

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Revisión Sistemática: Aguas Residuales y su tratamiento ecotegnológico con humedales artificiales (CWs) en el sector acuícola

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE: Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Camizán Huamán, Milagros Teresa (ORCID: 0000-0002-3750-2501)

Zapata Matorel Cindy Pamela (ORCID: 0000-0003-0617-3159)

ASESOR:

Mg. Ugarte Alván, Carlos Alfredo (ORCID: 0000-0001-6017-1192)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y gestión de los residuos

LIMA – PERÚ 2022

Dedicatoria

A Dios, por habernos dado salud y fuerzas para alcanzar el objetivo propuesto en estos tiempos difíciles de pandemia. A nuestros amados padres, quienes han sido el pilar más importante de nuestras vidas y siempre nos han brindado aliento, amor, cariño para cada día ser mejores, y a todas las personas especiales en nuestras vidas, quienes con su apoyo moral no nos dejaron rendir en este largo camino.

Agradecimiento

Agradecemos a Dios, por brindarnos salud y fuerzas para continuar a pesar de las adversidades, a nuestra familia por su infinito apoyo incondicional, a nuestro asesor ing. Carlos Ugarte por su cooperación, paciencia y aliento para no desistir durante el trayecto de esta investigación, y a todas las personas importantes para nosotras, por estar presentes cuando más lo necesitábamos.

Índice de contenidos

Ca	aratula	a	i
De	edicat	toria	ii
Αç	grade	cimiento	iii
ĺno	dice d	le tablas	v
ĺno	dice d	le figuras	vi
Re	sume	en	7
Αb	strac	t	viii
l	INT	RODUCCIÓN	1
II	MA	RCO TEÓRICO	4
Ш	ME	TODOLOGÍA	18
;	3.1	Tipo y diseño de la investigación	18
;	3.2	Cualitativo (Categorías, Subcategorías y Matriz de Categorización)	19
,	3.3	Escenario de Estudio	20
,	3.4	Participantes	21
,	3.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	21
,	3.6	Procedimiento	23
,	3.7	Rigor científico	24
;	3.8	Método de análisis de datos	25
,	3.9	Aspectos éticos	26
IV	RE:	SULTADOS Y DISCUSIÓN	27
V	Cor	nclusiones	40
VI	Red	comendaciones	42
RE	FER	ENCIAS	43
ΔΝ	JEXC	0.5	49

Índice de tablas

Tabla N°1: Antecedentes de la investigación	5
Tabla Nº2: Mecanismos de humedales artificiales	14
Tabla N°3: Tipos de CWs	. 14
Tabla N°4: Matriz de categorización apriorística	. 19
Tabla Nº5: Aditivos para un humedal artificial	. 28
Tabla N°6: Tipos de humedales artificiales	. 31
Tabla Nº 7: Tipos de especies vegetativas	37
Tabla Nº 8: Tratamiento de los humedales artificiales en aguas residuales del	
sector acuícola	39

Índice de figuras

Figura N°1: Humedal artificial de flujo superficial	15
Figura N°2: Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal	. 16
Figura N°3: Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical	16
Figura Nº4: Naciones donde se ejecutaron los estudios	27
Figura Nº 5: Especies vegetativas	. 38

Resumen

El objetivo de la investigación es proporcionar una mayor información sobre el uso de humedales artificiales (CWs) en el tratamiento de aguas residuales del sector acuícola. El diseño de la investigación es cualitativo, aborda de forma extensa y total la información que se usará en la indagación para la realización del proyecto, iniciándose en el planteamiento del problema. (Hernández, 2014, p. 470). Se llevó a cabo una revisión sistemática de 25 artículos compilados de los cuales solo se seleccionaron 19 artículos; estos últimos se clasificaron en las categorías: aditivos, tipos de humedales y especies vegetativas, junto a sus subcategorías ya consignadas dentro de la matriz de categorización.

Asimismo, los aditivos principales como fuentes de carbono empleadas para tal escenario son: plásticos biodegradables, mazorcas de maíz, desechos de pescados los cuales optimizan el proceso de desnitrificación generando la eliminación de contaminantes en las aguas residuales acuícolas, entre otros aditivos encontramos a los iones ferrosos. Por otro lado, según la clasificación los humedales artificiales más utilizados son de tipo humedal artificial sub-superficial de flujo horizontal y humedal artificial sub-superficial de flujo vertical puesto que mantienen un medio recomendable para que las bacterias puedan degradar los contaminantes orgánicos. Finalmente, se recomienda que sea trabajado con la especie vegetativa Phragmites australis plantada en los humedales artificiales las cuales son óptimas para la remoción de DQO y fosforo seguida por Typhha latifolia y una mención especial para la Canna indica la cual tiene la propiedad de eliminar nitrógeno y fosforo; teniendo en cuenta que el humedal artificial y la siembra mixta mejorar significativamente la eliminación especies vegetativas contaminantes.

Palabras claves: Humedal artificial, especies vegetativas, aditivos.

Abstract

The objective of the research is to provide more information on the use of artificial wetlands (CWs) in the treatment of wastewater from the aquaculture sector. The research design is qualitative, it addresses in an extensive and total way the information that will be used in the investigation for the realization of the project, starting with the problem statement. (Hernández, 2014, p. 470).

A systematic review of 25 compiled articles was carried out, of which only 19 articles were selected; the latter were classified into the categories: additives, types of wetlands and vegetative species, together with their subcategories already consigned within the categorization matrix.

Likewise, the main additives as carbon sources used for such a scenario are: biodegradable plastics, corn cobs, fish waste which optimize the denitrification process generating the elimination of contaminants in aquaculture wastewater, among other additives we find ions ferrous. On the other hand, according to the classification, the most used artificial wetlands are of the sub-surface artificial wetland with horizontal flow and sub-surface artificial wetland with vertical flow, since they maintain a recommended environment for bacteria to degrade organic pollutants. Finally, it is recommended that it be worked with the vegetative species Phragmites australis planted in the artificial wetlands, which are optimal for the removal of COD and phosphorus, followed by Typhha latifolia and a special mention for Canna indica, which has the property of eliminating nitrogen and match; taking into account that the artificial wetland and the mixed planting of vegetative species significantly improve the removal of pollutants.

Keywords: Artificial wetland, vegetation species, additives.

I INTRODUCCIÓN

El sector acuícola se ha establecido como una industria en continuo desarrollo porque posee beneficios económicos, sociales, ambientales y con alta capacidad para mitigar la hambruna mundial (Huang et al., 2019, p.45). En relación a su producción, se estima que para el año 2050 está contemple los 140 millones de toneladas, lo que vendría a ser aproximadamente el doble de la productividad lograda en el año 2010 (Pham et al., 2021, pag.1).

Sobre todo se ha evidenciado que a fines de los ochenta la producción del sector acuícola presento un aumento del 500%, teniendo en cuenta que la tasa de consumo de pescado incrementó aproximadamente el 3.1% por año entre 1990 y 2018 frente a otros alimentos de origen proteico animal (Jiang et al., 2022, p.1). Asimismo, para el año 2018 se evidencio que la producción en acuicultura genero 82.1 millones de toneladas que equivale al 46% de producción global de peces (Jiang et al., 2022, p.1). Debido a ello, el sector acuícola representa la generación de aguas residuales con altas cantidades de descarga (Huang et al., 2019, p.45) que amenazan con causar severas alteraciones al recurso hídrico y al ambiente en general.

Las aguas residuales generadas por la acuicultura presentan altos contenidos de nutrientes como: nitrógeno y fósforo (Huang et al., 2019, p.45), estos sin un correcto tratamiento antes de la descarga directa, pueden perjudicar la fisiología de organismos acuáticos y también dar origen a la eutrofización (Li Meng et al., 2018, p.247). La eutrofización tiene como consecuencia el desarrollo de plantas acuáticas invasoras, el incremento descontrolado en la reproducción de algas y la disminución significativa de oxígeno en el medio acuático (Maucieri, 2020, p.1).

Por todo lo anterior expuesto líneas arriba, es de suma necesidad realizar el tratamiento previo y adecuado de aguas residuales de la acuicultura. De modo que existe una variedad de tecnologías sobre tratamiento de aguas residuales, por mencionar algunas tenemos: reactores de lotes secuenciales, filtros percoladores, biofiltros sumergidos, contactores biológicos rotativos y reactores de lecho fluidizado. Sin embargo, estas tecnologías convencionales resultan ser costosas,

comprenden alta demanda de energía, implican exigencias para su mantenimiento y no controlan eficientemente la contaminación difusa (Li Meng, et al., 2018, p.142). Es por ello que hoy en día viene siendo un interesante método el tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales, los cuales requieren bajo costo para su implementación, son eficientes y sostenibles con el ambiente (Li Meng et al., 2018, p.248).

Los humedales artificiales (CWs) son considerados como un método de ecotecnología innovadora (Wang Wei et al., 2020, p.1), estos tratan las aguas residuales con procesos naturales en el interior de ambientes controlados (Yang et al., 2018, p.98). Los sistemas de CWs han sido aprovechados en muchos países, las naciones desarrollo tomado ventaja, pero particularmente en han considerándose hoy por hoy con un enfoque exitoso en el uso de CWs (Jizheng et al., 2019, p. 2). De igual modo, es importante señalar que los humedales artificiales se establecen como una tecnología simple mecánicamente pero con complejidad biológica, es decir, sus efectos son en base a la interacción de especies vegetativas, microorganismos y sustratos (Von Ahnen, 2020, p.1).

En el CW hay un alto índice de comunidades microbianas aeróbicas, anaeróbicas y facultativas, dichos microrganismos se fijan a la superficie de las raíces de las plantas y a los componentes de la matriz, cumpliendo la función de depurar las aguas residuales en los humedales (Wang Wei, et al., 2020, p.1) mediante multifacéticos procesos químicos, físicos y biológicos tales como: adsorción, fotolisis, volatilización, absorción, degradación microbiana, aglomeración y exudación de plantas (Huang et al., 2019, p.2).

Por otra parte, los humedales artificiales por su hidrología y dirección de flujo se dividen en: humedales artificiales de flujo superficial (SFCW), humedales artificiales de flujo subterráneo horizontal (HSSF-CW) y humedales artificiales de flujo vertical (VFCW) (Li Meng et al., 2018, p.248); vale decir que la tipología representa al CW en sí, y por ende se mantiene al sistema con que elimina de forma efectiva los componentes orgánicos del agua residual, así como también, minimiza la necesidad del cambio constante del recurso hídrico y aireación intensa en el sector acuícola (Pham et al., 2021, p.2).

Dentro de este marco, se plantea como problema general: ¿Por qué es necesaria la investigación de tratamientos ecotecnológicos para aguas residuales en el sector acuícola? Y como problemas específicos se plantearon los siguientes: ¿Cuáles son los aditivos aplicables para mejorar la eficiencia de un humedal artificial?, ¿Qué tipos de humedales artificiales existen para la eliminación de contaminantes orgánicos en efluentes de acuicultura?, y finalmente ¿Qué especies vegetativas son utilizadas en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales?

