



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Uso de la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para el
tratamiento de aguas residuales domésticas en humedales
artificiales**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Alvarado Chilcon, Janeth (ORCID: 0000-0003-1131-0365)

Manayay Peralta, Jheyemi (ORCID: 0000-0002-4007-7462)

ASESOR:

Mg. Garzón Flores, Alcides (ORCID: 0000-0002-0218-8743)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y gestión de los residuos

CHICLAYO – PERÚ

2020

Dedicatoria

A Dios por toda su bondad que me ha brindado, y guiarme a cumplir todos mis objetivos, metas y sueños, a mis padres que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio de esta hermosa carrera.

Jhey mi

El presente trabajo es dedicado principalmente a Dios por darme salud, fuerza para seguir con optimismo e inspiración, también a mis padres por brindarme apoyo y ánimos para seguir adelante con mi carrera.

Janeth

Agradecimiento

Agradezco al magister Garzón Flores Alcides por su tiempo, enseñanzas y orientaciones durante las asesorías para hacer posible el trabajo de investigación.

Jhey mi

Agradezco a la Universidad Cesar Vallejo por permitirme convertir en un gran Profesional en la carrera que me apasiona, del mismo modo al magister de asesoría por guiarnos, para que se realice esta investigación.

Janeth

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Índice de abreviaturas	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	11
3.1 Tipo y diseño de investigación	11
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística	11
3.3 Escenario de estudio	13
3.4 Participantes	13
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	14
3.6 Procedimientos	14
3.7 Rigor científico	17
3.8 Método de análisis de información	18
3.9 Aspectos éticos.....	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
V. CONCLUSIONES	40
VI. RECOMENDACIONES.....	41
REFERENCIAS.....	42

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Matriz de categorización apriorística</i> -----	12
Tabla 2. <i>Resumen de criterios de búsqueda</i> -----	17
Tabla 3. <i>Estudios realizados con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas.</i> -----	24
Tabla 4. <i>Parámetros reducidos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas con húmedas artificiales.</i> -----	31

Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Procedimiento para la evaluación de la revisión sistemática	16
<i>Figura 2.</i> Humedal artificial de flujo libre con la <i>Eichhornia crassipes</i>	22
<i>Figura 3.</i> Cantidad de estudios que usan humedales artificiales para tratar aguas residuales domésticas	25
<i>Figura 4.</i> Morfología de la <i>Eichhornia crassipes</i>	26
<i>Figura 5.</i> Procesos de depuración de los humedales artificiales.....	28

Índice de abreviaturas

AR:	Aguas residuales.
ARD:	Aguas residuales domésticas.
E. C.:	<i>Eichhornia crassipes</i> .
PTAR:	Planta de tratamiento de aguas residuales.
PTARD:	Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.
TAR:	Tratamiento de aguas residuales.
TARD:	Tratamiento de aguas residuales domésticas.

Resumen

El problema de la investigación fue: ¿Cuál es el uso de la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en humedales artificiales?, el objetivo de la investigación fue sintetizar información del uso de la E. C. para el tratamiento de aguas residuales domésticas en humedales artificiales. El trabajo de investigación es cualitativo de diseño narrativo de tópicos, donde se realizó una revisión sistemática de los diversos estudios que emplean la E. C. una macrófita flotante, con características depuradoras, que fue adaptada a un tipo de humedal artificial de flujo libre, logrando reducir los parámetros físicos-químicos tales como la DBO y DQO, esto se debe a que la especie posee un sistema radicular fibroso con microorganismos asociados a ella, lo que le permite remover los compuestos orgánicos y microorganismos patógenos por medio de la filtración, a la vez utiliza los contaminantes nitrógeno y fósforo para su desarrollo. Se recomienda realizar este trabajo a escala mayor in situ, ya que la mayoría de estudios analizados, se realizaron en laboratorio por la falta de espacio o terreno para diseñar y operar el sistema fitodepurador.

Palabras clave: *Eichhornia crassipes*, aguas residuales domésticas, humedales artificiales.

Abstract

The research problem was: What is the use of *Eichhornia crassipes* (Water hyacinth) for the treatment of domestic wastewater in artificial wetlands? The objective of the research was to synthesize information on the use of EC for treatment of domestic wastewater in constructed wetlands. The research work is qualitative with a narrative design of topics, where a systematic review was carried out of the various studies that use CD a floating macrophyte, with purifying characteristics, which was adapted to a type of free-flowing artificial wetland, reducing the physical-chemical parameters such as BOD and COD, this is due to the fact that the species has a fibrous root system with associated microorganisms, which allows it to remove organic compounds and pathogenic microorganisms through filtration, at the same time it uses nitrogen and phosphorus pollutants for their development. It is recommended to carry out this work on a larger scale in situ, since most of the studies analyzed were carried out in the laboratory due to the lack of space or land to design and operate the phyto-scrubber system.

Keywords: *Eichhornia crassipes*, domestic wastewater, constructed wetlands

I. INTRODUCCIÓN

Diariamente en las actividades del hombre se emplea el agua y producto de su uso se convierte en aguas residuales (AR), las cuales son vertidas directamente al mar, ríos, lagos, lagunas y quebradas (León y Lucero, 2010, p. 3), a efecto de una deficiencia en su tratamiento de descontaminación. Por ello Martelo y Lara (2012) manifiestan que es importante asegurar la continuidad del ciclo de consumo para dicho elemento líquido, siendo un recurso muy preciado y elemental para la vida y humanidad (p. 223).

García (2012), precisó que el tratamiento de aguas residuales (TAR), se practica con mucha antigüedad y que hasta la fecha se viene aplicando en diferentes países del mundo, dicha actividad se requiere hoy de manera fundamental para mantener la vida y la calidad de la misma. Para ello se requiere de plantas de tratamientos de aguas residuales (PTAR) con una determinada metodología, siendo un sistema que trata estas aguas mediante su estudio y análisis a fin de tratarlo y analizarlo para su descontaminación (p. 27).

Notimex (2019), precisó que la humanidad afronta un peligro invisible de calidad del agua, ya que la carencia de este elemento líquido impacta a los a países avanzados y en vías de desarrollo, y disminuye un tercio del potencial de crecimiento y desarrollo económico en lugares altamente contaminados, asimismo esta crisis incluso amenaza el bienestar de la personal y del medio ambiente.

La Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2017) estiman que el 80 % de las AR mundiales no son liberadas de elementos contaminantes antes de ser vertidas a su lugar de destino, a efecto produce la contaminación de la flora y fauna, la misma que posteriormente provoca enfermedades, contagios y muertes prematuras (párr. 3).

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2014, p. 16), esta situación no solo es mundial sino también nacional, puesto que a lo largo del territorio peruano se genera un promedio de 2217 946 m³/día de aguas residuales que son insertadas a la red de alcantarillado de empresas privadas de saneamiento y solo el 32% logran tener un tratamiento. Es decir, las PTAR

cualquiera que sea su origen, no cuentan con las condiciones apropiadas para su óptimo funcionamiento, ni tampoco con la tecnología adecuada según los desafíos de la zona donde fueron instaladas (Sánchez, 2017, párr. 6).

“A pesar de la existencia de entes fiscalizadores, el principal problema en Perú es la carencia de conocimientos acerca de la problemática ambiental que origina el agua residual no tratada” (Sánchez, 2017, párr. 5), por ello Notimex (2019) enfatizó que la insuficiencia de agua limpia debe ser un fundamento para tomar atención a esta problemática que se revela a escala mundial, nacional y local.

La problemática es también que hay mucha información científica dispersa en distintas bases de datos tales como: Scopus, Scielo, Dialnet, ProQuest, EBSCOhost y Google Académico, estas fuentes contienen estudios acerca del proyecto de investigación.

Coronel (2016), describió la importancia de los humedales artificiales con macrófitas flotantes, siendo una opción para el tratamiento de aguas residuales, esto se debe primordialmente a su alta efectividad en remover la materia orgánica, nutrientes y patógenos, reduciendo aquellos contaminantes desfavorables de los efluentes, para su posterior vertimiento en los cuerpos receptores (p. 21).

Actualmente existen diversos tratamientos para las aguas residuales y uno de estos implican plantas acuáticas flotantes, las mismas que han mostrado ser efectivas en la remoción de aguas que tiene contenidos de nutrientes como materia orgánica y sustancias tóxicas así mismo arsénico, zinc, cadmio, cobre, plomo, cromo, y mercurio (Martelo y Lara, 2012, p. 221), por esta razón se debería aprovechar cuando sea oportuno, el potencial de estas macrófitas flotantes para actuar en la disminución de elementos contaminantes de las AR, en especial de las domésticas.

Se procura mejorar las aguas respecto a su calidad y con bajos costos económicos, esto se debe a su mínimo consumo de energía convencional y la practicidad en el mantenimiento y operación de los sistemas de tratamiento, sin

olvidar su alta eficiencia de absorción de contaminantes, además de su eminente capacidad de reproducción (Ramos, Rodríguez y Martínez, 2007).

Por ello, teniendo en cuenta lo planteado líneas arriba, se formuló el problema general y los problemas específicos de la investigación. El problema general de la investigación es: ¿Cuál es el uso de la *E. crassipes* (Jacinto de agua) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en humedales artificiales? Los problemas específicos de la investigación fueron los siguientes: ¿Cuál es el sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas con la *E. C*?, ¿Qué características posee la *E. C* como especie fitodepuradora en humedales artificiales? Y ¿Cuáles son los indicadores utilizados para medir la reducción de contaminantes de las aguas residuales domésticas en humedales artificiales por la *E.C*?

El objetivo general fue: Sintetizar información del uso de la *E. crassipes* (Jacinto de agua) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en humedales artificiales. Los objetivos específicos fueron los siguientes: Describir el sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas con la *E.C.*, Explorar las características que posee la *E.C* como especie fitodepuradora en humedales artificiales e Identificar los indicadores utilizados para medir la reducción de contaminantes de las aguas residuales domésticas en humedales artificiales por la *E.C.*

II. MARCO TEÓRICO

Existen antecedentes previos a la presente investigación, trabajos que vieron con gran interés la importancia y utilidad de la planta acuática *E. crassipes* para el tratamiento de aguas residuales domésticas, diversos autores que en investigaciones planteados en textos, tesis y artículos brindan datos que contribuyeron a enriquecer y fortalecer la presente investigación. Asimismo, estos trabajos planteados y otros que abordan la temática del tratamiento de aguas residuales domésticas con la planta acuática *E. crassipes*, sirvieron como base teórica para el desarrollo de esta investigación, las mismas que a continuación se desarrollan.

Renteria (2020) construyó un humedal artificial a escala de laboratorio para remover los elementos y compuestos contaminantes del efluente de alcantarillado que fue transferida a la laguna facultativa, para ello se utilizó la planta acuática *Eichhornia crassipes*. Se consiguieron porcentajes de remoción de 7,62% para la conductividad, 100% para DBO5, 50% para SST, 97,2% para coliformes totales y 99,96% para coliformes termotolerantes, por último, se comparó con los límites máximos permisibles (LMP) de la Organización Mundial de Salud y los Estándares de Calidad Ambiental para el agua, siendo apta el agua tratada para riego de vegetales tallo alto y bajo (p. 10).

Vargas (2018) trabajó con las macrófitas *E. C* y *Lemna minor* en el TARD de la quebrada Azungue de la ciudad de Moyobamba, se estableció dos tanques de vidrio con capacidad de 72L para el tratamiento del afluente con ayuda de las especies, en los dos sistemas, las macrófitas se encuentran en un estado de degradación aerobia de los restos orgánicos y sedimentos filtrados, debido a sus raíces, que favorece la actividad microbiana, finalmente se comparó con los LMP para efluentes de PTAR según el Decreto supremo N° 003-2010-MINAM, por ello se concluyó que la *E. C* es más efectiva en la reducción de parámetros para la DBO, SST, pH, temperatura, turbiedad y coliformes termotolerantes, mostrando valores inferiores a comparación de la lenteja de agua (p. 15).

Coronel (2016, p. 19) realizó un tratamiento a las AR de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, al principio aplicó un previo

tratamiento al afluente, utilizando filtro de grava para reducir los residuos sólidos presentes, luego se transfirió a dos estanques de vidrio con la planta acuática *E. crassipes* y *Lemna minor*. El tiempo de retención fue de diez días, y se cambió de efluente por cuatro veces. Se logró resultados con promedio para la remoción de parámetros físico químicos y microbiológicos con 88,24% para la *E. crassipes*, mientras que *Lemna minor* tiene un porcentaje de remoción del 81,24%, siendo la *E. crassipes* más eficiente que la macrófita *Lemna minor*.

