

BUCHÓN DE AGUA (*Eichhornia crassipes*): UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE SU
CAPACIDAD PARA REMOVER CONTAMINANTES DEL AGUA



ANGIE DANIELA ROJAS MANCERA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2021

BUCHÓN DE AGUA (*Eichhornia crassipes*): UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE SU
CAPACIDAD PARA REMOVER CONTAMINANTES DEL AGUA

ANGIE DANIELA ROJAS MANCERA

Artículo de revisión para optar al título de Ingeniera Ambiental

Director

PhD. CHRISTIAN JOSE ROJAS REINA

Ingeniero Químico

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2021

Autoridades Académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O.P.

Rector General

P. EDUARDO GONZÁLEZ GIL O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Esp. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaría de División Sede Villavicencio

Mg. JESSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano Facultad de Ingeniería Ambiental

Dedicado a mis padres ROGELIO ROJAS ÁLVAREZ y ELIA NELLY MANCERA

CÉSPEDES.

Agradecimientos

Agradecimiento y mención especial a mi director de trabajo de grado, el docente CHRISTIAN JOSÉ ROJAS REINA, por la entrega y responsabilidad en su labor.

Tabla de Contenido

	Pág.
1. Conceptualización de <i>Eichhornia crassipes</i>	12
1.1 Medidas de control	15
1.2. Potencial Fitorremediador	16
2. Aplicabilidad en la industria y estudios realizados con <i>Eichhornia crassipes</i>	20
2. 1. Aplicaciones en la industria.....	20
2.2. Estudios experimentales	23
2.3. Utilidad de la biomasa de <i>Eichhornia crassipes</i>	26
Referencias Bibliográficas.....	30

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Remoción de DBO5 en reactores de buchón	19
Tabla 2. Desempeño del potencial de E. crassipes en Fermencam	22
Tabla 3. Eficiencia del método de aireación con reactor paralelo	23

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Individuos de <i>E. crassipes</i> , Adaptado de (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, 2019), por Rojas, A. (2020).	13
Figura 2. Distribución global de <i>Eichhornia crassipes</i> , Adaptado de (Hauptfleisch, Kendall, 2015) por Rojas, A. (2020).	18

Resumen

La presente revisión se enfoca en las investigaciones acerca de la planta *Eichhornia crassipes* (buchón de agua), con la finalidad de conocer los usos que se le ha dado para remover contaminantes del agua. La revisión comienza con la conceptualización como macrófita flotante y análisis de sus medidas de control, que puede tener un comportamiento invasivo. Se presentan las investigaciones más relevantes en torno a su aprovechamiento en la industria y el campo de la ingeniería ambiental; lo cual permite conocer la versatilidad de aplicaciones de *E. crassipes*, la cual incluye: usos agrícolas, y en el tratamiento de aguas residuales. Igualmente es objeto de profundización en diferentes estudios experimentales para remoción de metales pesados.

Palabras Clave: buchón de agua, contaminantes, fitorremediación, aguas residuales.

Abstract

This review focuses on research on the plant *Eichhornia crassipes* (water buchón), in order to know the uses that have been given to remove contaminants from the water. The review begins with the conceptualization as a floating macrophyte and analysis of its control measures, which may have an invasive behavior. We present the most relevant research on its use in the industry and the field of environmental engineering, which allows to know the versatility of applications of *E. crassipes*, which includes: agricultural uses, and in the treatment of wastewater. It is also the subject of study in different experimental studies for the removal of heavy metals.

Keywords: water hyacinth, contaminants, phytoremediation, sewage.

Introducción

La actividad humana como producto de sus procesos domésticos e industriales, tiene consecuencias en la generación de impactos sobre el recurso hídrico, dado a la generación de vertimientos de aguas residuales los cuales contienen gran cantidad de contaminantes, principalmente sólidos suspendidos totales y metales pesados, que repercuten en el deterioro de la calidad (Martelo & Lara, 2012). Por consiguiente, se han empleado procesos que permitan la remoción de dichos contaminantes, entre ellos se encuentran los sistemas de fitorremediación; siendo ésta una técnica que busca aprovechar las capacidades de autodepuración de los hidrosistemas, que cuentan con especies de plantas acuáticas, y que de ésta manera han sido comúnmente implementados bajo esquemas de humedales para el tratamiento de aguas residuales (Martelo & Lara, 2012).

El presente artículo de revisión tiene como objetivo identificar el uso de la especie *E. crassipes* (Mart. & Solms, 1883), planta originaria de Brasil, que es conocida por su alta distribución geográfica, además de servir como fuente de biomasa con una tasa de producción de $> 60 \text{ kg/m}^2$; al tiempo que se puede usar como un agente de fitorremediación, debido a su propiedad de crecer en agua muy contaminada, presentando la capacidad de acumular metales, radionucleídos y otros contaminantes (Nascimento, Lopes, & Cardoso, 2014).