Entre tanto, se ha establecido que los humedales artificiales (CWs) están diseñados como un hábitat óptimo que sirve para eliminar los contaminantes de distintas aguas residuales (Zhang et al., 2016, p.221), como: lixiviados de vertederos, aguas residuales domésticas, efluentes ganaderos, agua de drenaje agrícola y aguas residuales de acuicultura (Maucieri, 2020, p.1); es en esta última donde recientemente se ha ampliado su diseño (Zhang et al., 2016, p.221). Es por ello que esta investigación se llevó a cabo con el fin de proporcionar una mayor información sobre el uso de humedales artificiales (CWs) en el tratamiento de aguas residuales del sector acuícola.

De acuerdo a la realidad problemática antes mencionada se plantea el siguiente objetivo principal: Investigar el tratamiento eco tecnológico de los humedales artificiales en aguas residuales del sector acuícola. Mientras que los objetivos específicos son: Determinar los diferentes aditivos contemplados para la mejora de la eficiencia de un humedal artificial; conocer los tipos de humedales artificiales para la eliminación de contaminantes orgánicos en efluentes acuícolas y por último identificar las especies vegetativas utilizadas en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.

II MARCO TEÓRICO

El presente trabajo de investigación tiene información obtenida de la base datos: Sciencedirect, Springer. Asimismo, dicha información está comprendida en un periodo de referencia desde 2016 hacia 2022. A continuación, en la tabla Nº1 se procederá a desarrollar los antecedentes de la investigación.

Tabla N°1: Antecedentes de la investigación

Nº	Autor	Año	Humedal artificial	Metodología/Descripción	Tratamiento Efluentes de Agua Residual	Parámetros de uso	Resultados
1	Huang, Xiang-feng, et al.	2019	CW Flujo Subterráneo Horizontal	Se construyeron 04 humedales artificiales a escala piloto (S1, S2, M1 y M2) con dos especies de plantas (Iris pseudacoro y Phragmites australis) y en diferentes patrones de cultivo individual y mixtos. S1 y S2 plantados con una sola especie mientras que M1 y M2 plantados con dos especies	Contaminantes orgánicos, antibióticos y genes de resistencia a antibióticos	Nitrógeno Enrofloxacina (ENR) Sulfametoxazol (SMZ) ARG	Eliminación de N: 73.24%- 91.46% y 61.20%-92.27% Eliminación de ENR, SMZ y ARG en S1: 77.64%, 68.70% y 58.21% S2:81.11%,64.94% y 56.26%. La siembra mixta mejor la eliminación de efluentes
2	Zhimiao, Zhao, et al.	2019	Reactores CW	Se instalaron 39 reactores que usaron al camarón (sedimento) para adaptar los microorganismos en los CW. Al sistema se añadieron variadas dosis de iones de hierro en diferentes HRT y con especies de plantas: P1(Canna Indica), P2(Acorus calamo) y P3(Lythrum salicaria)	Contaminantes orgánicos	Nitrógeno total (TN) Fósforo total (TP) Demanda química de oxígeno (DQO)	La especie vegetativa P1 presento mayor rendimiento de eliminación de contaminantes orgánicos Dosis optima de ion ferroso (20 mg/L) mejoro la eficiencia de eliminación de TN,TP y DQO: 95+- 1.9%, 77+-1.2% y 62+-2%

3	Von Ahnen, Mathis; Pedersen, Per Bovbjerg; Dalsgaard, Johanne	2020	Flujo superficial libre	El humedal constaba de dos corrientes separadas con salida común, la primera con efluentes ricos en nitrógeno y la segunda con efluentes ricos en carbono (desechos de pescado). Ambas corrientes se mezclaron en un lateral durante un periodo de 11 semanas para optimizar la eliminación de nitrógeno.	Contaminantes orgánicos	Nitrógeno total (TN) Fósforo total (TP) Demanda química de oxígeno (DQO)	La tasa de eliminación de NT basada en el área total del CW aumentó desde 1,4 ± 0,2 a 3,9 ± 0,8 g/m2/dLa La desnitrificación puede mejorarse combinando efluentes ricos en nitrógeno y a base de lodos en proporciones adecuadas.
4	LIANG, Yinxiu, et al.	2017	CW Flujo Subterráneo Horizontal y CW vertical *botellas hidropónicas	Se realizaron tres experimentos, en el E1 se instalaron 12 mesocosmos, en el E2, 15 mesocosmos y para el E3, 30 sistemas hidropónicos utilizando las plantas Phragmites australis (P. australis), Typha orientalis (T. orientalis), Vetiveria zizanioides (V. zizanioides) y Canna indica (C. indica), en condiciones salinidad de 7 mS/cm, desde 7 a 30 mS/cm respectivamente.	Contaminantes orgánicos, nitratos, sulfuros. *Sales inorgánicas	Nitrógeno total (TN) Fosforo total (TP) Nitrógeno del nitrato (NO3 – N) Amonio (NH4 – N) Salinidad	Canna indica mostró la mayor eficiencia en eliminación entre las cuatro especies probadas para nitrógeno (N) (aprox.100 %) y aprox. 100 % y 93,8 % para fósforo (P) con cargas de afluentes bajas y altas, respectivamente a una conductividad eléctrica (CE) de 7 mS/cm (25 -C)

5	LI, Meng, et al.	2018	CW Flujo Subterráneo	Experimento de 78 días usó cinco sistemas de CW piloto por triplicado, incluían un barril y tres tanques cuadrados. Salicornia bigelovii fue la planta utilizada pasando por aclimatación a sal un total de 30 días y así adaptarse a la salinidad de la cría de peces antes de ser plantados en el CW. Las aguas residuales artificiales se prepararon con alimentos no consumidos y heces recolectadas de un RAS de salmón.	Contaminantes orgánicos	Nitrógeno amónico total (TAN) Nitrito (NO-2-N) Nitrato de nitrógeno (NO 3- N) Nitrógeno total (TN) Demanda química de oxígeno (DQO).	CW con Salicornia eficiente para eliminar N y materias orgánicas en un 174.0 a 603.6 mg.m-2 y DQO de 501.9 a 1421.6 mg.m-2. UA y DA son buenos indicadores potenciales para evaluar el desempeño de CW con Salicornia en el tratamiento de aguas residuales, tienen una correlación negativa con 6las concentraciones de TAN y TN, pero una correlación positiva con la concentración de DQO.
6	Yuan, Yingrui, et al.	2020	CW Flujo vertical (VFCW)	Se diseñaron tres VFCW paralelos con tamaños idénticos, incluyendo cinco sustratos: zeolita (CW-Z), mineral de manganeso (CW-M), bicarbón (CW-C) al experimento oscilando entre 7 y 10 cm, 8 y 10 mm, 4 y 8 mm finalmente 2 y 4 mm respectivamente. Empaquetándose con adoquines y arena de cuarzo para aislar los sustratos del suelo y dividiéndose en dos etapas para ver la remoción de contaminantes	Contaminantes orgánicos, antibióticos	Nitrógeno total (TN) Demanda química de oxígeno (DQO) Amonio (NH4-N) clorhidrato de ciprofloxacina (CIPH) sulfametacina (SMZ)	CW-M tenía un potencial significativo para eliminar CIPH (93 %), SMZ (69 %), TN (71 %), NH + 4 -N (94%) y NO – 3 -N (94%) en todos los tratamientos. CW-C inhibió la producción de genes de resistencia a quinolonas. El Mn es potencial para eliminar los antibióticos y el N.

7	LI, Meng, et al.	2018	CW de flujo subsuperficial vertical	Se realizaron dos experimentos en 72 días, en el E1 son 6 sistemas con 18 microcosmos y E2 este último con una salinidad entre (15 y 36). Se utilizó 12 Salicornia bigelovii, actividad enzimática del sustrato (EA): ureasa (UA), deshidrogenasa (DA), proteasa (PrA) y fosfatasa (PA) y aguas residuales de alimentos no consumidos y heces recolectadas de salmón RAS.	Contaminantes orgánicos	Nitrógeno (N) Fósforo (P)	El aumento de las tasas de carga de nitrógeno amoniacal tuvo efectos positivos en la de eliminación de nitrógeno En comparación con la salinidad baja (15 y 22), los niveles de salinidad alta (29 y 36) mejoraron las tasas de eliminación de nutrientes, DA y UA, pero debilitaron PA y PrA
8	JIZHEN G, Pan, et al.	2019	CW de flujo subsuperficial vertical de aireación artificial (AVFCW) CW de flujo subterráneo horizontal (HFCW) Pretratamiento de oxidación por contacto biótico (BCO)*	Humedales artificiales integrados de aireación (AAICW) a escala piloto. El agua residual pasa por el (BCO) y después por el (AVFCW). Se emplearon dos grupos de CW con y sin aireación. Las muestras se recolectaron a varias alturas (20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm, 100 cm y 120 cm) en todo el experimento.	Contaminantes orgánicos	Nitrógeno total (TN) Fósforo total (TP) Demanda química de oxígeno (DQO) Amoniaco	La aplicación del CW, se logró un total de 64,97 % de remoción de TN con un flujo de entrada promedio de 11,39 mg/L. Otro análisis mostró que las contribuciones de BCO, AVFCW y HFCW a la eliminación de NT fueron 13,86%, 15,97% y 35,36%, respectivamente. 75% de eliminación de amoniaco.

9	PULKKINEN, Jani T., et al.	2021	CW de flujo vertical	Se construyó un WB (Biorreactor de astillas de madera) de flujo subterráneo horizontal, seguido de un humedal artificial de flujo vertical (CW) y un filtro de arena (SF) con una capacidad incluye el tratamiento de efluentes RAS (desbordamiento y sobrenadante de lodos) utilizando también infiltración de arena	Contaminantes orgánicos	Nitrato (NO3) Fósforo (P)	WB elimina el 97 % del nitrato. El 79 % y el 92 % de la concentración de fosfato de entrada se eliminaron en el biorreactor de astillas de madera y en todo el campo de tratamiento híbrido, respectivamente. El humedal y el filtro de arena eliminaron suficiente materia orgánica (35 %)
10	MAUCIERI, Carmelo; SALVATO, Michela; BORIN, Maurizio.	2020	CW de flujo subsuperficial	Se experimentó con cinco especies: T. latifolia, P. aundinacea, C. elata, J. efusus y P.australis; y un testigo sin plantas con 4 repeticiones cada uno para un total de 24 tanques. Los tanques tenían 50 × 40 × 29 cm de largo, ancho y alto respectivamente con un grifo en la base para recolectar muestras de agua.	Contaminantes orgánicos	Fósforo (P) Fosfato (PO4-P)	T. latifolia eficiente para eliminar PO4-P de las aguas residuales pudiendo eliminar más de PO4-P carga (1,5 veces); P. aundinacea como otra solución posible capaz de eliminar alrededor del 86% de PO4-P carga.