Vizcaíno y Fuentes (2016, p. 192) evaluaron el efecto del tratamiento con *E. crassipes*, para ello construyeron un humedal artificial de flujo libre, teniendo una longitud de 0,9m y un diámetro de 0,60 m también con una profundidad de 0,40m, con volumen de 0,020L/min y una retención de 24 horas, se recolectó *E. crassipes* en el tramo del Rio Ranchería, y se cultivó seis de estas especies por metro cuadrado en un mes, empleando efluentes residuales domésticos del distrito de San Juan del Cesar, con una clima promedio de 28,3°C. Se concluyó que la *E. crassipes* muestra la efectividad de la remoción en materia orgánica, nutrientes, coliformes totales y *E. coli*.

Rodríguez, Gómez, Garavito y López (2010, p. 59) estudiaron el tratamiento de aguas residuales de origen doméstico, utilizando buchón de agua y lenteja de agua en humedales artificiales, se insertó un caudal de 30 l/día, con un tiempo de retención de siete días, siendo los porcentajes de remoción de (DBO5) 70-86% y 58% para la lenteja de agua. Al utilizar la lenteja de agua hizo que aumentara el pH (> 11) en el efluente, sin embargo con el buchón de agua el pH se encuentra entre 6 a 8.0, facilitando la estabilización de la materia orgánica en el humedal. Se concluye que el buchón de agua necesita tiempos cortos para tener resultados esperados.

León y Lucero (2010, p. 7) estudiaron el comportamiento de tres macrófitas acuáticas (*E. crassipes*, *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides*) con el objetivo de dar tratamiento a las aguas residuales domésticas (ARD) originadas por 22 familias, las especies se utilizaron por separado (monocultivo), se realizó un muestreo cada 8 días con tres repeticiones. Se determinó que el tratamiento más eficiente fue por la (*E.C*) por reducir parámetros de DBO, DQO, Nitritos y Nitratos; Sólidos, Fósforo total y fosfatos, con niveles de 98%, en cuanto a parámetros microbiológicos demostró remover *E. coli* y coliformes totales, de forma óptima

en aguas grises, también logró producir biomasa fresca en un área de 184 m², fue de 5453,97 Kg/año ó 5,97 ton/año.

Valderrama, Campos, Velandia y Zapata (2014, p. 195) evaluaron el efecto de tres macrófitas (*E. Crassipes*, *Lemna sp.* y *L. Laevigatum*) en la remoción de indicadores de contaminación fecal presentes en ARD, se recogieron estas especies de los humedales naturales, utilizaron reactores plásticos de 0,15 m profundidad y 0,31 m de diámetro, con un volumen de 10L de afluyente a temperatura entre 14 y 16°C por dos meses, se empleó 242 g/m² de *Lemna sp.*, 3100 g/m² de (*E.C*) y 513 g/m² de *L. laevigatum* para encubrir la superficie de los reactores, para el muestreo se retiró 0,5 L de AR. Se logró remover el 99% de coliformes fecales y *E. coli*, siendo la *E. C* más eficiente al remover en solo 6 días, a comparación del resto de macrófitas.

El Jacinto de agua o buchón de agua cuyo nombre científico *Eichhornia crassipes*, es una planta acuática flotante no enraizada, perteneciente a la familia *Pontedericácea*, es originaria del Amazonas y de la cuenca del río Paraná, por ello su distribución es en regiones tropicales de América del Sur, se caracteriza por permanecer en las aguas tranquilas tales como: lagunas, zanjas, arroyos y ríos (Carlini, Castellucci y Mennuni, 2018); la especie posee flores de color azul-lila y sus hojas del rabillo que forman un globo el cual le permite flotar, es decir gracias a la parénquima aerífero, que es un tejido con abundante meato intercelular para la circulación y almacenamiento del oxígeno atmosférico que posteriormente será liberado en el agua (García, 2012, p. 17).

Coronel (2016, p. 44), indicó que un sistema de tratamiento acompañado de la *E. C* es capaz de liberar oxígeno en rangos de 0,95 a 16,4 g/m² por día, asimismo García (2012, p. 16), describió a la macrófita flotante, como una especie que mide hasta un metro de altura, sin embargo, lo normal es que no supera los 50 cm.

Conabio (2015) reveló que la *E. C* no tiene tallo aparentemente, porque se encuentra provista de un rizoma muy particular y tiene una superficie esponjosa, mediante la que el vegetal puede mantenerse sobre la superficie acuática, además la masa radicular de color marrón azulado, presenta dimensiones en anchura y longitud aproximadamente de 30 cm, por otro lado Coronel (2016, p.

44) argumenta que las aguas tratadas con la especie acuática flotante, puede disminuir su temperatura hasta 3,9° C debido a la sombra que proporciona sus hojas gruesas y anchas.

Vargas (2018) complementó la descripción de las características de la *E. C* como un vegetal que vive en los cuerpos de agua dulce tales como: ríos, lagos, charcas y embalses, además este vegetal se caracteriza por tener casi todas sus estructuras (hojas, tallos y flores) inmersas o flotando libremente en su hábitat, esta especie se encuentra en los bordes de las lagunas, charcas y zonas inundables, por lo general estas aguas no son muy profundas, así pues logran su rápida reproducción por medio de estolones en las áreas donde viven.

Guevara y Ramírez (2015) describieron a la macrófita como una planta acuática que vive más de dos años y tiene la peculiaridad de formar colonias flotantes densas (malezas), por ello García (2012, p. 20), afirmó que la macrófita puede multiplicarse rápidamente en menos de dos semanas, de esta forma disminuye el flujo de agua en los depósitos, reduciendo la cantidad de luz y la concentración de oxígeno disuelto, también los autores Guevara y Ramírez mencionaron que la especie es usada como una planta ornamental para los estanques, su empleo radica en la alta capacidad para reproducirse y adaptarse mientras esta se encuentre en aguas sumergidas.

Rodríguez, Chire y Guilarte (2013) detallaron que la *E.C* se desarrolla naturalmente en una laguna alrededor de los quince, treinta, sesenta y noventa días, después de la siembra de la macrófita y para su mayor crecimiento debe presentarse temperaturas medias de 20 a 30° C, caso contrario si su entorno se encuentra entre los 8 a 15° C la especie se estanca.

García (2012, p. 14), indicó que las plantas cumplen un rol esencial en los sistemas denominados humedales, siendo sus principales funciones, la aireación del sistema radicular; para facilitar oxígeno a los microorganismos presentes en la rizófora, además de la absorción de nutrientes como nitrógeno y fósforo; también permite la eliminación de contaminantes asimilándolos en sus tejidos y por último la filtración de los sólidos por medio de la masa radicular.

OEFA (2014), las aguas residuales domésticas, son aquellas aguas que han sido manipuladas por las acciones del ser humano, por ello es necesario un previo tratamiento antes que estas aguas desemboquen a un cuerpo natural. Su composición de materia orgánica de estas aguas es de 50 % carbohidratos, 40 % proteínas, 10 % grasas y jabones, su pH varía entre 6 a 8 (Constanza, 2008).

Los sistemas de TAR se hace con la finalidad de descontaminar o depurar las aguas, hasta llegar a un nivel de calidad que sea requerido y posteriormente sean vertidas a su lugar de destino o que tenga un aprovechamiento mediante su reúso (Jamuna y Noorjahan, 2009).

La fitodepuración, es un sistema de depuración de las AR, que consiste en el empleo de humedales artificiales en los que se desarrollan plantas acuáticas (hidrofitos) que contribuyen eficientemente a la reducción de los contaminantes, esencialmente de la materia orgánica y se caracterizan por ser poco costosos tanto al inicio como durante la operación (Vargas, 2017, p. 29).

Los humedales artificiales, son sistemas construidas por el hombre que utiliza los recursos de la naturaleza para dar tratamiento a las aguas residuales, mediante el sustrato (arena, grava, piedra) son los elementos físicos que se encargan de filtrar y retener la materia orgánica y los sólidos, posteriormente el proceso biológico donde la flora (hidrófitas) y microorganismos que se hospedan en la zona radicular de la planta, contribuyen en la absorción de nutrientes tales como fósforo y nitrógeno del efluente, asimismo se instala una capa impermeable con el objetivo que el líquido no filtre en el subsuelo (Ruiz, 2019, párr. 4).

Los sólidos suspendidos totales (SST), se define como los sólidos retenidos o materia en suspensión presente en las aguas residuales, además indica la presencia de sustancias tanto solubles como insolubles, que se expresa en mg/L contenida en el agua residual (León y Lucero, 2010, p. 44).

El oxígeno disuelto (OD), es importante para la vida acuática, la cantidad dispersa en el agua depende de las situaciones ambientales (salinidad, temperatura y presión parcial), otras formas de obtenerlo es mediante el constante intercambio de oxígeno con la atmósfera y por medio de la fotosíntesis

realizado por las plantas acuáticas, para sostener la vida acuática es necesario contar con concentraciones de 5 mg/L, siendo el adecuado para el desarrollo de la vida marina, en cuanto a las concentraciones menores a 3mg/L pueden ser letales (García, 2012, 22).

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO), se define como la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para oxidar la materia orgánica en condiciones aerobias, también se utiliza para medir la calidad de las aguas residuales, el tiempo para la medición de la DBO generalmente es de 5 días, a temperatura de 20 °C (Vargas, 2017, p. 12).

La demanda química de oxígeno (DQO), es un parámetro químico que se emplea para medir el contenido de materia orgánica de las aguas residuales, es decir mide la cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación de materia orgánica, empleando un agente químico fuerte (dicromato de potasio) y se da en condiciones ácidas y alta temperatura, para ser oxidados a dióxido de carbono y agua (García, 2012, p. 24).

El potencial de hidrógeno (PH), es la medida de la concentración de ion hidrogeno de las AR y se usa para conocer la calidad del agua, e indica la acidez o alcalinidad de la misma; las AR con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 es difícil que tenga un tratamiento mediante procesos biológicos (García, 2012, p. 27).

La temperatura, es un parámetro esencial para el desarrollo de la vida acuática, cabe resaltar que esta interfiere en la descomposición de la materia orgánica realizada por los microorganismos, es decir para el desarrollo de la actividad bacteriana está en un rango de 25 a 35° C, la temperatura de un agua residual es inestable por que varía de acuerdo a la geografía, es por eso que en lugares fríos el clima varía de 7 a 18° C, por otro lado hay regiones que tienen un clima cálido entre 13 a 30° C (García, 2012, p. 23).

El fósforo, es un elemento fundamental para el desarrollo de las algas y otros organismos vivos, a efecto de mucha concentración del mismo, provoca el crecimiento descontrolado de los organismos biológicos, por ello las AR deben presentar rangos entre 4 y 12 mg/L de fósforo. (García, 2012, p. 25).

El nitrógeno, es un nutriente primario para el crecimiento de algas y plantas acuáticas, es decir el nitrógeno total está formado por nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico (Coronel, 2016, p. 32).

Los microorganismos patógenos, se encuentran generalmente en las ARD, así como también en los efluentes de las PTAR, siendo perjudiciales para los organismos de los seres humanos, ya que son los responsables de provocar enfermedades infecciosas tales como el cólera, diarreas, disenterías, fiebre, entre otras, producto del agua contaminada, estos agentes se dividen en tres categorías: bacterias, hongos y virus (Santana, 2014, p. 12- 13).

Coliformes fecales, se define como el conjunto de bacterias en forma de bacilo, pertenecientes a la familia Enterobacteriaceae, Gram negativas, aerobias, y anaerobias facultativas, que no forman esporas, con capacidad de fermentar la lactosa y otros azúcares (González, 2012, p. 27).

La *Escherichia coli*, es una bacteria Gram negativa que pertenece a la familia Enterobacteriaceae, anaerobia facultativa que forma parte del ecosistema normal del intestino del ser humano y los animales, esta bacteria lo podemos encontrar en las aguas residuales, si se tiene contacto con estas aguas puede producir diferentes enfermedades en los seres humanos, desde diarrea leve, infecciones estomacales (Navarro, Fernández y Martínez, 2017).

III. METODOLOGÍA

En el proyecto de investigación es del tipo de investigación aplicada con un diseño cualitativo narrativo de tópicos, en el cual se recopiló y enfatizó intelectos científicos existentes referentes al uso de la especie *E.C* para el tratamiento de ARD en humedales artificiales, además el capítulo presenta las categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística.

3.1 Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es aplicada, para Rivera (2016) este tipo de investigación utiliza toda la información disponible para la creación de nuevas tecnologías y métodos. Vargas (2009) precisó que la investigación requiere rigurosidad y excelencia, con el objetivo de proponer y desarrollar nuevas investigaciones, favoreciendo en la toma del conocimiento de la realidad que se está investigando.

