAO, Bin, JIA, Wen & YANG, Liuyan. Highly efficient removal of nitrogen and phosphorus in an electrolysis-integrated horizontal subsurface-flow constructed wetland amended with biochar. *Water Research*. 2018. 139, pp.301-310. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.04.007>  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135418302914>
14. GE, Yuan, WANG, Xiaochang, ZHENG, Yucong, DZAKPASU, Mawuli, ZHAO, Yaqian & XIONG, Jiaqing. Functions of slags and gravels as substrates in large-scale demonstration constructed wetland systems for polluted river water treatment *Environmental Science and Pollution Research*. Articles not published yet, but available online. 2015. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4573-9>  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-015-4573-9>
15. KADLEC, Robert. H., & WALLACE, Scott. *Treatment wetlands* (2nd ed.). Boca Raton, USA: CRC Press. 2009. ISBN 978-1-56670-526-4  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=hPDqfNRMH6wC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Treatment+wetlands+&ots=k8J29Ub0cV&sig=rAcN29hj4UJpUI9m7EgYxTJ7UHk#v=onepage&q=Treatment%20wetlands&f=false>
16. LAIZA OTINIANO, Jorge Luis Emanuel. Revisión sistemática de estudios realizados sobre reutilización de aguas grises tratadas en viviendas (Trabajo de investigación). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. 2018. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/23513>  
oai:repositorio.upn.edu.pe:11537/23513
17. LATERRA, Pedro, BOOMAN, Gisel, PICONE, Liliana, VIDELA, Cecilia & ORÚE, María. Indicators of nutrient removal efficiency for riverine wetlands in agricultural landscapes of Argentine Pampas. *Journal of Environmental Management*. 2018. 222, pp.148-154. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.070>
18. LLAGAS, CH., WILMER A., & GÓMEZ, A. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del instituto de investigaciones FIGMMG*. 2006. 15(17), pp. 85-96. oai:ojs.csi.unmsm:article/699  
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/699>
19. LLYAS, Huma & MASIH, Llyas. The performance of the intensified constructed wetlands for organic matter and nitrogen removal: A review. *Journal of*

- Environmental Management. 2017. 198(1), pp.372-383.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.098>
20. LUNA-PABELLO, Víctor Manuel & ABURTO-CASTAÑEDA, Sergio. Sistema de humedales artificiales para el control de la eutrofización del lago del Bosque de San Juan de Aragón. 2014. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 17(1):32-55. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenl.cgi?IDARTICULO=49870>
21. MACHADO, A., BERETTA, M., FRAGOSO, R., & DUARTE, E. Overview of the state of the art of constructed wetlands for decentralized wastewater management in Brazil. Journal of Environmental Management. 2017. 187, pp.560-570. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.015>
22. MALCA QUIROZ, Danny René. Determinar el efecto de tecnologías de humedales artificiales como tratamiento de aguas residuales (Trabajo de investigación). 2020. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/24839>
23. MATEO, Nicolás ; NANI, Graciela ; MONTIEL, William; NAKASE, Carlos; SALAZAR, Corelly & SANDOVAL, Luis. "Efecto de canna hibryds en humedales construidos parcialmente saturados para el tratamiento de aguas porcinas". 2019. ISSN 2448 5527. Int. J. Environ. Res. Public Health 2019, 16(23), 4800. <https://doi.org/10.3390/ijerph16234800>
24. MIRANDA, M., & LUNA-PABELLO, V. Estado del arte y perspectivas de aplicación de los humedales artificiales de flujo horizontal en México. Serie Tratamiento Biológica de Aguas Residuales. México, DF, México: Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. 2001.
25. MUÑOZ TELLO, Keyla Madaly & VÁSQUEZ PÉREZ, Milagros. Estudio de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de cinco especies de macrófitas. 2020. <http://hdl.handle.net/11537/23943>
26. MUÑOZ TELLO, Keyla Madaly & VÁSQUEZ PÉREZ, Milagros. Tendencias actuales para el tratamiento de aguas residuales domésticas: Una revisión de la literatura científica. 2019. <http://hdl.handle.net/11537/23046>
27. NOREÑA PEÑA, Ana; ALCARAZ MORENO, Noemí; ROJAS, Juan Guillermo & REBOLLEDO MALPICA, Dinora Margarita. Aplicabilidad de los criterios de rigor