La presente revisión bibliográfica acerca del buchón de agua; pretende responder la siguiente pregunta:

¿Es el buchón de agua una herramienta útil en la mejora de la calidad del agua?

1. Conceptualización de *Eichhornia crassipes*

E. crassipes (Figura 1), más comúnmente llamada buchón de agua, lirio de agua, lampazo, violeta de agua, flor de agua, cuchatilla, camalote, carolina, papalacate, pico de pato, reina, tamborcillo, o ninfa; es una macrófita acuática. Pertenece a la familia Pontederiaceae, su tamaño puede variar entre 20 a 30 centímetros, el tallo es alargado y horizontal, sus hojas son redondas y tiene una raíz fibrosa, la cual es un excelente soporte para la planta (Porrás, 2017). En lo que respecta a su distribución, es originaria de Sur América, se encuentra en Brasil, la Amazonía, en países de Centro América, Estados Unidos, México, las Antillas y partes cálidas del hemisferio occidental; algunos trópicos en Europa, en Colombia, y también en países como África, Indonesia y Australia (Porrás, 2017).

En cuanto a su hábitat, su desarrollo se da en cuerpos de agua dulce con ligero movimiento, tales como zanjas, canales, presas, arroyos, ríos y pantanos. Es una planta que tiene un ciclo de vida de dos años, siendo su reproducción por medio de estolones, por lo que es capaz de colonizar una superficie hídrica en poco tiempo, impidiendo la navegación y el crecimiento de otras plantas, de allí la importancia del control sobre su proliferación (Porrás, 2017).

El buchón de agua es una formadora de suelo, que produce oxígeno útil a la piscicultura y reduce con sus raíces la erosión en las orillas de los lagos, estanques y ríos. Además, presenta la capacidad de absorber del agua diversos tipos de contaminantes, en especial metales pesados como el cadmio, mercurio, plomo, cromo, etc., ayudando de esta forma al proceso de purificación de las aguas; ésta planta tiende a proliferarse de manera muy rápida, por ello es considerada una maleza (Abadía, 2019).



Figura 1. Individuos de *E. crassipes*, Adaptado de (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, 2019), por Rojas, A. (2020).

Debido al crecimiento económico e industrial en países tropicales, se ha provocado la producción y liberación de abundantes cantidades de desechos en las fuentes de agua superficiales como ríos y lagos, generando un incremento en los nutrientes inorgánicos y las sustancias orgánicas en los ecosistemas agua y suelo. De acuerdo a lo mencionado anteriormente, la fitorremediación es un tratamiento ecológico, de baja tecnología, bajo costo, y viable para ser usado en aguas superficiales, aguas subterráneas y aguas residuales. El uso de las plantas en este tipo de procedimientos es conocido como una “remediación asistida”, dado que se emplean diferentes especies de plantas para eliminar, contener o neutralizar contaminantes en el ambiente, entre ellos oligoelementos, compuestos orgánicos, hidrocarburos, metales pesados y compuestos radiactivos en el agua o el suelo (Hassoon et al., 2019).

Además, el buchón de agua también es conocido como un “filtro natural”, ya que por sus características como rápido crecimiento, alta productividad, eficiencia en la remoción de metales pesados, acumulación de materia orgánica y contaminantes, siendo esto último llamado proceso

de “bioacumulación”, el cual se da gracias al sistema radicular de la planta y su interacción con los microorganismos presentes en el agua, lo que favorece la retención de metales, tales como cadmio, cromo, y arsénico en tejidos, mediante un mecanismo de acomplejamiento de aminoácidos presentes en la célula con el metal pesado (Benítez, Calero, Peña, & Martín, 2011) . Sumado a la capacidad de supervivencia condiciones hostiles, es capaz de tratar de manera eficiente el agua en condiciones de contaminación; por esta razón son conocidas como auto depuradoras de ambientes acuáticos y son utilizadas en el tratamiento de aguas servidas (Gómez & Pinzón, 2012). Ésta planta también es utilizada como sustrato para compost, ya que presenta propiedades físicas como son la humedad (4,9%), carbono fijo (13,8%), ceniza (20,1%), valor calorífico bruto (3455 kcal/kg), y material volátil (61,2%); siendo éste último el de mayor porcentaje y por lo tanto su composición es predominante en la planta, y propiedades químicas como carbono (C), oxígeno (O), sodio (Na), magnesio (Mg), aluminio (Al), circonio (Zr), cloro (Cl), potasio (K), calcio (Ca), silicio (Si), titanio (Ti), y hierro (Fe) predominando en la planta el oxígeno y carbono; ésta composición la hace ideal para utilizarla como materia prima en procesos de compostaje (Sukarni Sukarni et al, 2019)

Por consiguiente, el buchón de agua hace parte de comunidades acuáticas de zonas pantanosas, márgenes de lagunas, ríos, quebradas y canales de desagüe, áreas de donde se les puede recolectar y destinarla a la elaboración de compost. Además, los altos niveles de elementos minerales, hacen que las macrófitas en su estructura (raíz, tallo y hojas), sean aptas para conseguir compost de alta calidad (González, Belloso, Rivas, & Silva, 2017).