11	LI, Meng, et al.	2020	Humedal Flujo Vertical (VFCW)	Se construyeron dos humedales artificiales con plantas de Iris Pseudacoro para la eliminación de nitrógeno, ambos usaron fuentes de azufre como sustrato: azufre elemental (S) y pirita (FeS2). El primer CW uso S (S-CW) y el segundo (P-CW). El monitoreo de la remoción N se llevó a cabo bajo distintos tiempos de retención hidráulica (THR) y temperaturas	Contaminantes orgánicos e inorgánicos	Nitrógeno(N) Nitrógeno inorgánico total (TIN)	S-CW: 63.5% al 84.8% / P-CW: 0% al 27.9%. El humedal S-CW fue más eficiente en la eliminación de N y TIN. A diferentes THR no existieron diferencias para la eliminación de nitrógeno. A bajas temperaturas la eliminación de N disminuía y la especie vegetativa tuvo efectos en brotes y raíces con respecto al color por el N, S, P
12	HANG, Thi Thu, et al.	2021	Humedal de flujo subterráneo horizontal (HSSF)	El humedal artificial con especie vegetativa Scirpus littoralis fue construido de la mano con un sistema de recirculación para cría de camarones, el CW constaba de una serie de compartimientos con diferentes sustratos, los cuales purificaron el agua en relación a la eliminación de contaminantes orgánicos	Contaminantes orgánicos	Nitrógeno Fosforo DQO Nitrito Nitrato	NO ₂ -: >99% de eliminación NO ₃ : 82%-99% de eliminación DQO: 90.5+- 36.4mg/L P: 31% de eliminación La integración de un CW en un SR para la cría de camarones resulto con un impacto positivo para la disminución de contaminantes del agua

13	LIN, Chien Jung, et al.	2020	Humedal de flujo subterráneo horizontal (HSSF)	El estudio implementó un CW con especie vegetativa Hydrocotyle verticillata plantada en los lechos de grava, y con estrategias innovadoras para la mejora de la eliminación de contaminantes, tales como: aireación frontal de tanque y recirculación interna (FAIR)	Contaminantes orgánicos	DBO Nitrógeno Kjeldahl total (TKN) Amoniaco (NH₃-N) Nitrógeno total (TN) Fosforo total (TP)	El sistema FAIR aumento la eficiencia en la remoción de contaminantes DBO: 53,8 a 76,0% a 82,0 a 91,7 % NH ₃ -N: 15,1 a 78,3 % a 98,5 a 98,6 % TKN: 93,5 a 94,3 % - TN: 71.6% TP: No existió mejora en su eliminación
14	LOPARDO, Cristina R., et al.	2019	Humedal de flujo vertical (VFTW) y un humedal flotante (FTW)	Se diseñaron 4 mesocosmos de humedal artificial con especie vegetativa Spartina patena y se implementó plástico biodegradable (policaprolactona) como fuente externa de carbono en dos de ellos para mejorar la eficacia en la eliminación de contaminantes, y los otros dos mesocosmos restantes tenían biorreactores vacíos como control	Contaminantes orgánicos	Nitrógeno Fosforo total	Nitrógeno: la aplicación de plástico biodegradable mejoro la eliminación en un 14% mediante la desnitrificación. En VFTW hubo retención de nitrógeno con más de 87-91% mientras que en FTW no hubo retención. Fosforo: En VFTW (74-81% de retención) y en FTW (17-40% de retención). Aquello es indiferente a la presencia de plástico biodegradable.

Respecto a las bases teóricas que guardan relación con el trabajo de investigación, se contemplan las siguientes definiciones: la acuicultura se define como la actividad de cultivar organismos acuáticos, como peces o crustáceos en cuerpos de agua con naturaleza dulce o salada y empleando métodos específicos para masificar su producción, inclusive superando la capacidad natural del ambiente (Gorito et al., 2022, p.2). Los sistemas acuícolas producen constantemente extensos volúmenes de desechos que son descargados de forma directa en los medios acuáticos naturales (Sotelo, 2021, p.7), a través de la generación de sus aguas residuales. Por consiguiente, las aguas residuales se definen como la composición de efluentes originados a partir de las múltiples actividades del hombre, estas son descargadas sin un previo y adecuado tratamiento provocando alteraciones negativas al ambiente y a la salud del ser humano (Muñoz, 2020, p.12).

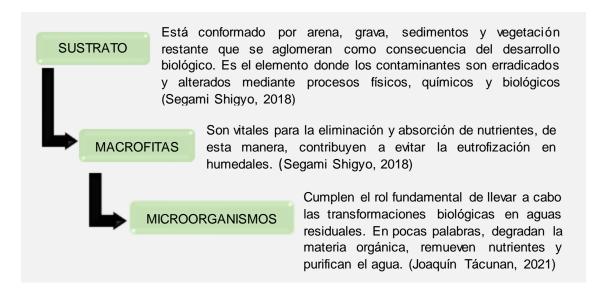
De acuerdo a lo mencionado anteriormente sobre aguas residuales, en acuicultura la mayoría de las investigaciones que estudian los impactos ambientales del sector en mención, revelan que los principales efluentes generados por la actividad metabólica de las especies acuáticas y que son causantes de la eutrofización, son el nitrógeno y el fósforo (Gorito et al., 2022, p.2). El nitrógeno se puede presentar en nitritos o nitratos, mientras que el fósforo se establece como fósforo total (Muñoz, 2020, p.13). Con relación a los efluentes de la actividad acuícola que tienen la capacidad de producir impactos al ambiente, es importante tomar en cuenta medidas preventivas ecológicas con la finalidad de establecer patrones de sostenibilidad más universales (Gorito et al., 2022, p.2); por ejemplo la implementación de humedales artificiales.

Los humedales artificiales se definen como una técnica natural para el tratamiento de aguas residuales, su aplicación resulta ser económica, ecotecnológica y biológica; asimismo, están diseñados con el propósito de simular los procesos de humedales naturales y son considerados como una excelente opción para el tratamiento de aguas residuales (Muñoz, 2020, p.14). Además, los humedales artificiales son sistemas conformados por zonas que están cubiertas de agua con plantas palustres previamente sembradas y que además son comunes en áreas húmedas, tales como: totoras, bambús y juncos; la vegetación forma parte de la

interacción entre el agua, sustratos y microorganismos que son elementos para la operación de los humedales artificiales (Estopá, 2018, p.20).

La interacción de los elementos se desarrolla mediante procesos físicos, químicos y biológicos; por ejemplo, el recurso hídrico fluye lentamente dando lugar al proceso de filtración-sedimentación para que posteriormente la materia orgánica sea tratada por las especies vegetativas al momento de absorber nutrientes o de lo contrario, sea descompuesta por los microorganimos presentes, lo que finalmente es causante de la minimización de contaminantes y mejoría de la calidad del recurso hídrico (Joaquín, 2021, p.24).

A continuación, se describen los elementos que generalmente componen un humedal artificial:



Teniendo en cuenta el párrafo anterior, el funcionamiento de los humedales artificiales precisamente inicia con:

A) la circulación del agua a tratar por medio de una tubería de entrada donde el recurso hídrico fluye a través de la fijación de la capa bacteriana, esta tiene el rol de eliminar los contaminantes que se encuentran en el agua destinada a tratamiento. B) Después de ello, viene la oxigenación del sustrato debido a la actuación de la comunidad vegetativa conformada por macrofitas emergentes; al mismo tiempo es importante mencionar que los humedales artificiales deben contar con una lámina impermeable que impida la trayectoria del agua hacia áreas no deseadas y también prevenga infiltraciones, por lo cual el material tendrá que estar

alrededor del sustrato. C) Por último, el recurso hídrico ingresa a una tubería de salida para posteriormente obtener el agua ya tratada libre de contaminantes (Arce Cardona, 2018, p.23).

De acuerdo con el funcionamiento, en la tabla N°2 se determinan los mecanismos que los humedales artificiales poseen para conseguir el tratamiento de aguas residuales.

Tabla N°2: Mecanismos de Humedales Artificiales

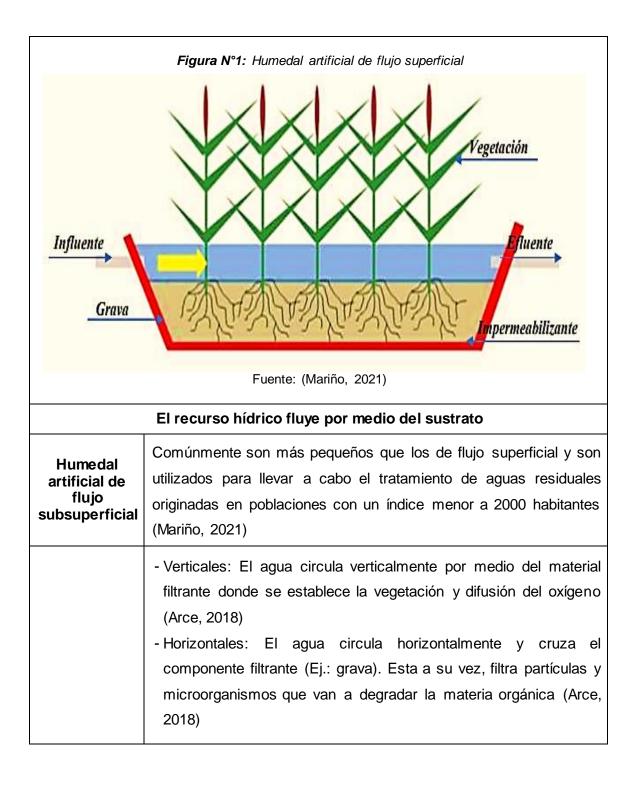
Mecanismo	Efectos del Tratamiento en Aguas Residuales
Filtración: sucede entre sustrato y raíces	Eliminación de solidos suspendidos
Proceso de nitrificación-desnitrificación: actividad vegetativa junto a la acción microbiológica	Eliminación de nitrógeno
Bacterias-microorganismos	Eliminación de materia
Proceso de adsorción: frente a los componentes del sustrato	Eliminación de fosforo
Proceso de adsorción: ante partículas componentes del sustrato	Eliminación de agentes infecciosos (patógenos)

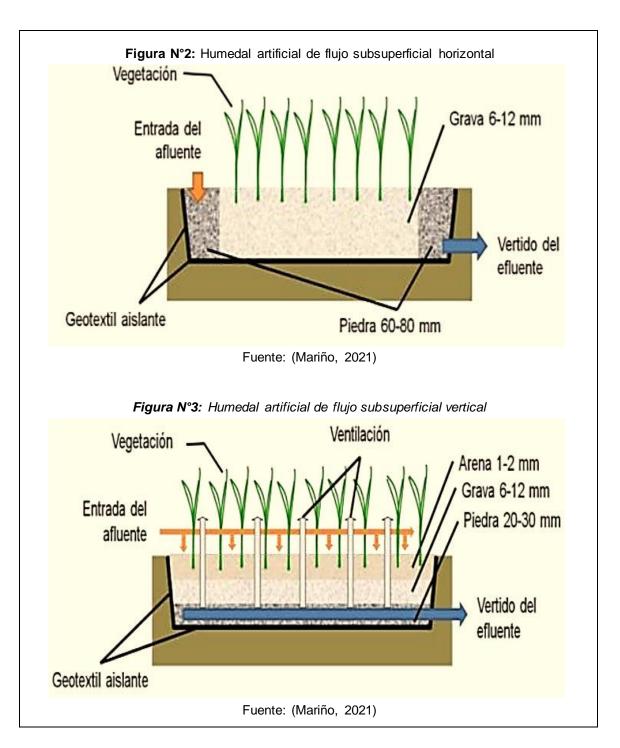
Fuente: Arce Cardona. Humedales Artificiales Una Alternativa Para Tratamiento De Aguas De Producción.2018

Por otro lado, en la operación de los humedales artificiales, los aspectos hidrológicos igualmente juegan un rol fundamental, ya que en relación a la dirección del flujo de agua residual existen tipos de humedales artificiales, los cuales se muestran en la tabla N°3.