- y éticos en la investigación cualitativa. ISSN 1657-5997, Vol. 12, N°. 3, 2012, pp. 263-274.
28. PAVLINERI, Natalia, SKOULIKIDIS, Nikolaos & TSIHRINTZIS, Vassilios. Constructed floating wetlands: A review of research, design, operation and management aspects, and data meta-analysis. *Chemical Engineering Journal*. 2017. 308, pp.1120-1132. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.09.140>
29. PAZÁN TOLEDO, Adriana Estefanía & TRELLES CALLE, Jorge Steven. Análisis del estado del arte de humedales subsuperficiales de flujo vertical para tratamiento de aguas residuales y lodos de depuradoras. 2018. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8224>
30. QUIMIS GÓMEZ, Alex Joffre & INTRIAGO INTRIAGO, Andy Paúl. Humedal artificial para el tratamiento de aguas grises en las casas de la comunidad de PAN y AGUA, JIPIJAPA 2019. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1882>
31. RAMÍREZ-CARRILLO, H. F., LUNA-PABELLO, V. M., ARREDONDO-FIGUEROA, J. L. Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. *Revista Mexicana de Ingeniería Química [en línea]*. 2009, 8(1), 93-99 [fecha de Consulta 19 de Febrero de 2021]. ISSN: 1665-2738. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62011375008>
32. RAMÍREZ-CARRILLO, H., LUNA-PABELLO, V., & ARREDONDO-FIGUEROA, J. Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la agricultura. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 2009. 8(1), pp.93-99. [fecha de Consulta 2 de Febrero de 2021]. ISSN: 1665-2738. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62011375008>
33. REDDY, K., & D'ANGELO, E. Biogeoquímical indicators to evaluate pollutant removal efficiency in constructed wetlands. *Ciencia y Tecnología del Agua*. 1997. 35(5), pp.1-10. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00046-2](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00046-2)  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0273122397000462>
34. REYES-LUZ, María Ivonne; GUIDO-ZÁRATE, Alejandro; BERNAL-GONZÁLEZ, Marisela; RAMÍREZ-BURGOS, Landy Irene; PADRÓN-LÓPEZ, Rosa Martha; SALGADO-BERNAL, Irina; GENESCÁ-LLONGUERAS, Joan & DURÁN-DE-BAZÚA, Carmen. Remoción de fósforo de aguas residuales en un sistema de humedales artificiales a escala de laboratorio. *Revista Latinoamericana el*