El diseño de investigación es cualitativo narrativo de tópicos, según González (2017) precisó que la narración no son simples manifestaciones de un cierto género literario, sino más bien constituyen una manera de estar en el mundo a través de la recolección de datos para la investigación.

En la presente investigación se recopiló y enfatizó intelectos científicos existentes, de esta manera se logró sistematizar la información, a fin de generar un nuevo conocimiento y que sirva para futuras investigaciones respecto al uso de la especie *E.C* para el tratamiento de aguas residuales domesticas en humedales artificiales.

3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

Para ello se desarrolló una matriz de categorización apriorística, el cual hace mención de las categorías y subcategorías, así como los criterios que se establecieron para el análisis e interpretación de la información recopilada durante el desarrollo de la investigación (Tabla 1).

Tabla 1. Matriz de categorización apriorística

Objetivo general	Problema general	Objetivo específicos	Problema específico	Categoría	subcategoría	Unidad de análisis		
Sintetizar información del uso de la <i>E. C.</i> (Jacinto de agua) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en humedales artificiales.	¿Cuál es el uso de la <i>E. C.</i> (Jacinto de agua) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en humedales artificiales?	Describir el sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas con la <i>E.C.</i>	¿Cuál es el sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas con la <i>E.C.</i> ?	Humedal artificial	Humedal artificial de flujo libre	Rentería (2020). Vizcaíno y Fuentes (2016).		
		Explorar las características que posee la <i>E.C</i> como especie fitodepuradora en humedales artificiales.	¿Qué características posee la <i>E.C</i> como especie fitodepuradora en humedales artificiales?	Características	Adaptación	Rodríguez, Chire y Guilarte (2013)		
					Crecimiento	Vargas (2018)		
					Reproducción	Guevara y Ramírez (2015)		
		Identificar los indicadores utilizados para medir la reducción de contaminantes de las aguas residuales domésticas en humedales artificiales por la <i>E.C.</i>	¿Cuáles son los indicadores utilizados para medir la reducción de contaminantes de las aguas residuales domésticas en humedales artificiales por la <i>E.C.</i> ?	Parámetros reducidos	Proceso biológico	García (2012, p. 20) Delgadillo et al. (2010). Núñez et al. (2011)		
					DBO	Rentería (2020)		
					DQO	Rodríguez et al. (2010) M. Cruz et al. (2016)		
					SST	Quispe, Arias, Martínez, Cruz (2017)		
							Ph	Vargas (2018)
							Fósforo	Vizcaíno y Fuentes (2016).
					Nitrógeno			
					CF			
					CT			

Fuente: Elaboración propia

3.3 Escenario de estudio

Los humedales artificiales son sistemas construidas por el hombre que utiliza los recursos de la naturaleza para dar tratamiento a las aguas residuales, mediante el sustrato (arena, grava, piedra) son los elementos físicos que se encargan de filtrar y retener la materia orgánica y los sólidos, posteriormente el proceso biológico donde la flora (hidrófitas) y microorganismos que se hospedan en la zona radicular de la planta, contribuyen en la absorción de nutrientes tales como fósforo y nitrógeno del efluente, asimismo se instala una capa impermeable con el objetivo que el líquido no filtre en el subsuelo (Ruiz, 2019).

La *E.C* es una especie que ha sido adaptada a los humedales artificiales, ya que reúne las características para que la macrófita flotante se desarrolle, se replique y realice el proceso denominado fitodepuración, actuando sobre los contaminantes fósforo, nitrógeno y materia orgánica, además de reducir algunos parámetros tales como la DBO, DQO, y la tasa de patógenos presentes en el agua residual.

3.4 Participantes

Los participantes son aquellas fuentes bibliográficas, que ayudaron a la recopilación de datos, mediante la búsqueda documental, es decir se lleva todo un proceso para lograr identificar, seleccionar y obtener las mejores fuentes para la información bibliográfica de acuerdo a un tema o estudio de investigación, de tal manera que pueden ser de libros, tesis, reportes técnicos, reportes de investigación, artículos de revistas científicas, archivos, fotografías, datos estadísticos, etc (Torres, 2011, p. 145-146).

En nuestra investigación cualitativa narrativa de tópicos se recolectó información bibliográfica, teniendo como participantes un total de 45 artículos que fueron recopilados de la base de datos tales como: Scopus (10), Scielo (12), Dialnet (5), ProQuest (5), EBSCOhost (3) y Google Académico (10), logrando sintetizar y esquematizar la información científica existente.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas son procedimientos y medios que se utilizan para indagar las diferentes etapas del método científico (López, 2017, p. 325), tal es el caso de la técnica del análisis de documentos (contenido), que consiste en la lectura para recopilar la información científica, lectura que debe ejecutarse siguiendo el método científico, en otras palabras, debe ser, sistemática, objetiva, y válida (Andréu, 2002, p. 3), en cuanto a los instrumentos de recolección de datos, son el conjunto de herramientas, que se usa para recoger y almacenar datos, a partir de una laboriosa búsqueda en la literatura científica (Gómez y Amaya, 2013).

Para el acopio y manejo de la información pertinente, fue necesario el empleo de una ficha bibliográfica, que según Robledo (2006), es un instrumento que permite el registro e identificación de las fuentes de información, así como el acopio de datos o evidencias.

En esta investigación se enfocó al análisis de la información científica, de acuerdo a su tipo y diseño, que con ayuda de la técnica del análisis de documentos (contenido) y su respectivo instrumento, que fue una ficha bibliográfica de recolección de datos de los estudios revisados, permitió tener una mayor facilidad en el análisis de las categorías y subcategorías, para el presente estudio y que a continuación se observa dicha ficha (Tabla 2).

3.6 Procedimientos

Los Procedimientos, son un conjunto de herramientas de apoyo, que se debe seguir jerárquicamente, es decir lleva una secuencia que ayuda a tener una información ordenada, objetiva y sistemática, por ende se recoge una información detallada para la obtención de un resultado (Vivanco, 2017).

En la investigación, se describió los procedimientos de inicio a fin, para el desarrollo de la investigación cualitativa narrativa de tópicos, de tipo aplicada, para ello se estableció tres fases, a continuación, se expone el desarrollo de cada una y se adjunta la tabla 2 y figura 1.

Fase 1: Búsqueda de información

Es el inicio al proceso de investigación científica, consiste en la búsqueda exhaustiva de datos e información científica, utilizando la base de datos académicos como WEB OF SCIENCE, SCOPUS, SCIELO, REDALYC, EBSCO, ProQuest y Google Académico, considerando las palabras clave tales como: fitodepuración o biodepuración, Jacinto de agua o (*E.C*), aguas residuales o aguas residuales domésticas, y humedales o humedales artificiales, como referencia al trabajo de investigación, con el objetivo de hallar fuentes bibliográficas confiables.

Fase 2: Selección de información

Luego de la búsqueda y posterior recopilación de información, esta fase selecciona las referencias bibliográficas que cumplieron los criterios establecidos en la tabla N° 3 tales como: Estudios realizados a nivel internacional; estudios publicados en idioma inglés, portugués y español; con procedencia en revistas indexadas; datos e información científica general entre los años 2010-2020; para artículos relevantes entre los años 2015-2020 y aquellos estudios que utilicen los humedales como sistemas de tratamiento de las aguas residuales domésticas, esta fase tuvo la finalidad de filtrar el contenido para asegurar la objetividad, confiabilidad y validez, por consiguiente se llevó a efecto los criterios formulados para el desarrollo de la presente investigación.

Fase 3: Análisis de información

Finalmente, esta última fase se enfocó al análisis de la información científica, de acuerdo a su tipo y diseño, con ayuda de la técnica del análisis de documentos y su respectivo instrumento, que fue una ficha de recolección de datos de los estudios revisados, por ende permitió tener una mayor facilidad en el análisis de las categorías y subcategorías.

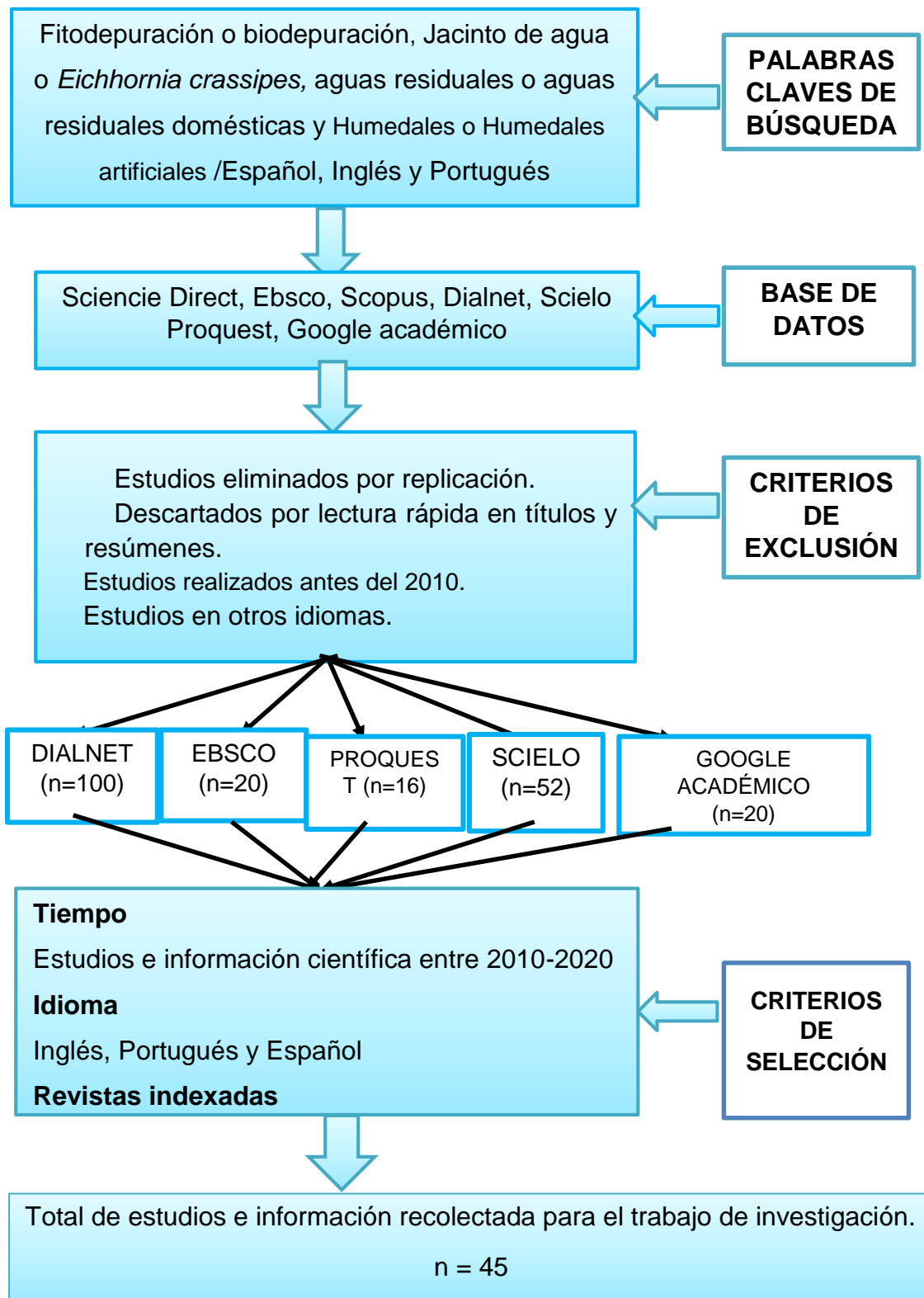


Figura 1. Procedimiento para la evaluación de la revisión sistemática

Fuente: Elaboración propia

En la figura 1, detalla el procedimiento para la evaluación de la revisión sistemática, donde se realizó la búsqueda de información en base de datos (Scopus, Dialnet, Scielo, entre otros), empleando las palabras claves, criterios de inclusión, para la elaboración del trabajo de investigación.

Tabla 2. Resumen de criterios de búsqueda

Tipo de documentos	Cantidad de estudios	Palabras claves de búsqueda	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículo científico	33	Fitodepuración o biodepuración Jacinto de agua o <i>Eichhornia crassipes</i> Aguas domesticas o aguas residuales Humedales o	Tiempo Estudios e información científica entre 2010-2020 Idioma Inglés, portugués y español Revistas indexadas	Estudios realizados antes del 2010. Estudios en otros idiomas. Revistas no indexadas. Revistas en base de datos no confiables. Descartados por lectura rápida en títulos y resúmenes
Libros	2	Humedales artificiales		
Tesis	10			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2, se resume todos los criterios de búsqueda en artículos científicos, libros, capítulos de libro y tesis usados en el presente estudio de investigación, de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión.