Tabla N°3: Tipos de CWs

Humedales artificiales de flujo superficial El recurso hídrico fluye por encima del sustrato constantemente. A causa del agua expuesta de forma directa a la atmosfera, se benefician las condiciones anaerobias. Este tipo de humedal se usa para depurar efluentes de tratamientos secundarios y para recuperar ecosistemas acuáticos. (Mariño, 2021)





Otro de los aspectos fundamentales en el funcionamiento de los humedales artificiales, es la vegetación seleccionada para su implementación. Con esto se quiere decir que existe una gran diversidad de especies vegetativas que se emplean para el tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales, pero dependiendo del tipo de humedal construido la vegetación se clasifica en tres grupos: flotantes, sumergidas y emergentes (Muñoz, 2020, p.15).

En el grupo de las plantas flotantes que tienen todo el cuerpo flotando total o parcialmente en el agua, podemos encontrar a la Azolla Filiculoides, Eichhornia crassipes, Chrysopogon zizanoides. En segundo lugar tenemos las plantas sumergidas que resultan con su cuerpo inmerso en el agua, enraizadas al sustrato pero sus hojas o flores están flotando en la superficie, entre las cuales tenemos al Ceratophyllum demersum, Egeria densa, Potamogeton linguatus. Y para terminar están las plantas emergentes, que tienen la mayor parte de su cuerpo fuera del agua, sin embargo, sus raíces, hojas y parte del tallo está sumergida; podemos encontrar al Alisma lanceolatum, Canna lily, Colocasia esculenta, Phragmites australis, Typha dominguensis, Juncus sp (Muñoz, 2020, p.15). En efecto los tres grupos de especies vegetativas son las indicadas para humedales artificiales de flujo superficial, aunque para los humedales de flujo subsuperficial, solo las plantas emergentes son seleccionadas para la construcción del mismo (Muñoz, 2020, p.15).

En líneas generales, los humedales artificiales se construyen teniendo en cuenta distintos aspectos o elementos fundamentales para su operación, proporcionando sin lugar a dudas una serie de ventajas con lo que respecta al tratamiento de aguas residuales. Un ejemplo de estas son: simplicidad operativa, demanda energética casi nula, la operación y mantenimiento es económica, escasa producción de olores, capacidad de aprovechar biomasa vegetal originada, optima interrelación con el ambiente, entre otras (Estopá, 2018, p.22).

También, es importante mencionar que la capacidad de eliminación de contaminantes en los humedales artificiales dependen de los diferentes criterios de diseño, tales como: especies vegetativas, tipos de flujo, la duración de retención hidráulica (Huang, et al., 2019, p.2).

Asimismo, es posible mejorar la eficiencia de eliminación combinando diversas tecnologías o añadiendo al sistema de humedales artificiales diversos aditivos existentes (Pavlineri, 2017, p.6) como: iones ferrosos, astillas de madera, fuentes de azufre, fuentes de carbono, plástico biodegradable, entre otros.

III METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de la investigación

El tipo de investigación es aplicada, nombrada además "utilitaria" en ella existe una problemática la cual requiere una solución rápida. (Baena, 2017, p. 17). Su objetivo es investigar un problema y aportar nuevos datos que puedan ser usados de forma teórica, de igual modo, la investigación aplicada puede recopilar y utilizar información o data ya existente, cuya finalidad es la resolución de las necesidades sociales y del hombre. (Baena, 2017, p. 18). La investigación tipo aplicada tiene como propiedad utilizar información o conocimientos y trasladarlos de forma experimental contribuyendo a la resolución de problemas sociales. (Baena, 2014, p.11).

El proyecto de investigación es aplicada porque pretende brindar información a futuros estudios que deseen investigar sobre el tratamiento ecotecnológico de aguas residuales del sector acuícola empleando humedales artificiales fomentando el uso de tecnologías eco amigables y sostenible con el ambiente. Este proyecto contempla información de diferentes investigaciones cuya finalidad es beneficiar al conocimiento del hombre. El diseño de la investigación es cualitativo, aborda de forma extensa y total la información que se usará en la indagación para la realización del proyecto, iniciándose en el planteamiento del problema. (Hernández, 2014, p. 470).

El diseño cualitativo narrativo, ayuda a entender la línea de acontecimientos por medio de la narración experimental de personas o autores que ya han investigado tratando de deducir y comprender la problemática. (Hernández, 2014, p. 487). Primero se realiza una compilación de datos de experiencias según la problemática, luego se articula toda la información en una narrativa y por último se realiza una línea de hechos generales. (Hernández, 2014, p. 488).

Finalmente, este proyecto de investigación es cualitativo porque empleará información de diversas fuentes y sus respectivos autores quienes han experimentado el tratamiento de aguas residuales de acuicultura utilizando humedales artificiales.

Y narrativo, ya que se efectuará una compilación de diversas investigaciones para luego estructurar la información y de este modo explicar el uso de humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales del sector acuícola.

3.2 Cualitativo (Categorías, Subcategorías y Matriz de Categorización)

Tabla N°4: Matriz de Categorización Apriorística

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	UNIDADES DE ANÁLISIS
Determinar los diferentes aditivos contemplados para la mejora de la eficiencia de un humedal artificial	¿Cuáles son los aditivos aplicables para mejorar la eficiencia de un humedal artificial?	Aditivos para eficiencia de un CW	-lones ferrosos -lnoculo microbiano -Fuentes de carbono: mazorcas de maíz, desechos de pescado, plástico biodegradable	(Wang Xinyi, et al., 2020) (Zhimiao, et al., 2019) (Von Ahnen, 2020) (Li Meng; Sun Linlin, 2019) (Lopardo et al., 2019)
Conocer los tipos de humedales artificiales para la eliminación de contaminantes orgánicos en efluentes acuícolas	¿Qué tipos de humedales artificiales para la eliminación de contaminantes orgánicos de efluentes en la acuicultura?	Tipos de humedales artificiales	-Humedales artificiales de flujo superficial (SFCW) -Humedales artificiales de flujo subterráneo horizontal (HSSF-CW) -Humedales artificiales de flujo vertical (VFCW)	(Li, Meng, et al. 2018) (Huang, Xiang-Feng, et al., 2019) (Von Ahneen, Matihs; Pedersen, Per Bovbjerg; Dalsgaard, Johanne, 2020)

Identificar las especies vegetativas utilizadas en humedales artificiales para el tratamiento aguas residuales	¿Qué especies vegetativas son utilizadas en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales?	Especies vegetativas	-Canna indica -Iris pseudacoro -Phragmites australis -Tipha orientalis -Thragmites communis	(Wang, Xinyi, et al., 2020) (Huang, Xiang-Feng, et al., 2019) (Zhimiao, Zhao, et al., 2019) (Yuan, Yingrui, et al., 2020)
--	--	-------------------------	---	---

En la tabla N°4 se presenta la matriz de categorización apriorística dividida en cinco columnas, las cuales detallan de forma concisa los objetivos específicos, problemas específicos, y estos se enuncian con el respaldo de las categorías y subcategorías siendo ordenados en unidades de análisis que se llevarán a cabo.

En las categorías se indica los aditivos para eficiencia del CW, teniendo como subcategoría a los iones ferrosos, astillas de maderas, fuentes de carbono como mazorcas de maíz y sus respectivas unidades de análisis. A su vez se muestra la categoría tipo de CW, y su subcategoría, humedales artificiales de flujo superficial (SFCW), humedales artificiales de flujo subterráneo horizontal (HSSF-CW), humedales artificiales de flujo vertical (VFCW) con sus unidades de análisis. Finalmente, se expresa la categoría especies vegetativas, y las subcategorías canna indica, iris pseudacoro, phragmites australis, tipha orientalis, thragmites communis para identificar cuales especies son usadas en el tratamiento de aguas residuales acuícolas con sus referidas unidades de análisis.

3.3 Escenario de Estudio

El escenario se define como el sitio, lugar o contexto donde ocurren las investigaciones o experimentos a analizar. (Sánchez, Reyes y Mejía, 2018, p. 62). La presente investigación no comprende un escenario de estudio definido, debido a que esta investigación se basa en una revisión sistemática.

3.4 Participantes

Para la presente investigación se averiguó información en las siguientes revistas electrónicas: Environment International, Ecological Engineering, Bioresource Technology, Chemosphere, Aquaculture, Science of the total environment, Marine Pollution Bulletin, Technology & Innovation, Environmental Aquacultural Engineering, Journal of environmental management, Environmental Science and Pollution Research, Chemical Engineering Journal, Journal of Cleaner Production. Posteriormente los repositorios o base de datos donde se obtuvieron los artículos son los siguientes: Scient direct y Springer link. Las revistas electrónicas más significativas para realizar este proyecto son: Environment International, Ecological Engineering, Aquaculture, Aquaculture Engineering, Science of the total environment.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

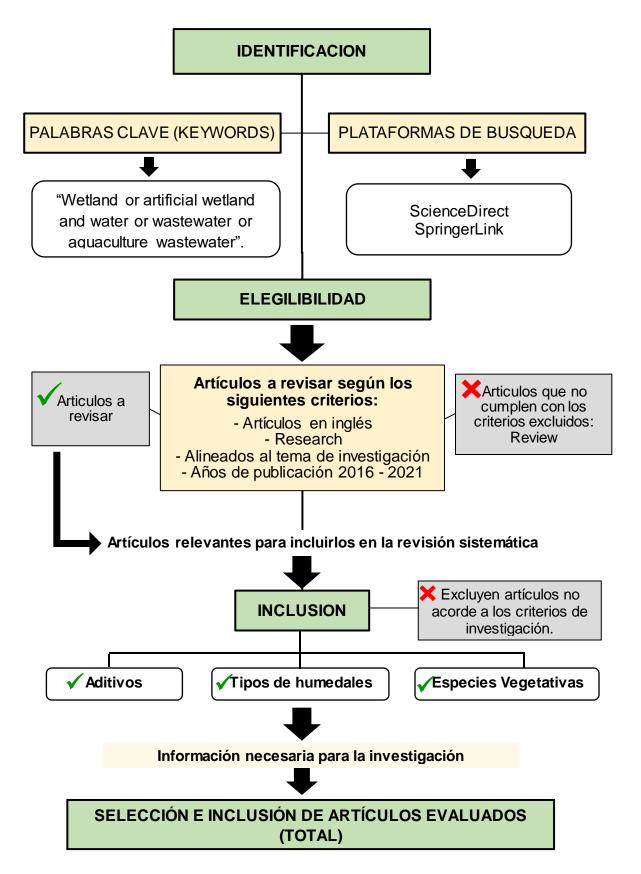
Según Sánchez, Reyes y Mejía, (2018) el significado de técnica es un medio o instrumento que permite realizar un método. Por ejemplo la observación, entrevista, análisis de contenidos, grupos focales en el caso de la técnica cualitativa. Por otra parte, técnicas de recolección de datos son medios manejados para compilar datos o información según las investigaciones, estas pueden ser entrevistas y observaciones como también cuestionarios, escalas, test, inventarios. (p. 120). Según Vásquez, (2020) otra definición, es la forma que maneja el investigador para recolectar información. Por consiguiente para poder seleccionar la técnica es necesaria la definición del problema, las características de las unidades de análisis, naturaleza, variables y recursos. (p.59).