- Ambiente y las Ciencias, 2 (1):76-93, 2011.  
[http://cmas.siu.buap.mx/portal\\_pprd/work/sites/redica/resources/LocalContent/101/1/Reyes-Luz2011.pdf](http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/redica/resources/LocalContent/101/1/Reyes-Luz2011.pdf)
35. RODRÍGUEZ, Celia. Humedales construidos. Estado del arte (II). México. Ingeniería hidráulica y ambiental. 2003. 24(3), pp.42-48. GALE|A146273553  
<https://go.gale.com/ps/anonymous?id=GALE%7CA146273553&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=16800338&p=IFME&sw=w>
36. SEGURA DELGADO, Paul & ROCHA VERA, Wilbert Antony. Eficiencia de remoción de contaminantes de lixiviados generado en un relleno sanitario, mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal a través de la especie macrófita emergente carrizo (*phragmites australis*). 2019.  
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1942>
37. SUÁREZ, Mirta. Producción académica en estudios de la mujer . Revista de Ciencias Sociales (Cr) [en línea]. 2007, II(116), 157-168[fecha de Consulta 13 de Febrero de 2021]. ISSN: 0482-5276. Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15311611>
38. TAYLOR, Steven & BOGDAN, Robert . Introducción a los métodos cualitativos de investigación: La búsqueda de significados. 1ª ed. 1987. Editorial Paidós. 8475098169 -9788475098166, pp.343. ISBN 84-7509-816-9.  
[http://chamilo.cut.edu.mx:8080/chamilo/courses/MODELOSDEINVESTIGACIONII2019III/document/libro\\_metodo\\_de\\_investigacion.pdf](http://chamilo.cut.edu.mx:8080/chamilo/courses/MODELOSDEINVESTIGACIONII2019III/document/libro_metodo_de_investigacion.pdf)
39. TORRES-BOJORGES, Ángeles, ZURITA, Florentina & TEJEDA, Allan. Carbamazepine removal in three pilot-scale hybrid wetlands planted with ornamental species. Ecological Engineering. 2017. 98, pp.410-417.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.04.012>
40. TORRES CALLUPE, Gian Marco. Humedal Artificial Con La Especie *Typha Dominguensis* Para El Tratamiento De Aguas Grises Domésticas, AA.HH. San Benito – Carabayllo, 2017. 2018. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/28338>
41. VALLE COTERA, Jennifer Deborah. Tratamiento De Aguas Grises Mediante El Sistema Acoplado De Humedal Artificial Y Lombrifiltro En La Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017. 2017. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/46704>
42. VYMAZAL, Jan, & BRIX, H. Constructed wetlands for waste treatment in Europe (pp. 1-15). Leiden, Netherlands: Ed. Backhuys Publishers. 1998.

43. VYMAZAL, Jan. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. *Ecological Engineering*. 2005. 25(5), pp.478-490. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.07.010>
44. VYMAZAL, Jan. The use constructed wetlands with horizontal sub- surface flow for various types of wastewater. *Ecological Engineering*. 2009. 35(1), pp.1–17, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.08.016>
45. VYMAZAL, Jan. Constructed wetlands for wastewater treatment: Five decades of experience. *Environmental Science & Technology*. 2011. 45, pp. 61-69. <https://doi.org/10.1021/es101403g>
46. VYMAZAL, Jan. The use of hybrid constructed wetlands for wastewater treatment with special attention to nitrogen removal: A review of a recent development. *Water Research*. 2013. 47, pp.4795- 4811. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.029>
47. VYMAZAL, Jan. Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: A review. *Ecological Engineering*. 2014. 73, pp.724-751. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.034>
48. VYMAZAL, Jan. Constructed wetlands for wastewater treatment. Reference module in Earth Systems and environmental sciences. In: *Encyclopedia of Ecology* , pp.765-776. 2018. ISBN 978 0 444 63768 0. Recuperado de [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=x1h7DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA14&dq=vymazal,+2018.+Constructed+wetlands+for+wastewater+treatment.+&ots=cq-7vKw3Ed&sig=bc1kisW6XNUD75x\\_4XZEC\\_rdO0M#v=onepage&q=vymazal%20C%202018.%20Constructed%20wetlands%20for%20wastewater%20treatment.&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=x1h7DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA14&dq=vymazal,+2018.+Constructed+wetlands+for+wastewater+treatment.+&ots=cq-7vKw3Ed&sig=bc1kisW6XNUD75x_4XZEC_rdO0M#v=onepage&q=vymazal%20C%202018.%20Constructed%20wetlands%20for%20wastewater%20treatment.&f=false)
49. WU, Shubiao, KUSCHK, Peter, BRIX, Hans, VYMAZAL, Jan & DONG, Renjie. Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: A nitrogen and organic matter targeted review. *Water Research*. 2014. 48, pp.40-55. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.03.020>
50. YANG, Y., SHENG, Q., ZHANG, L., KANG, H. Q., & LIU, Y. Desalination of saline farmland drainage water through wetland plants. *Agricultural Water Management*. 2015. 156(7), pp. 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.03.001>