3.7 Rigor científico

Para Salgado (2007, p. 74), el “rigor científico en investigaciones de enfoque cualitativo tiene como objetivo fundamental garantizar que el indagador refleje resultados y hallazgos, lo más fidedignamente posible, adaptándose a la realidad estudiada”, asimismo la consistencia lógica proporciona una especie de confiabilidad cualitativa, es decir “el grado en que diferentes investigadores que recolectan datos similares, efectúan los mismos análisis, generando resultados equivalentes”, además el grado de transferencia dependerá de la semejanza

entre contextos y referentes teóricos instaurados, a fin de que el desarrollo investigativo pueda ser replicado en otros contextos (Corral, 2016, p. 198-200).

En la investigación el rigor científico, se cumplió mediante las descripciones detalladas sobre el uso de la *E. C* para el tratamiento de aguas residuales domésticas en humedales artificiales, en este sentido la transferencia y consistencia lógica, ayudó a evaluar la efectividad de diversos casos y su aplicabilidad de los diversos estudios científicos ya recopilados, también se tuvo en cuenta sus metodología y resultados, evitando el sesgo y distorsiones del contexto a fin de sistematizar la información para generar un nuevo conocimiento.

3.8 Método de análisis de información

Para el presente proyecto de acuerdo con el proceso de una investigación cualitativa, se procedió en la búsqueda y selección de documentos bibliográficos (artículos científicos, capítulos de revistas, tesis, libros, entre otros) de manera sistemática, por ello Taylor & Bogdan (1990) citado por Salgado (2007), hace referencia de un enfoque de análisis continuo respecto a la investigación cualitativa, que radica en tres momentos: Descubrimiento, codificación y relativización (p. 74).

En la primera fase, se realizó la búsqueda de una lista de palabras clave, teóricamente relevantes para la selección de información; por consiguiente la fase de codificación presentó la recopilación y análisis de todos los datos respecto al tema de investigación propuesto, es decir estudios realizados (antecedentes), interpretaciones, definiciones, entre otros; por último la fase de relativización de los datos, que consistió en interpretar los datos de acuerdo a las categorías y subcategorías, sin olvidar los criterios establecidos en la investigación .

El análisis crítico y descriptivo, fue esencial para determinar la efectividad de un artículo, estudio o documento científico, por medio de la lectura en los estudios existentes de las diversas fuentes de datos para la investigación, a fin de comprenderla y lograr la correcta interpretación de los datos, además de entender lo que nos proporciona el autor.

3.9 Aspectos éticos

La ética en la investigación científica comprende los criterios a respetar independientemente de su nivel de imparcialidad, además se define comportamientos relacionados con la cuestión de la autoría de tales obras, siendo el plagio una falta de conciencia sobre las normas, que lleva a los autores a cometer faltas éticas, estos principios de la ética científica garantizan la credibilidad de la labor y la originalidad del texto científico (Wasserman, 2010).

En el trabajo de investigación, se consideró y valoró la propiedad intelectual ajena; los permisos legales, por ello se logró acceder del todo al documento original mediante la autorización; protocolos dispuestos por nuestra casa de estudio, además se empleó el estilo APA séptima edición, a fin de asegurar la objetividad, confiabilidad y validez, por lo tanto se cumplió los aspectos éticos para el desarrollo de la presente investigación científica.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se obtuvieron en base a los estudios realizados por los distintos autores, los resultados están de acuerdo a los objetivos específicos establecidos en la investigación.

4.1 Descripción de los humedales artificiales, como sistemas de tratamiento para las aguas residuales.

Los humedales artificiales son sistemas fitodepuradores de aguas residuales, donde utiliza macrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres (Marín, Solís, López, Bautista y Romellón, 2016). Estas plantas cumplen las funciones de distribuir el oxígeno al sistema radicular donde viven microorganismos, absorber nutrientes más exactamente nitrógeno y fósforo, asimilar los contaminantes y filtrar los sólidos con el entramado que forma el sistema radicular (Granados, 2018), además dicho sistema comprende de una capa impermeable con el objetivo de evitar que el líquido filtre en el subsuelo (Ruiz, 2019).

Para la instalación del sistema en campo definitivo, se requiere sellar con una capa de arcilla, otras alternativas son los tratamientos químicos, una capa de bentonita, asfalto o algún tipo de membrana impermeable (Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade, 2010).

El sustrato conformado por arena, grava, piedra, son los elementos físicos que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además se encargan de filtrar y retener la materia orgánica y los sólidos (Vargas, 2018, p. 15), por ello (Coronel, 2016; Delgadillo et al., 2010), aplicaron un pretratamiento al afluente, donde usó filtro de grava para reducir los residuos sólidos presentes, esto se debe a la alta carga orgánica presente en el afluente.

Por otro lado M. Cruz et al., (2016) y Vásquez (2018) recomendaron usar la trampa o un filtro para atrapar las grasas y aceites antes de entrar en los estanques, de esta forma se da un pretratamiento al afluente, debido a la presencia continua de grasas y aceites, pues el objetivo es que estos contaminantes no dificulten la investigación. Todo este proceso hace posible que el afluente sea depurado progresiva y lentamente (Rodríguez, et al., 2010).

Chang y Huamán (2019) usaron un sistema de tratamiento primario denominado sedimentador convencional para tratar el agua residual (p. 62); mientras Rodríguez, et al. (2010), emplearon la cámara presedimentadora de sólidos de gran tamaño, ambos investigadores indicaron que al aplicar un tratamiento primario, influye en la eliminación de la DBO particulado debido al fenómeno de sedimentación.

Jamuna y Noorjahan (2009) cubrieron la superficie exterior de los estanques con papeles negros de polietileno para evitar la entrada de luz excesiva de los lados; posteriormente instalaron la tubería hidráulica dentro del humedal, dejando el espacio para la entrada del agua permitiendo así una distribución homogénea de manera horizontal en toda la sección longitudinal (Marín et al., 2016).

Es necesario que la pendiente de la superficie del humedal sea plana, para evitar que se formen charcos de agua sobre la superficie, sin embargo, para la pendiente del fondo o lecho del humedal varía de 0.5 a 2% (Delgadillo et al., 2010), por ello Rodríguez, et al. (2010) destinaron una pendiente ligera del 1%, en consecuencia, el porcentaje de inclinación ayudara a la buena circulación del agua. Para asegurar el impedimento del ingreso de lluvias y hojas secas al sistema, se debe añadir la construcción de la cubierta con calamina (Chang y Huamán, 2019, p. 67).

El sistema depurador por lo general tiene un rango de profundidad de 30 a 100 cm, sin embargo, puede llegar a ser mayor a 1 metro (Marín et al., 2016). Rezaia, Md Din, Mat Taib, Dahalan, Rahman, Singh y Kamyab (2015) aplicaron una profundidad de 90 centímetros; (Rodríguez et al., 2010; Chang y Huamán, 2019) construyeron un humedal artificial con una profundidad de 60 centímetros, por lo general las dimensiones de profundidad es de acuerdo con las raíces de las plantas, en los casos anteriores, se trabajó con la E. C. como especie fitodepuradora.

Renteria, 2020; Rodríguez et al., 2010; Chang y Huamán, 2019; Andersson, Kallner y Tonderski, 2005, usaron la macrófita *E. C.* en humedales artificiales de flujo libre así como se muestra en la figura 2, donde el agua está expuesta a la atmósfera a condiciones meteorológicas naturales, siendo un factor influyente para el tratamiento de las aguas residuales dado que a climas tropicales con temperaturas de 15 – 25 °C son favorables para el proceso de fitodepuración. Este criterio es para que la *E. C.* tenga el ambiente para desarrollarse, multiplicarse y realizar el proceso depurador (Perales, 2018).

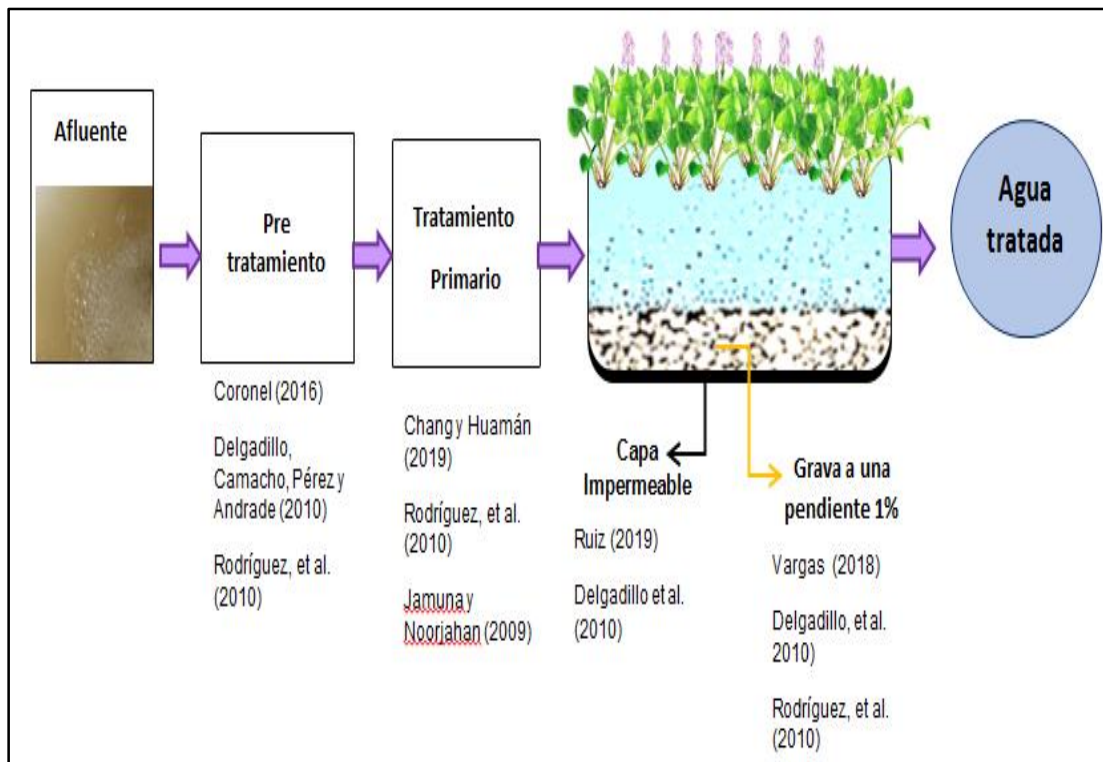


Figura 2. Humedal artificial de flujo libre con la *Eichhornia crassipes*

Fuente: Elaboración propia

Un humedal artificial de flujo libre abastecido con la *E. C.*, es aquel sistema fitodepurador apropiado para realizar el tratamiento a las aguas residuales domésticas, debido a las características propias de este tipo de humedal, donde la poca profundidad es ideal para una macrófita flotante en el caso de la *E.C.* sus raíces se encuentran sumergidas en el agua residual, mientras tanto sus hojas, peciolos, estolones y flores, flotan sobre la lámina del afluyente, además contiene un sustrato o lecho en el fondo del humedal artificial compuesto por grava a una pendiente de 1%, este porcentaje de inclinación ayudara a la buena circulación

del agua durante el procesos de fitodepuración, asimismo el empleo de una membrana impermeable sirve para prevenir la filtración del agua residual en el subsuelo, este tipo de humedales suelen ser instalaciones de varias hectáreas, que principalmente reciben efluentes procedentes de tratamientos primarios.

Con respecto a los estudios que construyeron los humedales artificiales a escalas menores, donde el 31% emplearon estanques de vidrio, ya que sus dimensiones del sistema depurador, se adapta a condiciones de laboratorio operando como un humedal artificial de flujo libre, esto permitió simular dicho sistema para su posterior aplicación en tamaño o escala real. Durante el tratamiento el agua estuvo expuesta a la atmósfera a condiciones meteorológicas naturales. El sistema depurador conlleva un tratamiento controlado para la reutilización ambiental de las aguas tratadas.

Cumpliendo con el objetivo específico 1, se muestra la tabla 3, que contiene 32 estudios realizados en distintos humedales artificiales, es decir los autores realizaron la simulación del sistema de tratamiento, pero a escala de laboratorio usando tinajas de plástico, estanques de vidrio, baldes, entre otros (figura 3); también se emplearon humedales artificiales que fueron establecidos en campo y/o a escala real.