Por otro lado el análisis documental es una fuente de recolección de información donde no existen intermediarios y ya se encuentra registrada, documentada, recopilada y clasificada; esta se encuentra en libros, periódicos, revistas físicas o electrónicas, páginas web, archivos, informes, artículos, entre otras. (Vásquez, 2020, p. 86).

En la presente investigación se usa como técnica e instrumento el análisis documental, puesto que como investigadores elegimos y usamos la información, estudiándola, verificando su autenticidad, generando una crítica y validez. (Vásquez, 2020, p. 87). Asimismo se adquirirá la información dependiendo de la investigación y documentación de los diversos autores o fuentes científicas de acuerdo al tema del proyecto.

En el anexo 1, se encuentra la ficha de recolección de datos del proyecto de investigación y está compuesta por: título, nombre de revista, año y país de publicación, DOI del artículo, autores, palabras clave del artículo, tipo de aditivo, humedal y especies vegetativas usadas para mejorar la eficiencia del humedal artificial en el tratamiento de aguas residuales acuícolas, resultados y conclusiones.

3.6 Procedimiento



El procedimiento se efectúo de la siguiente forma, las palabras claves o keywords usadas para la búsqueda de artículos e información son las siguientes: Wetland or artificial wetland and water or wastewater or aquaculture wastewater. Por consiguiente se revisaron artículos aplicando los criterios (artículos en inglés, research, alineados a la investigación y el margen de año de publicación entre 2016 y 2022) excluyendo aquellos que no cumplan con los requisitos, como también en caso de ser reviews. Los artículos relevantes son revisados según los datos necesarios para el proyecto de investigación como aditivos, tipos de humedales y especies vegetativas aplicadas para mejorar la eficiencia en la remoción de contaminantes de efluentes acuícolas. Sobre todo los artículos que cumplen con los criterios de inclusión y selección, se estudiaron, examinaron y consideraron para la sustentación en el proyecto de investigación.

3.7 Rigor científico

Dependencia: Referida a la confiabilidad por la seguridad de los resultados; es decir, el estudio realizado por diferentes investigadores al ser recolectados genera información y resultados similares, por ende se le denomina "consistencia de los resultados" (Hernández, 2014, p. 453). Para una óptima dependencia es necesario: evadir opiniones propias como investigadores en la interpretación de resultados, examinar correctamente toda la información y después forjar las debidas conclusiones. (Hernández, 2014, p. 454). Por tal motivo, en el presente proyecto se selecciona y compila diversos datos necesarios sobre humedales artificiales así como aditivos que mejoran su eficiencia de eliminación y también los tipos, elementos considerados para el funcionamiento del sistema (CW).

Credibilidad: Es la "validez" de la investigación. El investigador debe recolectar la información experimental completa y alineada según el planteamiento del problema, a su vez transmitirla de forma congruente y con precisión. (Hernández, 2014, p. 455). Además, se define a la credibilidad como la relación entre la percepción del participante frente a la problemática, y la capacidad del investigador de retratar la información dada por el participante. (Hernández, 2014, p. 456).

Con respecto al proyecto, la credibilidad se basa en artículos donde se ha experimentado la aplicación de humedales artificiales teniendo en cuenta los tipos, diversos aditivos y especies vegetativas cuya finalidad es la remoción de contaminantes orgánicos.

Transferencia: El investigador transfiere posibles soluciones a otro contexto, situación o problemática. La transferencia es la determinación de la semejanza entre el contenido investigado y otros contenidos, siendo necesaria la variedad de resultados. (Hernández, 2014, p. 458). En relación a la investigación que contempla el proyecto, esta consigue similitud con otras investigaciones sobre la variedad de estudios y experimentos respecto al tratamiento de los humedales artificiales, creando una interpretación de la información en su conjunto.

Confirmación: Está enlazada a la credibilidad, y su significado es generar confianza sobre los datos recolectados, analizados e interpretados por los investigadores, buscando demostrar la veracidad de los mismos, considerando las fuentes. (Hernández, 2014, p.459). El proyecto involucra investigadores con sus respectivos estudios sobre el uso de humedales artificiales. La investigación tiene como base experimentos de otros autores, sumado a ello los artículos han sido publicados en revistas científicas confirmando los datos recolectados.

3.8 Método de análisis de datos

Respecto al análisis de la información obtenida, se estudiarán bajo tres criterios por cada categoría, siendo i) aditivos, ii) tipos de humedales, iii) especies vegetativas. Cada una de las mencionadas tiene subcategorías detalladas en la matriz de categorización apriorística (Tabla N° 4). En la primera categoría, aditivos, se determinará la información, resultados y conclusiones que se obtendrán de los artículos científicos recogidos. Se mencionará los diversos aditivos añadidos al humedal artificial para mejorar la eficiencia de un humedal artificial.

Respecto a la segunda categoría se investigaran los diferentes tipos de humedales evidenciados en los artículos científicos escogidos. Se evaluará la relación

generada entre los tipos de humedales artificiales y la eliminación de contaminantes orgánicos, fósforo y nitrógeno.

Por último, en la tercera categoría, especies vegetativas, se identificará en base a los artículos científicos seleccionados, cuales especies son utilizadas en los humedales artificiales para la remoción de contaminantes en efluentes acuícolas.

3.9 Aspectos éticos

A lo largo de la presente investigación, se tiene en cuenta la ética y honestidad establecida en la resolución del consejo universitario N° 0126-2017-UCV emitido el 23 de mayo de 2017 y que consigna el artículo 15 del Código de Ética de la Investigación de la Universidad César Vallejo (Política de antiplagio).

Dentro de este marco son tomadas en cuenta para manifestar la veracidad y confiabilidad de la información, demostrando que el contenido real no ha sido alterado, en base a datos confiables que revelan la idoneidad del trabajo de investigación. Por ende, la información fue compilada teniendo en cuenta estudios de investigadores especializados en el tema, además dicha información fue examinada y explicada de forma exhaustiva, cumpliendo con lo exigido en la norma antes mencionada. Para terminar, se destaca que la información recolectada ha sido debidamente citada y referenciada en base a la norma internacional ISO 690-2, de este modo se mantiene el respete por los derechos de autor.

IV RESULTADOS Y DISCUSION

Al comienzo, la cantidad de artículos compilados por presentar interés en torno al tema de investigación, fueron 25. Posterior a ello, se procedió a realizar la filtración y exclusión de aquellos artículos que no cumplían con los criterios establecidos para ser incluidos en la investigación, como: no estar completamente ligados al tema de investigación y no pertenecer al intervalo de tiempo entre los años 2016-2022. En consecuencia, de los 25 artículos compilados solo se seleccionaron 19 artículos; estos últimos se clasificaron en las categorías: aditivos, tipos de humedales y especies vegetativas, junto a sus subcategorías ya consignadas dentro de la matriz de categorización.

En la figura Nº4 se muestra un mapa indicando las 10 naciones donde fueron ejecutados los respectivos estudios sobre el tratamiento de aguas residuales acuícolas con humedales artificiales.

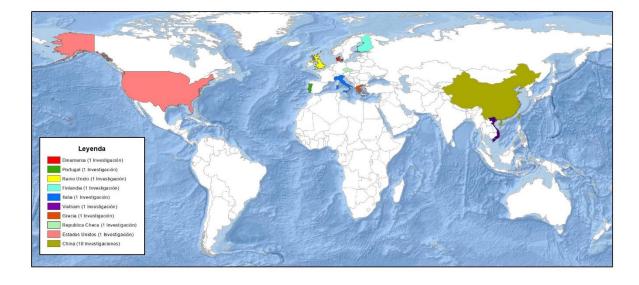


Figura Nº4: Naciones donde se ejecutaron los estudios

Según los señalado en la figura Nº4, en Dinamarca se llevó a cabo 1 investigación, continuando con 1 en Portugal, reino Unido, Finlandia, Italia, Vietnam, Grecia, Republica Checa y Estados Unidos; el resto de estudios (10) fueron ejecutados en el país de China

En la siguiente tabla, se determinan los métodos que permiten potenciar la eficiencia de eliminación de contaminantes en los humedales artificiales a través de la aplicación de una serie de aditivos, los cuales fueron utilizados por los distintos autores de los artículos de investigación seleccionados.