51. YE, Fenxia & LI, Ying. Enhancement of nitrogen removal in towery hybrid constructed wetland to treat domestic wastewater for small rural communities. *Ecological Engineering*. 2009. 35, pp. 1043-1050. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.03.009>
52. Zapata Alfonso, Elis Joanna & Bermúdez Palma, Yenny .Estado del arte de la biodegradación de cianuro en aguas residuales industriales. 2020. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/28192>
53. ZHANG, Zheyun, MOON, Hee, MYNENI, Satish, & JAFFÉ, Peter. Phosphate enhanced abiotic and biotic arsenic mobilization in the wetland rhizosphere. Research article. *Chemosphere*. 2017. 187, pp.130-139. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.096>
54. ZHAO, Zhong, LI, Qiuying & CHEN, Lansun. Effect of rhizosphere dispersal and impulsive input on the growth of wetland plant. *Mathematics and Computers in Simulation*. 2018. 152, pp. 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2018.04.003>

## ANEXOS

	<b>FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO</b>
<p>TITULO: Constructed floating wetlands: a review of research, design, operation and management aspects, and data meta-analysis</p>	
<p>AUTOR (ES): PAVLINERI, Natalia, SKOULIKIDIS, Nikolaos &amp; TSIHRINTZIS, Vassilios.</p>	<p>AÑO DE PUBLICACIÓN: 2017</p>
<p>TIPO DE INVESTIGACION: Revisión Sistemática</p>	<p>PARTICIPANTES:</p>

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CRITERIOS	ANÁLISIS
<p>Identificar los tipos más usados de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.</p>	<p>1 Flujo vertical</p>	<p>Tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular y los rizomas y raíces de las plantas. La profundidad de agua es de entre 0,3 y 0,9 m. se caracterizan por funcionar permanentemente inundados (el agua se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo de la superficie)</p>
	<p>2 Flujo Horizontal</p>	<p>El agua entra por la parte superior a pulsos y circula en sentido vertical atravesando el medio filtrante con las raíces de las plantas y la biopelícula bacteriana adherida. Se instalan tubos de aireación para permitir la entrada de oxígeno al medio filtrante y propiciar la degradación de los contaminantes.</p>
<p>Describir las ventajas de los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.</p>	<p>1</p>	<p>los humedales construidos son sistemas de bajo costo, fácil operación y cero gastos energéticos y funcionales en la eliminación de los diversos contaminantes de aguas residuales.</p>
	<p>2</p>	<p>Los humedales artificiales requieren la menor cantidad de energía para operar</p>
<p>Identificar las plantas más utilizadas en los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.</p>	<p>1 Totora</p>	<p>Especie macrófita emergente <i>Typha dominguensis</i> (totora), es una planta perenne herbácea del género <i>Typha</i>. Descontamina entre un 93% a 97%</p>
	<p>2 Junco</p>	<p>Especie macrófita emergente <i>Junco</i> (<i>Juncus sp</i>), es una planta de la familia de las juncáceas, muy común en la cuenca mediterránea. Descontamina entre un 73% a 79%</p>
		<p>Especie macrófita emergente carrizo (<i>phragmites australis</i>), es una especie de caña del género <i>Phragmites</i> de la familia Poaceae. Descontamina entre un 68% a 89%</p>



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

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

Yo, SERNAQUE AUCCAHUASI FERNANDO ANTONIO docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, asesor del Trabajo de Investigación / Tesis titulada: " REVISIÓN SISTEMÁTICA: TIPOS DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES", del autor ESCAJADILLO MALLMA FRANKLIN FREUND, constató que la investigación cumple con el índice de similitud establecido, y verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender el Trabajo de Investigación / 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, 05 de julio de 2021

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
Sernaque Auccahuasi Fernando Antonio <b>DNI:</b> 07268863 <b>ORCID:</b> 0000-0003-1485-5854	