Tabla 3. Estudios realizados con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Referencia	Humedales artificiales	Cantidad de estudios
Jamuna y Noorjahan (2009) - India L. Valderrama (1996) - Colombia Suresh y Surinder (2020) - India	Tinas de plástico	3
Quispe, Arias, Martínez y Cruz (2017) - Perú Cruz, et al. (2016) - Perú E. Renteria (2020) - Perú	Laguna	3
Morales, Reyes, Quiñones y Milla (2019) - Perú	Peceras	1
Mendoza, Marín, Castro y Behling (2016) – Colombia	Cubetas de vidrio	1
Vásquez (2018) - Perú Clóris y Araújo (2018) - Brasil XU Zu-xin, GAO Yue-xia y WANG Sheng Ai Lie-qi (2010) - China B. Magar, N. Khan y Abdulrazzak Honnutagi (2017) - India C. Mcdonald y Wolverton (1980) - Estados Unidos de América L. Perales (2018) – Perú Mendoza, Pérez y Galindo (2018) - Colombia A. Guerrero y F. Jibaja (2019) - Perú Ayala, Calderón, Rascón y Collazos (2018) - Perú Vizcaíno y Fuentes (2016) - Colombia	Estanques de vidrio	10
U. Carreño (2016) - Colombia	Baldes	1
C. Akinbile y M. Yusoff (2012) - Reino Unido/Inglaterra	Contenedores	1
Wattanapanich, Durongpongton y Ariyakanon (2020) - Tailandia Rodríguez, Gómez, Garavito y López (2010) - Colombia K. Vargas (2018) – Perú	Tanques de vidrio	3
K. Chang y C. Huamán (2019) - Perú E. Coronel (2016) - Perú E. Núñez (2019) - Perú León y Lucero (2018) - Ecuador Marín, Solís, López, Bautista y Romellón (2016) - México M. Granados (2018) – Colombia Arteaga, Quevedo, Valle, Castro, Bravo y Ramírez (2020) - México	Humedales en campo	8
O. Delgadillo, A. Camacho, L. Pérez, M. Andrade (2010) - Bolivia	Reactor de plástico	1

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3, se expone las distintas formas para la simulación de un humedal artificial, siendo los estanques de vidrio los más usados en laboratorio, ya que sus dimensiones del sistema depurador, permite simular la factibilidad de dicho sistema para su posterior aplicación en tamaño o escala real, teniendo una

cantidad de 10 estudios; también hay 8 estudios con humedales artificiales instalados en campo, a pesar de las ventajas que tienen estos sistemas para tratar aguas residuales de tipo doméstico, son pocos los estudios realizados en campo, debido a la disposición de terreno para su instalación.

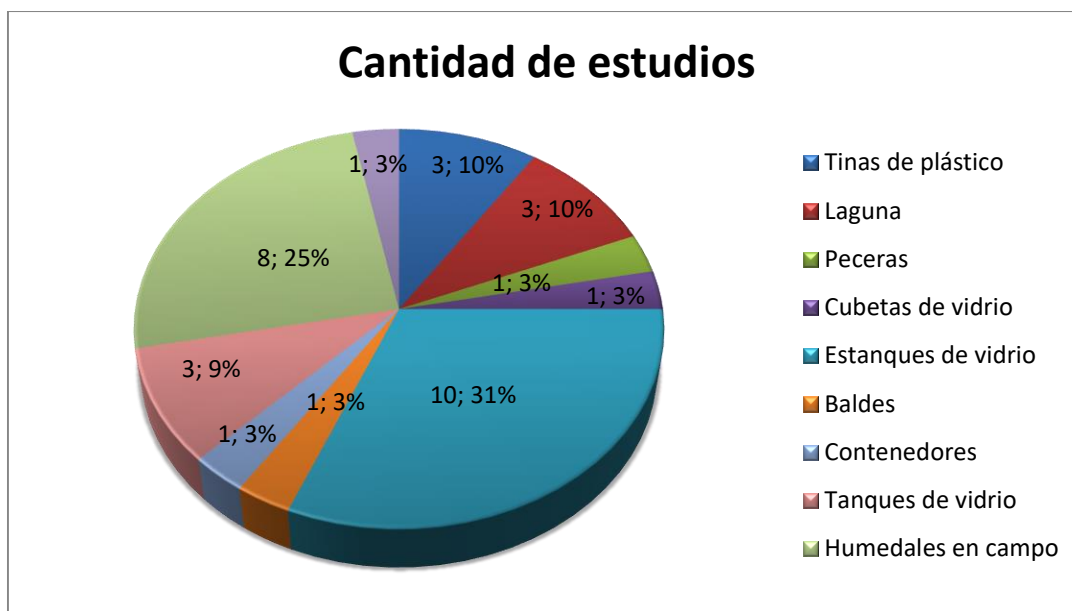


Figura 3. Cantidad de estudios que usan humedales artificiales para tratar aguas residuales domésticas

Fuente: Elaboración propia

La figura 2 muestra la cantidad de estudios que usan humedales artificiales para tratar aguas residuales domésticas, teniendo un total de 32 estudios, a la vez indica las distintas formas para la simulación de un humedal artificial, teniendo un 31% el empleo de estanques de vidrio, y un 1% por cada sistema el empleo de cubetas de vidrio, baldes, contenedores y peceras.

De tal modo este sistema de tratamiento, denominado humedales artificiales son considerados un lugar propicio para mejorar las aguas respecto a su calidad y con bajos costos económicos, esto se debe a su mínimo consumo de energía convencional y la practicidad en el mantenimiento y operación de los sistemas de tratamiento (Coronel, 2016, p. 21).

4.2 Características de la *Eichhornia crassipes* como especie fitodepuradora en humedales artificiales.

La *Eichhornia crassipes* es una macrófita acuática flotante no enraizada (García, 2012, p. 20), originaria de la Amazonía, pero en la actualidad se distribuye en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Carlini, Castellucci y Mennuni, 2018). Puede vivir en aguas dulces tranquilas o de ligero movimiento, como zanjas, canales, presas, arroyos, ríos y pantanos. La *E. C.* tiene un crecimiento rápido en el entorno de 20 a 30°C de temperatura, de esta forma disminuye el flujo de agua en los depósitos, pero se estancan en el rango de 8 a 15°C de temperatura (Rodríguez, Chire y Guilarte (2013).

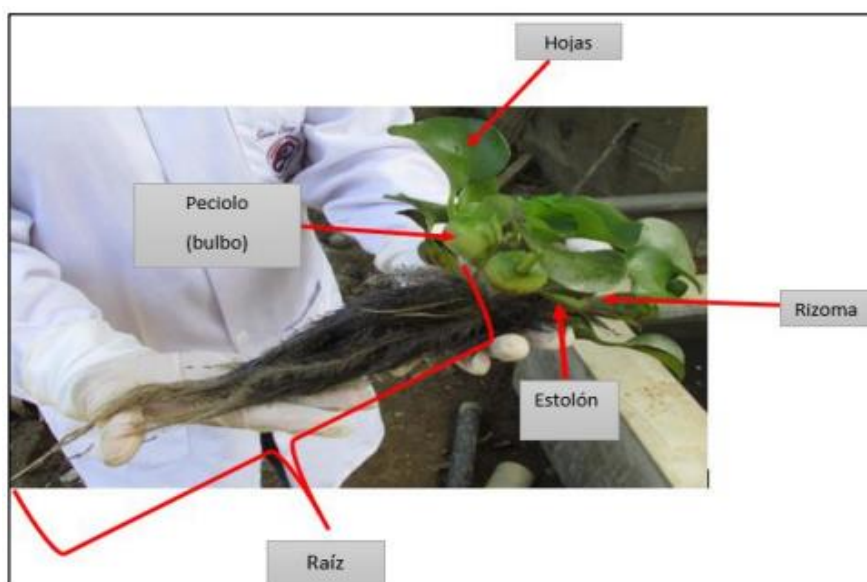


Figura 4. Morfología de la *Eichhornia crassipes*

Fuente: Chang y Huamán (2019, p. 38).

Nota: La imagen representa la morfología de una macrófita flotante (*Eichhornia crassipes*).

Así como se observa en la figura 4, la especie muestra una morfología compuesta por los pecíolos, el cual le permite flotar en la superficie del agua, así como la circulación y almacenamiento del oxígeno atmosférico que posteriormente será liberado en el afluyente (García, 2012, p. 17), también posee estolones un órgano primordial para su rápida reproducción en las áreas donde viven (Conabio, 2015) y finalmente su masa radicular de color marrón azulado, en ella se encuentran microorganismos asociados, que favorece la acción

depuradora de las plantas acuáticas, reteniendo en sus tejidos metales pesados (Cd, Hg, As) y disminuye niveles de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos (Coronel, 2016).

Proceso de remoción o depuración de contaminantes en los humedales artificiales con la *E. C.*

Los sólidos suspendidos en un humedal artificial, se eliminan por mecanismos de filtración y floculación/sedimentación, donde la filtración lo realiza las raíces de la *E. C.* y la floculación sucede por la unión de partículas cargadas eléctricamente que colisionan entre sí por efecto de barrera que hacen las raíces; una vez alcanzadas un determinado tamaño de floculo estos sedimentan (Coronel, 2016, p. 44). Por otro lado, los sólidos presentes en el humedal pueden provenir también de los restos de las plantas, microorganismos y precipitados (Mora, 2016 citado por Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade, 2010).

La remoción de la materia orgánica, es de dos formas: físicos y biológicos, tal como se muestran en la figura 5. La remoción física es similar a la eliminación de sólidos suspendidos, sin embargo, solo ocurrirá cuando la materia orgánica se encuentre en forma de partículas, coloides y supra coloides (Delgadillo et al., 2010). La degradación aerobia lo realizan los microorganismos que habitan en la masa radicular de las macrófitas y en las áreas donde llega el oxígeno (García, 2012, p. 20); por lo tanto, reciben el oxígeno a través de la aireación del agua y por difusión del oxígeno del aire a través de la superficie del agua (Arias, 2004 citado por Delgadillo et al., 2010). Los microorganismos aerobios transforman la materia biodegradable en compuestos minerales, gases y biomasa microbiana (Coronel, 2016); por otro lado, los microorganismo anaerobios utilizan compuestos diferentes al oxígeno como aceptores de electrones y para tener una buena reducción de la materia orgánica tienen que liberar metano o hidrógeno (Delgadillo et al., 2010).

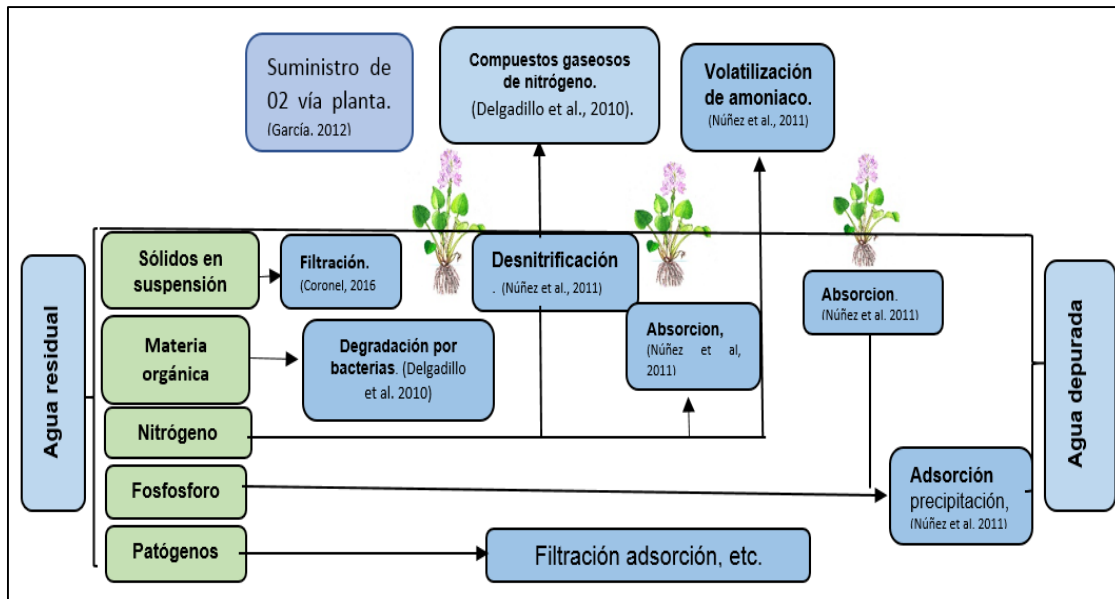


Figura 5. Procesos de depuración de los humedales artificiales.

Fuente: Elaboración propia.