Tabla N°5: Aditivos para un humedal artificial

Autor	Aditivo	Aplicación	Fuente
Wang Xinyi, et al., 2020	Inoculo microbiano: cepa alishewanella sp	Fue aislado como bacteria desnitrificante. Para tener una misma concentración del inoculo al momento de la aplicación en los CWs, primero se centrifugo el cultivo a 5000 rpm durante 15 min dando como resultado a las bacterias concentradas, de las cuales se usaron 1.5 g para configurar 100mL// de suspensión bacteriana por agua agua esterial. El inoculo se aplicó en seguida de la preparación, y en los microcosmos de los CWs	Microorganismo exógeno
Zhimiao, et al., 2019	lones ferrosos	Se aplicaron distintas dosis de iones ferrosos para la purificación de agua residual de acuicultura en 12 reactores de humedales artificiales. Las dosis de hierro no venenoso aplicadas fueron de: 0 mg/L, 10 mg/L, 20 mg/L y 40 mg/L.	Elemento químico
Von Ahnen, 2020	Lodos/desec hos de pescado	Se generaron internamente en una granja de truchas tipo danesa; estos lodos eran recolectados para realizar el tratamiento en el CW, fluían a través de canales que integraban el humedal y una vez al día eran recolectados y bombeados a un tanque de almacenamiento, posterior a ello descargados en un estanque de lodos que realizaba el desbordamiento en el arroyo del humedal	. Fuente interna de carbono

Li Meng; Sun Linlin, 2019	Mazorcas de maíz	Fueron recolectadas y lavados con agua Milli-Q, después se dejaron secar al aire. Después se cortaron en trozos (1-2cm9 para ser puestas en un horno a 70º y por último, se almacenaron en un secador antes de ser usadas. Antes de ser aplicadas en el tratamiento del CW, las mazorcas de maíz recibieron un pretratamiento alcalino con NaOH al 2% (solución acuosa) y lavadas con agua destilada.	Fuente externa de carbono
Lopardo et al., 2019	Plástico biodegradabl e- Policaprolact ona	Las perlas biodegradables de policaprolactona se recolectaron en tubos de centrifuga limpios de 50ml. La aplicación consto en la formación de una capa de 1cm de policaprolactona enterradas a 9cm de profundidad dentro de la capa del sustrato del humedal permitiendo así el asentamiento de los plásticos	Fuente externa de carbono

De acuerdo con la tabla Nº5, la mayoría de estudios revisados manejan la incorporación de aditivos con fuentes externas de carbono. En el tratamiento acuícola con humedal artificial, la deficiente relación de C/N resulta adversa para el proceso de desnitrificación (Li; Sun, 2019, p.267); es por ello que la adición de fuentes de carbono mencionadas anteriormente (lodos/desechos de pescado, mazorcas de maíz, plástico biodegradable), ofrecen al humedal artificial mejorías para la desnitrificación (Li; Sun, 2019, p.267).

No obstante, en el resto de artículos se usaron iones ferrosos (elemento químico) e inoculo microbiano alishewanella sp (microorgasnismo exógeno); donde la adición de iones ferrosos conlleva a optimizar la población microbiana en los humedales artificiales (Zhimiao et al., 2019, p.8), y el microorganismo alishewanella sp potencia las funciones de la vegetación y otras bacterias ya existentes en un humedal artificial (Wang Xinyi et al., 2020, p.9). De igual importancia, se sostiene que la aplicación de fuentes externas de carbono resultan ser una excelente opción de mejora para el tratamiento de aguas residuales acuícolas (Lopardo et al., 2019, p.121); además, cabe señalar que los desechos de pescado se consideran como una fuente de carbono gratuita utilizada en efluentes de una granja acuícola (Von Ahnen, 2020, p.2).

Por otra parte, la eliminación de contaminantes en efluentes acuícolas a partir de la aplicación de los diferentes aditivos utilizados en los respectivos estudios, revelan que se debe considerar ciertos factores para el éxito de su remoción. Es decir: con respecto al inoculo microbiano se tuvo en cuenta que una CE de 15 mS/cm elimina N y TN entre 95.7%-99.4% (Wang Xinyi et al., 2020), con la adición de iones ferrosos se manejó que una dosis optima de 20 mg/L remueve TN/ TP/DQO con niveles de 95±1.9% / 77±1.2% / 62±2% (Zhimiao et al., 2019). Por último, con desechos de pescado la remoción de TN fue de 3.9±0.8 g TN/m²/D teniendo en cuenta manejos de flujo y una óptima hidrolisis biológica (Von Ahnen, 2020), con la adición de mazorcas de maíz se eliminó N a 94.9±6.0% considerando un pre tratamiento en los desechos agrícolas con el fin de evitar la contaminación por DQO (Li; Sun, 2019), y con plástico biodegradable la remoción de TN/TP presento el 87-91% / 74-81% debido a que se usó un humedal artificial de flujo vertical.

A continuación, se presenta la tabla nº 6 donde se mencionan los principales tipos de humedales artificiales tomando en cuenta a los autores, tipos de CW, tiempo de evaluación y diseño.

Tabla N°6: Tipos de humedales artificiales

AUTORES	TIPO DE HUMEDAL ARTIFICIAL	TIEMPO DE EVALUACIÓN	DISEÑO
Huang Xiang, et al.	Humedal artificial sub- superficial de flujo horizontal (HSSFCW)	Los análisis de datos comenzaron en junio de 2016 y culminaron de septiembre de 2016. Se recolectaron y monitorearon las muestras de afluentes y efluentes de los cuatro CW cada 4 días.	Cuatro humedales construidos denominados S1, S2, M1 y M2 cuyo tamaño fue de 150 cm de largo, 40 cm de ancho y 80 cm de profundidad, los materiales eran de cloruro de polivinilo. Ambos extremos estaban separados por placas perforadas que forman un área de distribución y otra de recolección de agua de 15 cm respectivamente, rellenándose con 40 cm de grava.
Von Ahnen Mathis, et al.	Humedal artificial superficial de agua libre (FWS)	Mayo hasta julio de 2017	CW con un área total de 19,007 m2 y una profundidad de 0,7 m se construyó interconectando antiguos estanques en dos arroyos de humedales paralelos denominados "arroyo humedal 1" y "arroyo humedal 2". El primero tenía un área total de 7359 m2 y el segundo con un área total de 11,078 m2.

Li Meng, et al.	Humedal artificial sub- superficial de flujo vertical	11 de agosto de 2015 al 22 de octubre de 2015	Consta de cinco CW a escala piloto por triplicado en una granja de salmón. Cada sistema contenía un barril y tres estanques cuadrados.
Jizheng Pan, et al.	Humedal construido integrado sub-superficial de flujo vertical	Diciembre 2006 hasta abril 2008	En el humedal artificial integrado de aireación (AAICW), se aplicaron dos grupos de CW, con aireación y sin aireación. Primero se realizó un pretratamiento de oxidación por contacto biótico (BCO) del agua residual y la investigación del proceso de conversión de nitrógeno se efectuó en los AVCW. Las muestras recolectas de las columnas a 20, 40, 60, 100 y 120 centímetros.
Yang Zhongchen, et al.	Humedal artificial sub- superficial de flujo vertical	120 días	Se instalaron dos sistemas de CW paralelos, sistema A y NA (aireado y no aireado respectivamente). El diámetro interior de los CW fueron 100 mm y una altura de 710 mm, hechos a base de plexiglás cilíndrico con un diámetro de 100 mm y un tamaño de poro de 3 mm, se colocó a 100 mm el disco por encima del fondo de los sistemas CW para soportar el sustrato. La fuente de carbono solidos se dividió en cinco partes iguales colocada a 50 mm por encima del disco cada 50 mm y el espacio restante se llenó con ceramsita (5 – 6 mm).

Pulkkinen Jani	Humedal artificial sub- superficial de flujo vertical	Julio de 2019 al 20 de agosto de junio de 2020	El CW con medidas de largo 7.5 m y un ancho de 6 m. contenía tres capas de grava con diferentes tamaños de partículas colocado sobre bentonita. El agua se distribuyó mediante tuberías perforadas de 110mm de diámetro.
Wang Wei	Humedal artificial sub- superficial de flujo horizontal (HSSFCW)	Se realizaron muestras de agua 5 veces por semana	Se construyeron dos microcosmos HSSFCW, cada uno tenía 2,1 m de largo, 0,6 m de ancho y 0,7 m de profundidad La zona de afluentes y efluentes se rellenaron con grava gruesa cuyo diámetro oscila entre 30 – 40 mm, la zona de tratamiento intermedia contenía una capa de 60 cm de espesor de grava y su diámetro fue de 10 – 20 mm una capa de 5 cm de espesor de arena lavada con un diámetro menor a 2 mm colocados en la superficie, sembrando ocho canna indica en cada microcosmos.
Hang Thi, et al.	Humedal artificial sub- superficial de flujo horizontal (HSSF)	Muestras tomadas dos veces por semana por un total de 50 días	Se construyó usando placas ensambladas de vidrio cuyo espesor 8 mm. La longitud del CW fue de 125 cm y un ancho de 20 cm, la altura de 50 cm y proporcionaba un volumen de 50 L con una altura de agua de 20 cm. Se agregó un filtro de remolino para eliminar los sólidos en suspensión y tenía seis compartimientos dedicados para la limpieza de agua.

Jung Chien, et al.	Humedal artificial sub- superficial de flujo horizontal (HSSF)	Duración total 363 días	El CW de dimensiones son 1,85 m de largo por 0,47 m de ancho por 0,50 m de alto y el área de aireación es de 0,3 m de largo. Hubieron tres tuberías verticales encargadas de bombear agua y se rellenó con grava de diámetro que oscila entre 0,03 – 0,05 m.
Meng Li, et al.	Humedal artificial sub- superficial de flujo vertical	60 días	Se utilizaron nueve microcosmos CW en condiciones de invernadero. En cada uno de sembraron quince Salicornia bigelovii con un tiempo de retención hidráulica de seis días.
Zhang Shiyang, et al.	Dos flujos horizontales convencionales (CHF) Tres flujos horizontales angostos (NHF) Un flujo superficial (SF) Nueve flujos verticales sumergidos (SVF) y flujos verticales no sumergidos (NVF)	2010 al 2013	CHF midieron 30,0 x 8,5 x 0,6 y la grava cuya porosidad fue de 0,179. FNH sus mediciones fueron 30,0 x 3,1 x 0,8 y el tipo de sustrato usado fue ceramisita con porosidad de 0,400 NHF 30,0 x 2,4 x 0,8 ceramisita con una porosidad de 0,400 SF sus medidas 30,0 x 2,4 x 0,4 SVF o NVF con medidas de 2,0 x 1.5 x 0.8, se utilizaron ceniza ceramisita y grava con porosidad que oscilan entre 0,378 y 0,439. Todas las medidas son en metros.

Lopardo Cristina, et al.	Humedales de tratamiento de flujo vertical (VFTW) Humedal de tratamiento flotante (FTW)	2016, el experimento se realizó durante junio de 2017	Construcción de dos filas de cuatro mesocosmos de humedales con tubos de polietileno de 1,33 m* 047 m x 0,61 m. Una fila de humedales de tratamiento de flujo vertical y otra fila de humedales de tratamiento flotante. El VFTW se rellenaron con una capa de grava de 10 cm y un relleno de arena de 30 cm, la hierba spartina patena se sembró en agosto de 2016. Para el FTW se llenaron cuatro mesocosmos de tratamiento de estera flotante con agua de lago bombeada de un lago cercano. Cada tapete tenía 18 plantas separadas cada 25 cm. Spartina Patena se colocaron en macetas aireadoras dentro de las esteras flotantes.
-----------------------------	--	--	--

Según Morales y Castellanos (2018) de acuerdo a la clasificación de los humedales construidos principalmente se utilizó con mayor frecuencia los sistemas con enraizados, el cual a su vez se clasifica según la vegetación en micrófitos emergentes, sumergidas y flotantes. Según los artículos analizados se observa que, se utilizó mayormente los CWs emergentes, seguido por los CWs flotantes en el caso de los CWs sumergidos no se usaron. Teniendo en cuenta la clasificación según a vegetación, los CWs emergentes se clasifican según el flujo de agua, siendo de flujo superficial y flujo sub-superficial. Observamos según los artículos que en su mayoría se utilizaron humedales artificiales de flujo sub-superficial, y en su minoría los humedales artificiales de flujo superficial. Finalmente en los humedales de flujo sub-superficial se encuentran los de flujo horizontal y flujo vertical. Concluyendo que según los artículos analizados mayormente se utilizan los humedales de flujo vertical comparados a los de flujo horizontal. Cabe mencionar que según Yuan, et al. (2020) detallo que la capa aeróbica superior y la anóxica inferior en los humedales artificiales sub-superficiales de flujo vertical predisponen un medio óptimo para que las bacterias puedan degradar los contaminantes, siendo así los VFCW son más eficaces en la eliminación de contaminantes que los humedales artificiales sub-superficiales de flujo horizontal.