Los procesos biológicos para remover el nitrógeno en los humedales son: amonificación, nitrificación, desnitrificación, fijación de nitrógeno y asimilación por las plantas (Núñez, Cárdenas, Ramírez, Rincón, Saules y Morales, 2011). La amonificación consiste en la conversión biológica del nitrógeno orgánico a nitrógeno amoniacal, proceso que ocurre durante la degradación de la materia orgánica (Peñafiel, Carla, y Ochoa-Herrera, 2016 citado por Delgadillo et al., 2010). La nitrificación es la conversión del amonio a nitrato por microorganismo autótrofos que utilizan el CO₂ como fuente de carbono, realizándose el proceso en zonas aerobias (García, 2012).

La desnitrificación es un proceso donde los microorganismos facultativos reducen los nitratos a compuestos gaseosos de nitrógeno, este proceso tiene lugar en los sedimentos del humedal y en biopelículas de zonas con muy bajo oxígeno disuelto y con alta disponibilidad de carbono (Arteaga, Quevedo, Valle, Castro, Bravo y Ramírez, 2020). El proceso fijación son realizadas por las bacterias fijadoras de nitrógeno. Por otro lado, las macrófitas acumulan el nitrógeno principalmente en sus órganos vegetativos verdes (Núñez et al., 2011).

El agua residual contiene fósforo en forma de fosfatos, ya sean disueltos o en partículas, en el caso del fosforo soluble el suceso de depuración se da por procesos fisicoquímicos denominados adsorción/absorción, intercambio, precipitación y solubilización, los cuales son realizados sobre las biopelículas de la masa radicular de las macrófitas y sobre los sedimentos del humedal artificial (Núñez et al., 2011). Al mismo tiempo, el fosforo orgánico disuelto, fosforo orgánico en partículas y fosforo insoluble no están disponibles para las plantas, a menos que sean transformados en fosforo inorgánico soluble (Arteaga et al., 2020). En el humedal estas transformaciones pueden ocurrir por la intervención de los microorganismos que se encuentran suspendidas, en las biopelículas del sistema radicular de las macrófitas y en los sedimentos (Mora, 2016 citado por Delgadillo et al., 2010).

En las aguas residuales existen una gran variedad de patógenos, la mayor parte de los microorganismos no sobrevive por falta de adaptación al medio, otros desaparecen por organismos depredadores, por efecto a la radiación ultravioleta (Delgadillo et al., 2010).

De acuerdo a los estudios revisados, se utilizaron la especie flotante *Pistia stratiotes* comúnmente conocida como lechuga de agua, que en combinación con la *E. C.* tuvieron resultados de hasta 93% de eficiencia respecto a la turbidez y sólidos suspendidos, para DBO5 71.2 a 79.1 %, para DQO 64,2 a 76,2 % y para CT - CF 99.9%, los rangos de efectividad son similares para los estudios analizados, donde a un pH de 6-9, temperatura de 15-38 °C, y aguas ricas en nutrientes son las condiciones favorable para el tratamiento del afluente, que debido a su alta necesidad por iluminación, pueden adaptarse a una gran variedad de climas, por otro lado se comparó la *E. C.* con la especie flotante *Lemna minor* más conocida como lenteja de agua, teniendo una eficiencia promedio de remoción de los parámetros fisicoquímicos y biológicos del 88,24% y 81,24% respectivamente, debido a que *Lemna minor* presenta un tamaño reducido en su morfología, sin embargo logra sobrevivir a climas.

Para mejores resultados en cuanto a remoción de parámetros físicos y microbiológicos es la especie *Nymphoides humboldtiana*, y para los parámetros químicos respecto a la DBO y DQO es la especie *E. C.* ya que presentó una

mayor eficiencia en la remoción de materia orgánica, esto se debe a que ambas especies poseen un sistema radicular que tiene microorganismos asociados a ellas, lo que les permite remover los compuestos orgánicos y disminuir de gran manera los niveles de los parámetros físicos.

4.3 Indicadores utilizados para medir la reducción de contaminantes de las aguas residuales domésticas en humedales artificiales por la *E.C.*

Los indicadores, son aquellos parámetros reducidos al usar la *E. C* para el tratamiento de aguas residuales domésticas en humedales artificiales, siendo la Demanda biológica de oxígeno (DBO), Demanda química de oxígeno (DQO), fósforo, nitrógeno y coliformes fecales, los parámetros y contaminantes reducidos por la especie, a continuación se presenta la tabla 4 que muestra los estudios realizados por los distintos autores.

Tabla 4. *Parámetros reducidos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas con húmedas artificiales.*

N°	AUTOR(ES)	PLANTAS ACUÁTICAS	TIPO DE AFLUENTE	PARÁMETROS REDUCIDOS	RESULTADO EN %
1	Ayala, Calderón, Rascón y Collazos	<i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Nymphoides humboldtiana</i> y <i>Nasturtium officinale</i>	Aguas residuales domésticas	DBO	<i>Eichhornia crassipes</i> , obtuvo una eficiencia promedio de remoción de DBO 84.72%, mientras que <i>Nymphoides humboldtiana</i> lo hizo en un DBO 82.%, y <i>Nasturtium officinale</i> en un 79.9%
2	Rodríguez, Gómez, Garavito y López	<i>Lemna minor</i> y <i>Eichhornia crassipes</i>	Aguas residuales domésticas	DBO	Remoción de materia orgánica (DBO) de 70% al utilizar la E. C y de 58% cuando se utiliza lenteja de agua.
3	Marín, López, Bautista y Romellón	<i>Pontederia cordata</i> (Tule) y <i>Phragmites australis</i> (Carrizo)	Aguas residuales domésticas	DBO DQO	DBO 87.55 % DQO 95.44 %.
4	S. Jamuna y CM Noorjahan	<i>Eichhornia crassipes</i>	Aguas residuales	pH (DBO) ⁵ DQO Cromo Cobre Zinc	DBO (biotratado 83,33% y bio-no tratado 80%), DQO (bio-no tratado 78,93% y biotratado 88,69%) y metales pesados como el cromo (bio-no tratado 84,74% y biotratado 100%), Cobre (bio-no tratado 87,21% y biotratado 89,43%), Zinc (bio-no tratado 99,07% y biotratado 100%) se registraron utilizando plantas de Jacinto de agua.

5	Quispe, Arias, Martínez y Cruz	<i>Eichhornia crassipes</i>	Aguas residuales	PH T° (C°) Conductividad (uS/cm) Ox. Disuelto (ppm) Solidos Totales(mg/L) Turbiedad (UNT) DBO5 (mg/L) DQO (mg/L) Sulfato(ml/L) Plomo total (ml/L)	Se obtuvo una eficiencia del 31% en la remoción de parámetros fisicoquímicos (conductividad (Us/cm)), Oxígeno disuelto (mg/L), solidos totales ((mg/L), turbiedad (UNT), pH, temperatura (°C), DBO5 (mg/L), DQO (mg/L) y fosfato (mg/L).
6	M. Cruz, N. Carbo, Javier L. L. Gonzales, G. M. Tito, K. Depaz, S. Torres, R. Núñez, J. Torres, W. Quispe	<i>Eichhornia crassipes</i>	Aguas residuales urbanas y domésticas	pH coliformes totales Coliformes Fecales Arsénico total Plomo total	Se obtuvo una eficiencia del 85% en los parámetros tales como pH, coliformes totales, Coliformes Fecales, Arsénico total y Plomo total.
7	Suresh y Surinder	Jacinto de agua, lechuga de agua y lenteja de agua	Aguas residuales procedente de los molinos de arroz	pH Temperatura DQO DBO Fósforo total	La eficiencia del total de fósforo (TP) es 80% y la demanda química de oxígeno (DQO) hasta el 75% para la lechuga de agua y jacinto de agua.

8	Morales, Reyes, Quiñones y Milla	<i>Eichhornia crassipes</i>	Agua residual del colector Santa Lucia-Chachapoyas	(DBO)5 DQO	(DBO)5= DQO= 47%	52.9%
9	Mendoza, Marín, Castro y Behling	<i>Eichhornia crassipes</i>	Aguas residuales domésticas	(DBO)5 DQO Amonio SST Orto fosfato Bacterias coliformes	Eficiencias de remoción de materia orgánica (DBO)5 el 83 % y DQO 87 %; amonio 87 % y orto fosfato 31 %; SST y de bacterias coliformes fueron reducidas en 67 y 99 %.	
10	CO Akinbile y Mohd S. Yusoff	Jacinto de agua y lechuga de agua	Aguas residuales de acuicultura	T° PH OD Turbidez DBO DQO Nitrógeno total Nitrógeno amoniacal Nitrato-nitrógeno Nitrito-nitrógeno Fosfato	La reducción porcentual de turbidez para <i>Eichhornia crassipes</i> fue 85,26% y 87,05% mientras que <i>Pistia stratiotes</i> fueron 92,70% y 93,69%.	
11	Mendoza, Pérez y Galindo	<i>Pistia stratiotes</i> y <i>Eichhornia crassipes</i>	Aguas residuales Municipales	(DBO)5 DQO CT CF	71,2 a 79,1 % 64,2 a 76,2 % 99,9% para CT y CF.	(DBO)5 DQO

12	Vásquez	<i>Eichhornia Crassipes</i>	Aguas residuales de la UCV- Trujillo	(DBO)5 DQO SST	En cuanto al mayor porcentaje fue: (DBO)5 se obtuvo 63.9% (DQO) fue 64.1% (SST) de 61.3%
13	K. Chang y C. Huamán	<i>Eichhornia Crassipes</i> y <i>Pistia stratiotes</i>	Aguas residuales domésticas	Aceites y grasas DBO DQO SST Coliformes fecales	La macrófita E. C. removió el parámetro de aceites y grasas a 75.4%, DBO a un 78.2%, DQO al 72.1%, STS 82% y Coliformes fecales 99.9%, por otro lado, la macrófita <i>Pistia Stratiotes</i> removió el parámetro de aceites y grasas a 75.4%, DBO a un 79.8%, DQO al 73.7%, STS 82% y Coliformes fecales 99.9%
14	E. Núñez	<i>Eichhornia crassipes</i>	Aguas residuales domésticas	Aceites y grasas (DBO)5 DQO Turbidez Conductividad SST	Los resultados muestran un porcentaje de remoción en Aceites y grasas 76%, (DBO)5 95%, DQO 92%, turbidez 96%, Conductividad 59% y SST 95%.
15	M. Clóris y H. Araújo	<i>Eichhornia crassipes</i>	Aguas residuales domésticas	Orto fosfatos	Los resultados mostraron eliminación hasta 88% orto fosfatos (dejando 0,21 mg / l) para un tiempo medio de detención de 5.44 días.
16	XU Zu-xin, GAO Yue-xia , WANG Sheng Ai Lie-qi	Jacinto de agua	Aguas residuales domésticas	DQO Nitrógeno total y Fosforo total	Los resultados fueron los siguientes: DQO 81.42% , Nitrógeno total 96.9% y Fosforo total 97.5%.

17	Rajendra B. Magar, Afroz N. Khan, Abdulrazzak Honnutagi	Jacinto de agua	Aguas residuales	(DBO)5 DQO Aceites y grasas solidos totales	La remoción de la E. C. es de 92% para la (DBO)5, DQO 37.5%, Aceites y grasas 66.66% y solidos totales 91.42%.
18	Rodríguez, Gómez, Garavito y López	Lentejas y buchón de agua	Aguas residuales	DBO	Remoción de materia orgánica (DBO)5 entre 70 y 86% al utilizar el buchón de agua, y de 58% cuando se utiliza lenteja de agua.
19	Granados	Papiro Enano, Lirio Amarillo, Lirio Blanco, Lirio Morado y Lirio de Páramo	Aguas residuales	DBO DQO SST	Remoción de 53,1% DBO; 36,6% DQO y 75,7% SST.
20	Coronel	E. C. y <i>Lemna minor</i>	Aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas - Chachapoyas	Turbidez SST DBO DQO Coliformes fecales	Remoción de la E. C. respecto a la turbidez 92,24%, SST 94%, DBO 94%, DQO 92%, coliformes fecales 86,06 mientras que <i>Lemna minor</i> obtuvo un promedio de remoción de turbidez 76,06%, SST 78.91, DBO 85.72%, DQO 80.70%, coliformes fecales 93.71%.