A continuación se muestra la tabla nº 7 donde se identifica las especies vegetativas utilizadas en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales teniendo en cuenta el autor, tipo de especie y rendimiento.

Tabla Nº 7: Tipos de especies vegetativas

AUTOR	TIPO DE ESPECIE VEGETATIVA	APLICACIÓN
Huang, et al.	Iris pseudacoro Phragmites australis	En un total de cuatro CWs se cltivaron estas especies. S1 fue plantado con ris pseudacoro, y S2 con Phragmites australis, M1 Iris pseudacoro y Phragmites australis se sembraron por separado en la parte delantera y trasera y M2 ambas estaban cultivadas de forma aleatoria.

Zhimiao, et al.	Canna indica Acorus cálamo Lythrum salicaria	Las plantas se recolectaron a una altura de 10 cm por debajo del sustrato superficial, se les corto los tallos y las hojas de las plantas mezclándose.	
Phragmites australis Tyopha orientalis Liang et al. Vetiveria zizanioides Canna Indica		En el experimento 1 se plantaron un total de 16, 8, 8 y 8 respectivamente en cada mesocosmos. En el experimento 2 y 3 se trasplantó una canna indica de 20 cm de altura en cada CW.	
Maucieri, et al.	Juncia copetuda – Carex elata Prisa suave – derrame de juncus Alpiste de caña – Phalaris arundinacea Caña común – Phragmites australis Totora – Typhha latifolia	Las cinco especies de plantas se trasplantaron en los 24 tanques con una densidad de 30 plantas metros cuadrados aplicándose cada mes las aguas residuales en cada CW.	
Vymazal	Phragmites australis Typhha latifolia	Se cosecharon en los cuatro Cws. Los brotes se cortaron a nivel del suelo y se separaron los tallos, hojas y flores (en caso tenían), lo mencionado para P. australis; en el caso de T- latifolia en hojas, tallos y flores (si se encontraban presentes)	

En la figura Nº 5, se observa que, en base a los artículos recopilados, se utilizó en su mayoría la especie vegetativa phragmites australis, seguida por la typhha latifolia, entre otras especies usadas tenemos a la canna indica, iris pseudacoro, tyopha orientalis, Acorus cálamo, Lythrum salicaria vetiveria zizanioides, carex elata, prisa suave, phalaris arundinacea.

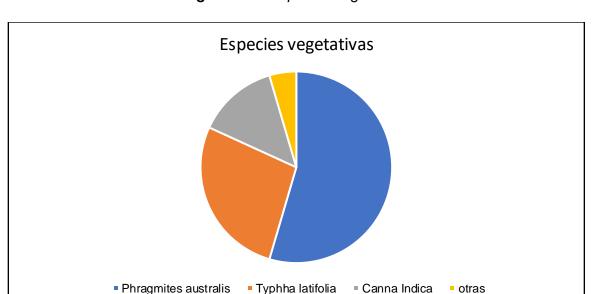


Figura Nº 5: Especies vegetativas

Los Humedales artificiales plantados con lris pseudacoro tenían una mejor eficacia en la remoción de nitrógeno en el tratamiento de aguas residuales en la industria de la acuicultura que la Phragmites australis, sin embargo esta última no solo es la más usada sino también es efectiva en la eliminación de antibióticos; otra propiedad de la Phragmites australis es que los rizomas subterráneos se entrelazan formando un sistema de raíces subterráneas lo cual es beneficiosos para la remoción de fósforo y DQO. Para una mayor eficiencia de remoción de contaminantes, se puede realizar una siembra mixta de ambas especies, ya que liberan grandes cantidades de oxígeno al ambiente lo que permite la formación de un medio anaeróbico y aérobico permitiendo así la eliminación de nitrógeno según Huang, et al. (2019). En el caso de los humedales artificiales plantados con canna indica mostraron una mayor eliminación comparada a las otras especies en lo que respecta a la remoción de nitrógeno y fosforo, considerándose especie potencial para tratar aguas residuales. Según Liang, et al. (2017).

Por otro lado, se realizó la tabla nº 8 cuyo fin es responder el objetivo principal de la presente investigación, tomando en cuenta tipos de aditivos, humedales y especies vegetativas.

Tabla Nº 8: Tratamiento de los humedales artificiales en aguas residuales del sector acuícola

Aditivos	Humedales artificiales	Especies vegetativas
 Inoculo microbiano: cepa alishewanella sp lones ferrosos Lodos/desechos de pescado Mazorcas de maíz Plástico biodegradable- Policaprolactona 	 Humedal artifical sub-superficial de flujo horizontal (HSSFCW) Humedal artificial sub-superficial de flujo vertical Humedal artificial superficial de agua libre (FWS) Humedal de tratamiento flotante (FTW) 	 Iris pseudacoro Phragmites australis Tyopha orientalis Vetiveria zizanioides Canna Indica Carex elata Prisa suave Phalaris arundinacea Typhha latifolia Acorus cálamo Lythrum salicaria

Respecto al tratamiento de humedales artificiales en el sector acuícola se observa que la eliminación de contaminantes orgánicos se encuentra relacionado también con la presencia de aditivos y especies vegetativas.

Según Huang, et al. (2019) La tasa de eliminación de nitrógeno total (NT) del humedal sub-superficial de flujo horizontal para cuatro humedales a escala piloto (S1, S2, M1 Y M2) respectivamente, M1 y M2 plantados con dos tipos de especies vegetativas específicamente con lris pseudacoro y Phragmites australis revelaron un mejor rendimiento que los humedales artificiales plantados con una solo especie, es decir S1 y S2, no obstante estos dos últimos mostraron una mejor eliminación de contaminantes emergentes como antibióticos.

Von Ahnen, et al. (2020) por ejemplo establece que la manipulación del flujo en el humedal artificial superficial adicionando lodos de pescado ricos en carbono mejoro la desnitrificación heterótrofa lo que ocasiona la eliminación de nitrógeno.

Para Zhimiao, et al. (2019) La adición de especies vegetativas son de gran importancia para los humedales artificiales ya que absorben el nitrógeno y fosforo como nutrientes para el crecimiento, por medio de rizoma y las hojas, el oxígeno se transmite a los poros de la rizosfera que rodean el sustrato de los CWs teniendo como resultado la formación de una región aeróbica -anaeróbica para la rizosfera de la planta, donde ocurre la eliminación de contaminantes. En este mismo artículo donde se añade Canna indica, Acorus calamo Lythrum salicaria se observó que el mayor rendimiento de remoción de contaminantes se obtuvo con canna indica y la adición de iones ferrosos mejoraron de forma demostrativa la eliminación de contaminantes.

Yang, et al. (2018) concluyo en su investigación que la adición de fuentes solidas de carbono con aireación limitada al humedal artificial sub-superficial de flujo vertical mejoro la eficacia de eliminación de amoniaco en un 91,00% y nitrógeno total en un 97,03%.

Asimismo a los humedales artificiales para una eliminación significativa de contaminantes se les agrega aditivos como desechos de pescado, Von Ahnen, et al. (2020), fuente solida de carbono para la eliminación de nitrógeno según Yang, et al. (2018), astillas de madera por Pulkkinen, et al. (2021), mazorcas de maíz por Li Meng, et al. (2019) y plástico biodegradable por parte de Lopardo, et al. (2019).

Por otra parte, se adiciona especies vegetativas como lris pseudacoro, Phragmites australis Canna indica, Acorus cálamo, Lythrum salicaria por Zhimiao, et al. (2019), Huang, et al. Phragmites australis, Tyopha orientalis, Vetiveria zizanioides, Canna Indica según Liang et al. Juncia copetuda – Carex elata, Prisa suave – derrame de juncus, Alpiste de caña – Phalaris arundinacea, Caña común – Phragmites australis, Totora – Typhha latifolia por Mucieri, et al. Phragmites australis, Typhha latifolia por Vymazal.

V Conclusiones

En la presente investigación se pudo determinar la aplicación de los humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales para el sector acuícola son una tecnología optima, con un bajo coste y amigable con el ambiente para una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes orgánicos se encuentra relacionada a la adición de especies vegetativas, aditivos y tipos de humedales artificiales.

Asimismo, los aditivos principales son las fuentes de carbono como plásticos biodegradables, mazorcas de maíz, desechos de pescados, optimizando el proceso de desnitrificación y como consecuencia la eliminación de contaminantes en las aguas residuales acuícolas, entre otros aditivos encontramos a los iones ferrosos.

Por otro lado, según la clasificación los humedales artificiales emergentes son los más utilizados siendo estos los de tipo humedal artificial sub-superficial de flujo horizontal y humedal artificial sub-superficial de flujo vertical ya mantienen un medio recomendable para que las bacterias puedan degradar los contaminantes orgánicos.

Finalmente, la especie vegetativa plantada en los humedales artificiales más utilizada es la Phragmites australis óptima para la remoción de DQO y fosforo seguida por Typhha latifolia y una mención especial para la Canna indica la cual tiene la propiedad de eliminar nitrógeno y fosforo; teniendo en cuenta que el humedal artificial y la siembra mixta de especies vegetativas mejorar significativamente la eliminación de contaminantes.

VI Recomendaciones

Se recomienda investigar, con mayor profundidad las humedades artificiales en el sector acuícola los cuales requieren bajo costo para su implementación, son eficientes y sostenibles con el ambiente.

Además se recomienda investigar, para una mayor eficiencia de remoción de contaminantes, una siembra mixta de Phragmites australis e lris pseudacoro ambas especies, ya que liberan grandes cantidades de oxígeno al ambiente lo que permite la formación de un medio anaeróbico y aérobico permitiendo así la eliminación de nitrógeno según Huang, et al. (2019).

REFERENCIAS

- Advanced oxidation technologies and constructed wetlands in aquaculture farms: What do we know so far about micropollutant removal? Por Gorito Ana [et al]. Journal of Environmental Research [en línea]. 09 diciembre 2019, vol. 204, n° 2022. Fecha de consulta: 27 de agosto de 2021. Disponible en 10.1016/j.envres.2021.111955
 ISSN 0013-9351
- Arce Cardona, Paul. Humedales artificiales: una alternativa para tratamiento de aguas de producción. Tesis (Título de Especialista en Gestión ambiental).
 Bogotá: Fundación universidad de américa. 2018. 79 pp.
- Application of an innovative front aeration and internal recirculation strategy to improve the removal of pollutants in subsurface flow constructed wetlands por Lin Chien [et al]. Journal of Environmental Management [en línea]. 09 diciembre 2019, vol. 256, n° 2020. Fecha de consulta: 18 de noviembre de 2021. Disponible en 10.1016/j.jenvman.2019.109873 ISSN 0301-4797
- BAENA, Guillermina. Metodología de la investigación [en línea]. 3.ª ed. Ciudad de México: Grupo Editorial Patria, 2017 [fecha de consulta: 19 de febrero de 2022]. Disponible en https://editorialpatria.com.mx/detalle-de-libro.php?IDL=820&IDN=1 ISBN:9786077447481.
- BAENA, Guillermina. Metodología de la investigación [en línea]. Ciudad de México: Grupo Editorial Patria, 2014 [fecha de consulta: 20 de febrero de 2022]. Disponible en https://editorialpatria.com.mx/mobile/pdffiles/9786074384093.pdf

ISBN: 9786077440031

Bioaugmented constructed wetlands for denitrification of saline wastewater: A boost for both microorganisms and plants por Wang Xingi [et al]. Environment International [en línea]. 08 marzo 2020, vol. 138, n° 2020. Fecha de consulta: 20 de noviembre de 2021. Disponible en 10.1016/j.envint.2020.105628 ISSN 0160-4120

- Comparison of nutrient retention efficiency between vertical-flow and floating treatment wetland mesocosms with and without biodegradable plastic por Lopardo Cristina [et al]. Ecological Engineering [en línea]. 23 de marzo de 2019, vol. 131, n° 2019. Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2021. Disponible en 10.1016/j.ecoleng.2019.01.024 ISSN 0925-8574
- Comparative evaluation of influencing factors on aquaculture wastewater treatment by various constructed wetlands por Zhang Shiyang [et al]. Ecological Engineering [en línea]. 2016, vol. 93, n° 2016. Fecha de consulta: 18 de noviembre de 2021. Disponible en 10.1016/j.ecoleng.2016.05.029 ISNN 0925-8574
- Constructed floating WWetlands: A review of research, design, operation and management aspects, and data meta-analysis por Pavlirene Natalia [et al]. Chemical Engineering Journal [en línea]. Septiembre de 2016, vol. 318, n° 2017. Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2021. Disponible en 10.1016/j.cej.2016.09.140
 ISSN 1385-8947
- Constructed wetland microcosms for the removal of organic micropollutants from freshwater aquaculture effluents por Gorito, Ana [et al]. Science of the Total Environment [en línea]. 11 de julio de 2018, vol. 644, n° 2018. Fecha de consulta: 24 de noviembre de 2021. Disponible en https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.371 ISSN 0048-9697
- Effect of plant physiological characteristics on the removal of conventional and emerging pollutants from aquaculture wastewater by constructed wetlands por Huang Xiang [et al]. Ecological Engineering [en línea]. 23 de mayo de 2019, vol. 135, n° 2019 [Fecha de consulta: 15 de noviembre de

- 2021]. Disponible en 10.1016/j.ecoleng.2019.05.017 ISSN 0925-8574
- Enhancing the pollutant removal performance and biological mechanisms by adding ferrous ions into aquaculture wastewater in constructed wetland por Zhimiao Zhao [et al]. Bioresource Technology [en línea]. 8 agosto 2019, vol. 293 n° 2019 [Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2021]. Disponible en ISSN 0960-8524
- Enhanced nitrogen removal using solid carbon source in constructed wetland with limited aeration por Yang Zhongchen [et al]. Bioresource Technology [en línea]. 04 August 2017, vol. 248 n° 2018 [Fecha de consulta: 12 de diciembre de 2021]. Disponible en 10.1016/j.biortech.2017.07.188 ISSN 0960-8524
- Enhanced nitrogen removal by the integrated constructed wetlands with artificial aeration por Jizheng Pan [et al]. Environmental Technology & Innovation [en línea]. Mayo de 2019, vol. 14, n° 2019 [Fecha de consulta: 10 de diciembre de 2021]. Disponible en 10.1016/j.eti.2019.100362 ISSN 2352-1864
- Environmental sustainability and footprints of global aquaculture por Qutu, Jiang [et al]. Resources, Conservation & Recycling [en línea]. 21 January 2022, vol. 180, n° 2022 [Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2021]. Disponible en 10.1016/j.resconrec.2022.106183
 ISSN 0921-3449
- Estopá Consuegra, Sergi. Estudio comparativo y dimensionamiento básico de diversas tipologías de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales provenientes del polígono industrial Moncada III (Moncada, Valencia). Tesis (Grado de Ingeniería de Obras Públicas especialidad en Hidráulica e Hidrología). Valencia: Universidad politécnica de Valencia. 2018. 153 pp.
- Hernández, Roberto. Metodología de la investigación [en línea]. 6ª ed. Mexico DF:interamericaca editores, s.a. de C.V, 2014 [fecha de consulta: 18 de Febrero de 2022]. Disponible en http://observatorio.epacartagena.gov.co ISBN: 978145622390

- Implementation of a constructed wetland for the sustainable treatment of inland shrimp farming water por Hang, Thi [et al]. Journal of Environmental Management [en línea]. 9 diciembre 2020, vol. 279, n° 2021 [Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2021]. Disponible en 10.1016/j.aquaeng.2011.08.001 ISSN 1095-8630.
- Improving denitrification in an aquaculture wetland using fish waste a case study por Von Ahnen Mathis [et al]. Ecological Engineering [en línea]. 25 de noviembre de 2019, vol. 143, n° 2019 [Fecha de consulta: 11 enero de 2022].
 Disponible en 10.1016/j.ecoleng.2019.105686
 ISSN 0925-8574
- Joaquín Tacumán, Laleshka. Diseño de tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales en Chacapampa – Huancayo. Tesis (Título profesional de ingeniero civil). Perú: Universidad Peruana los Andes. 2021. 129 pp.
- Maucieri, Carmelo, Salvato, Michela, Borin, Maurizio Vegetation contribution on phosphorus removal in constructed wetlands. Ecological Engineering [en línea]. 15 de mayo 2020, n° 2020. Fecha de consulta: 23 de noviembre de 2021. Disponible en 10.1016/j.ecoleng.2020.105853 ISSN 0925-8574
- Mariño Salguero, Carmen. Evaluación de la eficiencia de desinfección de los humedales artificiales de la estación depuradora de aguas residuales de carrícola (Valencia). Tesis (Master en ingeniería hidráulica y medio ambiente) Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. 2021. 80 pp.
- MORALES Caicedo, María, CASTELLANOS Rodríguez, Leidy. Rediseño humedal artificial para depuración de aguas residuales y reúso: modelo didáctico laboratorio de recursos hídricos universidad católica de Colombia. Tesis (Título de Ingenieras Civiles). Bogotá: Universidad Católica de Colombia. 2018. 11 pp.

- Muñoz Tello, Keyla, Vasquez Perez, Milagros. Estudio de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de cinco especies de macrófitas. Tesis (Título profesional de Ingeniería Ambiental). Perú: Universidad Privada Del Norte. 2020. 65 pp.
- Nitrogen and organic matter removal and enzyme activities in constructed wetlands operated under different hydraulic operating regimes por Li, Meng [et al]. Aquaculture [en línea]. 15 Junio 2018, vol. 496, n° 2018 [Fecha de consulta: 24 de noviembre de 2021]. Disponible en 10.1016/j.aquaculture.2018.06.016

ISSN 0044-8486

- Nutrients removal and substrate enzyme activities in vertical subsurface flow constructed wetlands for mariculture wastewater treatment: Effects of ammonia nitrogen loading rates and salinity levels por Li, Meng [et al]. Aquaculture [en línea]. 12 Abril 2018, vol. 496, n° 2018 [Fecha de consulta: 23 de noviembre de 2021]. Disponible en 10.1016/j.aquaculture.2018.06.016 ISSN 1879-3363.
- Ramos Sotelo, Humberto. Evaluación del Cultivo Integrado Camarón Hortalizas sobre la Producción y Parámetros de Calidad de Tomate, Albahaca y Lechuga. Tesis (Doctor en ciencias de Biotecnología). México: Universidad Autónoma de Sinaloa. 2021. 195 pp.
- Removal of nutrients in saline wastewater using constructed wetlands: Plant species, influent loads and salinity levels as influencing factors por Liang Yinxiu Meng [et al]. Chemosphere [en línea]. 2017, vol. 187, n° 2017 [Fecha de consulta: 03 de diciembre de 2021]. Disponible en 10.1016/j.chemosphere.2017.08.087 ISSN 0045-6535.
- SÁNCHEZ, Hugo, REYES, Carlos, Mejía, Katia. Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística [en línea]. Lima: Universidad Ricardo Palma, 2018 [fecha de consulta: 19 de febrero de 2022].

Disponible en ISBN: 9786124735141

- Segami Shigyo, Miki. Efecto de la aplicación de microorganismos benéficos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en un humedal artificial. Tesis (Título profesional de ingeniero ambiental). Perú: Universidad Agraria la Molina. 2018. 123 pp.
- Start-up of a "zero-discharge" recirculating aquaculture system using woodchip denitrification, constructed wetland, and sand infiltration por Pulkkinen Jani [et al]. Aquacultural Engineering [en línea]. 02 de abril de 2021, vol. 93, n° 2021 [Fecha de consulta: 13 diciembre de 2021]. Disponible en 10.1016/j.chemosphere.2017.08.087 ISSN 0144-8609
- The simultaneous antibiotics and nitrogen removal in vertical flow constructed wetlands: Effects of substrates and responses of microbial functions por Yuan Yingrue [et al]. Bioresource Technology [en línea]. 23 de abril de 2020, vol. 310, n° 2020 [Fecha de consulta: 5 de enero de 2022]. Disponible en 10.1016/j.biortech.2020.123419 ISSN 0960-8524.
- VÁSQUEZ, War. Metodología de la investigación: Manual del estudiante. Lima: Universidad de Santa Anita, 2020. 139 pp. . [Fecha de consulta: 21 de febrero de 2022]. Disponible en https://www.usmp.edu.pe/estudiosgenerales/pdf/2020I/MANUALES/II%20C ICLO/METODOLOGIA%20DE%20INVESTIGACION.pdf

ANEXOS

ANEXO 01: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO					
Revisión sistemática: Aguas residuales y su tratamiento ecotecnológico con humedales artificiales (CWs) en el sector acuícola"					
Revista:	Año:	País:	Autor (es):		
Palabras clave					
	Tipos	Descri	pción		
Aditivos					
Humedales					
Especies vegetativas					
Resultados					
Conclusiones					