21	E. Renteria	Jacinto de agua	Efluentes de las lagunas de estabilización de San José de Chiclayo – Lambayeque	(DBO)5 SST DQO Aceites y grasas Plomo	La remoción de (DBO)5 es de 71%, para sólidos suspendidos totales 71.5%, DQO 54.21%, aceites y grasas 65% y plomo 57.14%.
22	Rodríguez, Gómez, Garavito y López	Lentejas y buchón de agua	Aguas residuales domésticas	DQO	DQO entre 70 - 86% para el buchón de agua y 58% para la lenteja de agua.
23	Vizcaíno Fuentes	y <i>Eisenia foetida</i> y E. C.	Aguas residuales domésticas	DQO SST	<i>E. foetida</i> en la remoción de DQO 50,09% E. C. DQO 100% y SST 66%.
24	U. Carreño	<i>Eichhornia crassipes</i>	Aguas residuales de curtiembre	Cromo DBO	La eficiencia respecto a la remoción de cromo es de 61% y para la remoción de DBO es de 70%.
25	Wattanapanich, Durongpongton y Ariyakanon	Jacinto de agua	Aguas residuales residenciales y las aguas residuales de surimi	(DBO)5 TSS	La remoción de (DBO)5 es de 92.53%, TSS 90.79% y para las aguas residuales de surimi 93,92%, 45,35% respectivamente.

26	Valderrama	<i>Limnobium laevigatum</i> y E. C.	Aguas residuales industriales	Coliformes totales DBO DQO Sólidos suspendidos totales	Remoción: coliformes totales, 68 y 22% con <i>L. laevigatum</i> y <i>E. crassipes</i> respectivamente; DBO, 76 Y 53%; DQO, 26 y 18%; sólidos suspendidos totales, 70 y 56% con <i>L. laevigatum</i> y E. C.
27	A. Guerrero y F. Jibaja	<i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Lemna minor</i>	Aguas de oxidación	pH (DBO)5 T° (temperatura)	La E. C. obtuvo valores más efectivos con un pH = 7.09, (DBO)5 de 82.98%, temperatura de 23.63 y la especie <i>Lemna Minor</i> obtuvo valores de pH = 8.15, DBO de 77.48% y temperatura de 23.73.
28	K. Vargas	<i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Lemna minor</i>	Aguas residuales domésticas	SST Turbidez DBO Ph	La E.C. en SST 57.50% y <i>Lemna minor</i> SST 30%, Turbiedad (UNT) E.C 68% y L. M 58%, la E. C. en DBO 62.56% y <i>Lemna minor</i> 44.10%, Ph 8.
29	Mcdonald y BC. Wolverton	Jacinto de agua	Aguas residuales	DBO TSS	Se logró una mejora en el efluente (DBO)5 y TSS fueron 56% y 92% respectivamente.
30	Perales	<i>Eichhornia Crassipes</i>	Aguas residuales domésticas	DBO DQO Aceites y grasas	La efectividad en la remoción de DBO fue de 91,24 %, DQO es de 88,54%, Aceites y grasas 91,8 %.
31	Domínguez	Jacinto de agua	Aguas residual de piscícola	DBO DQO Fosforo total	DBO 50% , DQO 30% y PT 99%

32	Ramos, Rodríguez y Martínez	(<i>Scirpus americanus</i>), tule (<i>Typha latifolia</i>) y lirio acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>)	Agua subterránea (agua del Canal Nacional)	Coliformes fecales	La remoción para el Junco es de 79%, para el Tule 23.6% y para la E. C. es de 80.22% respecto a coliformes fecales.
33	F. Gavilánez	<i>Eichhornia crassipes</i>	Aguas residuales de Naranjito	DBO DQO Fósforo total	E. C. tiene una efectividad de 92.4% para la DBO, 92.4% para la DQO y para fósforo total (PT) 54.55%.
34	Arteaga, Quevedo, Valle, Castro, Bravo y Ramírez	Jacinto de agua	Aguas residuales domésticas	DBO DQO	La efectividad respecto a la DQO es de 59,58% y para la DBO fue de 63,18%.
35	Núñez, Cárdenas, Ramírez, Rincón, Saules y Morales	<i>Typha dominguensis</i> y <i>Lemna sp</i>	Aguas residuales domésticas	Amonio Nitrito Nitrato DQO	Efectividad respecto al amonio (93 y 93%), nitrito (63 y 64%), nitrato (45 y 51%) y DQO (51 y 46%).

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de los diversos estudios plasmados en la tabla 4 revelaron que al dar un tratamiento a las aguas residuales mediante la planta acuática E. C. es posible el reciclaje y reutilización de estos efluentes para biocompostproducción de riego y acuicultura (Jamuna y Noorjahan, 2009), estos resultados fueron semejantes a los estudios de M. Cruz et al. (2016) que concluyeron que el agua tratada se puede utilizar para el riego de las áreas verdes, siendo totalmente eficiente su empleo, del mismo modo Renteria (2020) afirmó que el agua tratada es posible emplear para riego de vegetales de tallo alto y bajo.

La E. C. es capaz de reducir los valores de los parámetros tales como DBO, DQO y SST, mostrando concentraciones inferiores respecto a los límites máximos permisibles para efluentes de PTARD según el D.S. 003-2010-MINAM (Vásquez, 2018), así mismo los estudios de K. Chang y C. Huamán (2019), indicaron iguales resultados en sus estudios, pero utilizando la E. C en compañía de *Pistia Stratiotes*, obteniendo un efluente de calidad apta para ser vertidas al cuerpo receptor (rio Chalhuamayo), ya que al comparar los resultados de los análisis mensuales con los parámetros del D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP se encuentran dentro de los límites máximos permitidos.

V. CONCLUSIONES

1. Los humedales artificiales son sistemas depuradores de bajo costo de instalación, operación y mantenimiento; aptos para dar tratamiento a las aguas residuales, ya que reúne las características para que la vegetación presente depure las aguas contaminadas, facilitando el reciclaje y la reutilización del agua, además es posible realizar la simulación de un humedal artificial, con diferentes sistemas pilotos o a escalas reducidas tales como: cubetas de vidrio, baldes, contenedores, peceras y estanques de vidrio, este último tiene un 31% de empleabilidad en laboratorios; y los sistemas anteriores ya mencionados tienen un 1% de empleabilidad por cada sistema piloto.
2. La E. C. es una macrófita flotante con características depuradoras, que fue adaptada a un tipo de humedal artificial de flujo libre, logrando reducir los parámetros físicos-químicos tales como la DBO y DQO, esto se debe a que la especie posee un sistema radicular fibroso con microorganismos asociados a ella, lo que le permite remover los compuestos orgánicos y microorganismos patógenos por medio de la filtración, a la vez utiliza los contaminantes nitrógeno y fósforo para su desarrollo, asimismo disminuye los niveles de los metales pesados siendo un excelente medio filtrante para minimizar los sólidos suspendidos, mostrando inferioridad de eficiencia en la remoción de materia orgánica.
3. La E. C reduce los parámetros tales como la Demanda biológica de oxígeno (DBO) y la Demanda química de oxígeno (DQO) en un 92%, sólidos suspendidos 90%, fósforo 97%, nitrógeno 96%; y en colaboración con la especie *Pistia stratiotes* reduce hasta un 99% los coliformes fecales, siendo los resultados más destacables en los estudios recopilados por los distintos investigadores.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda ejecutar este trabajo a escala mayor in situ, ya que la mayoría de estudios analizados, se realizaron en laboratorio por la falta de espacio o terreno para diseñar y operar el sistema fitodepurador.
2. Realizar un estudio de caracterización a la zona antes de desarrollar el trabajo de investigación, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas naturales, clima tropical con temperaturas de 15 a 25 °C, ya que el agua a tratar está expuesta a la atmósfera, y en climas fríos suele marchitarse la macrófita, estos criterios son para favorecer el desarrollo, reproducción y el proceso de fitodepuración para mejorar las características físico químicas y biológicas de las aguas residuales.
3. Utilizar el sistema fitodepurador para dar un tratamiento secundario, ya que estas aguas deben proceder de un previo tratamiento y además un tratamiento primario debido a la alta carga orgánica, grasas y aceites, entre otros contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas, el objetivo de esta recomendación es evitar entorpecer la investigación, y mejorar la calidad del efluente.
4. Evaluar estudios de un período de tiempo mayor a diez años, de manera que pueda analizarse el progreso en el tiempo de estos sistemas de fitodepuración para el tratamiento de las aguas residuales.
5. Aprovechar los recursos que nos brinda la naturaleza, ya que el Jacinto de agua nos sirve como una alternativa de tratamiento para las aguas residuales, siendo una tecnología de bajo costo, eco amigable y por ende debería ser difundido su uso para el tratamiento de los afluentes.

REFERENCIAS

ACOSTA, Cristian Marín, et al. Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México/Constructed wastewater treatment by tropical-wetlands in Tabasco, Mexico/Treatment of water waste by wetlands artificial tropical in Tabasco. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 2016, vol. 5, no 10, p. 1-20.
[file:///C:/Users/yanet/Downloads/Dialnet-](file:///C:/Users/yanet/Downloads/Dialnet-TratamientoDeAguasResidualesPorHumedalesArtificial-5612691.pdf)

[TratamientoDeAguasResidualesPorHumedalesArtificial-5612691.pdf](file:///C:/Users/yanet/Downloads/Dialnet-TratamientoDeAguasResidualesPorHumedalesArtificial-5612691.pdf)

Aguilera, I., Rodríguez, S., Pérez, R. M., Buzón, J., & Camacho, M. (2003). Validación de la determinación de la DQO en la unidad analítica del CEBI. *Revista Cubana de Química*, 15(2)
<https://go.gale.com/ps/anonymous?p=IFME&sw=w&issn=02585995&v=2.1&it=r&id=GALE%7CA146645397&sid=googleScholar&linkaccess=abs>.

AKINBILE, C. O.; YUSOFF, Mohd S. Assessing water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and lettuce (*Pistia stratiotes*) effectiveness in aquaculture wastewater treatment. *International Journal of phytoremediation*, 2012, vol. 14, no 3, p. 201-211.

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15226514.2011.587482>.

ANDERSSON, J. L.; BASTVIKEN, S. Kallner; TONDESKI, K. S. Free water surface wetlands for wastewater treatment in Sweden: nitrogen and phosphorus removal. *Water science and technology*, 2005, vol. 51, no 9, p. 39-46.
<https://iwaponline.com/wst/article-abstract/51/9/39/11788>

Arano, S., Martínez, G., Losada, M., Villegas, M., Casaldàliga, A., & Bel, N. (2011). La comunidad «Recursos y datos primarios» de la Universitat Pompeu Fabra: los repositorios institucionales como infraestructuras científicas: estudio de caso. *Revista española de documentación científica*, 34(3), 385-407.
<http://redc.revistas.csic.es/index.php/redc/article/viewFile/704/780>

ARTEAGA-CORTEZ, Viviana M., et al. Estado del arte: una revisión actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo. *Tecnología y ciencias del agua*, 2019, vol. 10, no 5, p. 319-343.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222019000500319&script=sci_arttext

BALDEÓN, Lizbeth Quispe, et al. Eficiencia de la especie macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adopción al medio en una laguna experimental. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 2017, vol. 3, no 1. https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/650

Birkhofer, K., Bezemer, T. M., Bloem, J., Bonkowski, M., Christensen, S., Dubois, D., Ekelund, F., Fließbach, A., Gunst, L., Hedlund, K., Mäder, P., Mikola, J., Robin, C., Setälä, H., Tatin-Froux, F., Van der Putten, W. H., Scheu, S., Bello, A., López-Pérez, J. a., ... Deneff, K. (2008). Taller de Abonos Orgánicos. *Soil Science Society of America Journal*. <https://doi.org/10.1023/A:1009738307837>.

Blount, ZD (2015). La historia natural de los organismos modelo: el potencial no agotado de *E. coli*.

Carlini, A Castellucci y S. Mennuni A. (2018) (Water hyacinth biomass: chemical and thermal pre-treatment for energetic utilization in anaerobic digestion process <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1876610218303990?token=2483C95924685677437BC0DCE8FCEF3006B8CC4BB969BA747C40522EBB2B12D3A603EE69C456C6A9AC0770C512FF3993>.

CHANG GUTIÉRREZ, Karina; HUAMÁN TAYPE, Carmen Rosa. Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domesticas mediante las macrófitas *Eichhornia Crassipes* y *Pistia Stratiotes*, plantas típicas de la Selva Peruana. 2019. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/3230>

Conabio (2015) Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, 1883 CONABIO. <file:///C:/Users/yanet/Downloads/Eichhornia%20crassipes.pdf>

CORONEL CASTRO, Elver. Eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y lentejas de agua (*Lemma minor*) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas-2015. 2016.

<http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/657/EFICIENCIA%20DEL%20JACINTO%20DE%20AGUA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Corral, Y. (2016). *Validez y Fiabilidad en Investigaciones Cualitativas*. 11, 14. Revista Arjé. Recuperado de <http://arje.bc.uc.edu.ve/arj20/art19.pdf>.

CRUZ, M., et al. Tratamiento De Las Aguas De La Laguna “Mansión” Mediante La Especie *Eichhorniacrassipes*, Para El Riego De Áreas Verdes En La Universidad Peruana Unión. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 2016, vol. 9, no 08, p. 53-65. <http://iosrjournals.org/iosr-javs/papers/vol9-issue8/Version-2/J0908025365.pdf>

DE EVALUACIÓN, Perú Organismo; AMBIENTAL–OEFA, Fiscalización. Fiscalización ambiental en aguas residuales. 2014.

DELGADILLO, Oscar, et al. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Nelson Antequera, 2010. <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>

DOMÍNGUEZ, Alba Lucía. Evaluación de la depuración de las aguas residuales provenientes de un sistema de tratamiento combinado de laguna de estabilización y laguna con jacinto de agua. *Actualidades Biológicas*, 2001, vol. 23, no 74, p. 75-82. <file:///C:/Users/yanet/Downloads/329622-Texto%20del%20art%C3%ADculo-134843-1-10-20171110.pdf>

Fernández, Raúl López, et al. Validación de instrumentos como garantía de la credibilidad en las investigaciones científicas. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 2019, vol. 48, no 2 (Sup). <http://www.revmedmilitar.sld.cu/index.php/mil/article/viewFile/390/352>

Galvín, R. M. (2017). Medida de la materia orgánica en las aguas residuales: DQO y COT ¿rivales o amigos? In XXXIV Jornadas Técnicas de AEAS (pp. 536-546). Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento

García, Z. M. (2012). Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú.

GAVILÁNEZ, Freddy. Influencia de *Eichhornia crassipes* y microorganismos eficientes sobre contaminantes químicos y orgánicos de las aguas residuales de Naranjito, Ecuador. *Manglar*, 2017, vol. 12, no 2, p. 21-29.
<http://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/52/164>

Gómez-Ortega, O. R., & del Pilar Amaya-Rey, M. C. (2013). ICRESAI-IMeCI: instrumentos para elegir y evaluar artículos científicos para la investigación y la práctica basada en evidencia. *Aquichan*, 13(3), 407-420.
<https://www.redalyc.org/pdf/741/74130042009.pdf>

GRANADOS GÓMEZ, Mildred Magaly, et al. Estudio de factibilidad de la implementación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en ecosistema de alta montaña en Toquilla. 2018.
https://docplayer.es/97941257-Mildred-magaly-granados-gomez-cod.html#download_tab_contentdocplayer.es/97941257-Mildred-magaly-granados-gomez-cod.html#download_tab_content

Guerra Zúñiga, E. (2016). Presupuesto, gasto público y compra pública responsable en Ecuador. *Foro, Revista de Derecho*, (25), 57-84.
<file:///C:/Users/yanet/Downloads/462-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1791-1-10-20170728.pdf>

GUERRERO BECERRA, Jarli; JIBAJA BARBOZA, Frank Keyni. Tratamiento del Afluente de la Laguna de Oxidación Mediante Fitorremediación del *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*; en Jaén-Cajamarca. 2019.
http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/handle/UNJ/249/Guerrero_BJ_Jibaja_BF_K.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Guevara, M., Ramírez. (2015) revista de Ciencias de la Vida *Eichhornia crassipes*, su Invasividad y potencial fitorremediador recuperada de
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442001001000016

JAMUNA, Sankar; NOORJAHAN, C. Tratamiento de aguas residuales con uso de jacinto de agua-Eichhornia sp y su reutilización para piscicultura. *Toxicology International*, 2009, vol. 16, no 2, pág. 103.

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/53033614/STOX162103-7919336_215953.pdf?1494189678=&response-content-disposition

KUMAR, Suresh; DESWAL, Surinder. Phytoremediation capabilities of Salvinia molesta, water hyacinth, water lettuce, and duckweed to reduce phosphorus in rice mill wastewater. *International Journal of Phytoremediation*, 2020, p. 1-13.

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15226514.2020.1731729>

La Asamblea General de la ONU (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas Residuales el Recurso Desaprovechado*. Recuperado 24 de junio de 2020, de

http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1

León Espinoza, M., & Lucero Peralta, A. M. (2010). Estudio de Eichhornia crassipes, Lemna gibba y Azolla filiculoides en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitario y unifamiliares del cantón Cotacachi (Bachelor's thesis).

<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/102>

MAGAR, Rajendra; KHAN, Afroz N .; HONNUTAGI, Abdulrazzak. Tratamiento de aguas residuales mediante jacinto de agua. En *conferencia: Innovación en ingeniería: perspectiva de estrategia competitiva, en el 32º Congreso de Ingeniería de la India, The Institution of Engineers (India)*. 2017.

file:///C:/Users/yanet/Downloads/Manuscript_WasteWaterTreatmentusingWaterHyacinth_PaperIDEN0111.pdf

Margall, Núria, Domínguez, Àngela, Prats, Guillem, & Salleras, Lluís. (1997). Escherichia coli enterohemorrágica. *Revista Española de Salud Pública*, 71(5), 437-443. Recuperado en 06 de julio de 2020, de

http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57271997000500002&lng=es&tlng=e

MARTELO, Jorge; BORRERO, Jaime A. Lara. Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y ciencia*, 2012, vol. 8, no 15, p. 221-243.

MENDOZA, Yoma I.; I PÉREZ, Jhonny; GALINDO, Andres A. Evaluación del aporte de las plantas acuáticas Pistia stratiotes y Eichhornia crassipes en el tratamiento de aguas residuales municipales. *Información tecnológica*, 2018, vol. 29, no 2, p. 205-214.

https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642018000200205

MORALES, Eli, et al. Efecto del jacinto de agua (Eichhornia crassipes) en la depuración del agua residual del colector Santa Lucía-Chachapoyas. *Revista Ciencia y Tecnología*, 2019, vol. 15, no 4, p. 19-25.

<https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/2673/2706>

Notimex. (2019). Escasez de agua limpia en el mundo limita el crecimiento económico: BM. Recuperado de

<https://search.proquest.com/docview/2276429523?accountid=37408>

NUÑEZ MORALES, Erlin. Evaluación de la eficiencia del sistema de fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, Zantedeschia aethiopica y Eichhornia crassipes en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua-Cajamarca. 2019.

<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1797>

NÚÑEZ, Marisel, et al. Removal of nitrogen and phosphorus by Typha dominguensis and Lemna sp. in laboratory scale constructed wetlands. *REVISTA TECNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DEL ZULIA*, 2011, vol. 34, no 3, p. 246-254.

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702011000300007

Pabón, C., Sandoval, J., Corral, N., & Valdivia, D. (2009). Humedales artificiales para la reutilización de aguas grises. *Traesure*. Recuperado de

<http://traesure.com/humedales-artificiales/>

RAMOS-ESPINOSA, María Guadalupe; RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, Luis Manuel; MARTÍNEZ-CRUZ, Patricia. Uso de macrofitas acuáticas en el tratamiento de aguas para el cultivo de maíz y sorgo. *Hidrobiológica*, 2007, vol. 17, p. 7-15. <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v17s1/v17s1a2.pdf>

RENTERIA CAMPOS, Enrique Gaston. Mejoramiento de las aguas residuales tratadas en las lagunas de estabilizacion de San José de Chiclayo–Lambayeque–mediante humedales. 2020. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15783>

REZANIA, Shahabaldin, et al. The efficient role of aquatic plant (water hyacinth) in treating domestic wastewater in continuous system. *International journal of phytoremediation*, 2016, vol. 18, no 7, p. 679-685. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15226514.2015.1130018>

RÍPODAS NAVARRO, A., Fernández Moreira, D., & Macho Martínez, M. (2017). Investigación de Escherichia Coli productor de toxinas Shiga (STEC) en carnes y derivados cárnicos. *Sanidad Militar*, 73(3), 147-152. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1887-85712017000300147

RODRÍGUEZ R, Julio C., Chire, Malyuris, Rodríguez, Sabrina, & Guilarte, Alfredo. (2013). Crecimiento y potencial reproductivo de la bora (*Eichhornia crassipes* (mart.) Solms) (pontederiaceae) en algunas lagunas de la planicie de inundación del tramo medio, río orinoco, venezuela. *Saber*, 25(2), 142-150. Recuperado en 05 de julio de 2020, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622013000200003&lng=es&tlng=es.

RODRÍGUEZ-MIRANDA, Juan Pablo, et al. Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología y ciencias del agua*, 2010, vol. 1, no 1, p. 59-68. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v1n1/v1n1a5.pdf>

Ruiz, F. (2019). Humedal artificial: una propuesta para el manejo de aguas residuales. Ciencia y tecnología. Recuperado de Sánchez, M. (2017) *Las aguas residuales en Perú, realidad | iAgua*. (s. f.). Recuperado 24 de junio de 2020, de <https://www.iagua.es/blogs/maria-sanchez-montes/aguas-residuales-peru-costo-improvisacion>

Santana .F. G. (2014) Aislamiento y caracterización de microorganismos en un humedal artificial localizado en el valle del mezquital, estado de Hidalgo https://www.zaragoza.unam.mx/wpcontent/Portal2015/Licenciaturas/qfb/tesis/tesis_santana_vergara.pdf.

SAYAGO, Uriel Fernando Carreño. Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la *Eichhornia crassipes*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 2016, vol. 18, no 2, p. 74-81. <https://www.redalyc.org/pdf/776/77649147009.pdf>

TOCTO, Rosmery Yakelini Ayala, et al. Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale*. *Revista de Investigación en Agroproducción Sustentable*, 2018, vol. 2, no 3, p. 48-53. <file:///C:/Users/yanet/Downloads/403-1716-2-PB.pdf>

Torres, M. Á. (2011). Guía de fuentes de información iberoamericana para la investigación educativa. *Revista Iberoamericana de Educación Superior*. Recuperado de <https://doi.org/10.22201/iisue.20072872e.2011.5.51>

VALDERRAMA, Luz Teresa Valderrama. Uso de dos especies de macrófitas acuáticas, *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas residuales agro industriales. *Universitas scientiarum*, 1996, vol. 3, no 1-2, p. 83-97. <file:///C:/Users/yanet/Downloads/5058-Article%20Text-18498-1-10-20130507.pdf>

Valencia. E, Silva.I. Y Narvárez (2016) Sistemas Descentralizados Integrados y Sostenibles para el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5432296>

VARGAS TORRES, Katty Lizeth. Evaluación de Eichhornia crassipes y Lemna minor en la remoción de parámetros de las aguas residuales domésticas de la quebrada Azungue de la ciudad de Moyobamba, 2015. 2018. <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2802/SANITARIA%20%20Katty%20Lizeth%20Vargas%20Torres.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VÁSQUEZ CHINGAY, Jhenson Eduardo. Remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la universidad cesar vallejo-trujillo utilizando jacinto de agua (eichhornia crassipes) en humedales artificiales. 2018. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/33468/vasquez_chi.pdf?sequence=1&isAllowed=y

VASQUEZ, Perales; LILIANA, Kelith. Tratamiento de aguas residuales domesticas por fitorremediación con Eichhornia Crassipes en la zona rural del caserío Santa Catalina Moyobamba 2017. 2018. <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2734/AMBIENTAL%20%20Kelith%20Liliana%20Perales%20Vasquez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vivanco Vergara, María Eugenia. (2017). Los Manuales de Procedimientos como Herramientas de Control Interno de una Organización. Revista Universidad y Sociedad, 9(3), 247-252. Recuperado en 11 de julio de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202017000300038

VIZCAÍNO MENDOZA, Lissette; FUENTES MOLINA, Natalia. Efectos de Eisenia foetida y Eichhornia crassipes en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 2016, vol. 19, no 1, p. 189-198. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262016000100022

Wasserman, J. C. (2010). Aspectos éticos do texto científico. *Interciencia*, 35(6), 466-472.

WATTANAPANICH, Chawisa; DURONGPONGTORN, Napat; ARIYAKANON, Naiyanan. Performance of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in the Treatment of Residential and Surimi wastewater. *EnvironmentAsia*, 2020, vol. 12, no 2. [http://www.tshe.org/ea/pdf/EA13\(2\)_10.pdf](http://www.tshe.org/ea/pdf/EA13(2)_10.pdf)

ZU-XIN, Xu y col. Estudio sobre la eliminación de fósforo utilizando jacinto de agua para tratar aguas residuales en la zona rural de Shanghai. En *2010 IV Congreso Internacional de Bioinformática e Ingeniería Biomédica*. 2010. <file:///C:/Users/yanet/Downloads/Estudio+sobre+la+eliminaci%C3%B3n+de+f%C3%B3sforo+mediante+el+uso+de+jacintos+de+agua+para+tratar+las+aguas+residuales+en+la+zona+rural+de+Shanghai.en.e>