El buchón acuático ha sido una especie muy estudiada, y es muy conocida debido a su adaptación en regiones tropicales y subtropicales. Esta planta obtiene del agua residual todos los nutrientes que requiere para el desarrollo de su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto

a los iones de potasio, calcio, magnesio, hierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato, los más importantes; hay que mencionar además que, en canales sembrados con el buchón de agua, se ha comprobado una eficiencia de remoción de los diferentes contaminantes que alcanza más de 97% en los metales pesados, y hasta el 98% en sólidos suspendidos (Porras, 2017).

1.1 Medidas de control

Otro aspecto importante en torno al buchón de agua, es que éste requiere medidas de control frente a su acelerada reproducción, dado que al igual que otras especies invasoras, la *E. crassipes*, una vez adaptada en el ecosistema degradado, abarca toda el área para absorber de allí los nutrientes necesarios para su crecimiento y proliferación (Guevara & Ramírez, 2015).

El método primario de control para el buchón de agua ha sido la aplicación de herbicidas acuáticos; dentro de los cuales Estados Unidos de Norteamérica recomienda usar los siguientes: Cytrol, Dalapón 85, Casorón 10 G, Hydrothol 191, Rodeo, y Weel Rhap (Guzzy, 1989) ; durante décadas se han controlado a grosso modo las infestaciones de la especie invasora mediante su aplicación, sin dejar de lado los problemas que conlleva este tipo de tratamiento, estos programas de control preventivo, se basan en productos químicos para mantener las poblaciones de malezas en niveles aceptables, y así evitar la migración (Guevara & Ramírez, 2015). Por tal motivo es importante incentivar la investigación acerca de las medidas para controlar las plantas acuáticas, puesto que la expansión desmesurada puede llegar a afectar la columna de agua, y así mismo su calidad, dado que su desmesurado crecimiento evita el paso de la luz, lo que da lugar a un aumento en la turbidez y disminución en la demanda biológica de oxígeno; y como consecuencia se presenta también un déficit en la actividad microbiana (Ray, Sushilkumar, & Kumar Pandey, 2009). Una

alternativa de procedimiento de control no químico es la recolección mecánica, sin embargo, la cosecha es relativamente costosa y lleva mucho tiempo. Por otro lado, se han empleado métodos de control biológico para tratar las invasiones del buchón de agua, ejemplo de ello es el impacto de los gorgojos *Neochetina eichhorniae* (Warner, 1970), sobre la planta, éste proceso consta de realizar observaciones en intervalos de diez días, en cada una de las etapas de crecimiento de la planta, es decir, a pequeña, media y grande escala; hasta la muerte de la planta infestada con el gorgojo, teniendo en cuenta parámetros como porcentaje de daño, número de hojas verdes (vivo), peso fresco, número de cicatrices de alimentación hechas por gorgojos, y número de ramificaciones; éste método ha sido exitoso y sostenible en todo el mundo. Se han realizado ensayos a diferentes escalas; en África se efectúan tratamientos a grandes extensiones, con buenos resultados (Ray, Sushilkumar, & Kumar Pandey, 2009). La carpa herbívora o carpa forrajera (*Ctenopharyngodon idella*) (Valenciennes, 1844), también se ha utilizado como un método de control biológico contra plantas acuáticas sumergidas, ya que pueden consumir hasta 18% - 40% de su propio peso en un día. No obstante, su uso contra plantas flotantes como *E.crassipes* ha recibido poca atención (Guevara & Ramírez, 2015).

1.2. Potencial Fitorremediador

El buchón de agua al presentar una amplia distribución (puede verse en la Figura 2), ésta característica atribuida gracias a la belleza de su flor, lo cual incentivó la introducción de la planta en otros países tropicales como “planta ornamental”, y finalmente su conversión en maleza en respuesta al alto nivel de nutrientes en las aguas residuales urbanas, industriales y municipales, esto debido a su capacidad de adaptabilidad y resistencia a ambientes adversos y contaminados

(Martínez M. , 2003); ha sido considerado como un recurso verde para la fitorremediación, debido a sus densos y vigorosos sistemas radiculares que pueden absorber eficientemente contaminantes orgánicos e inorgánicos del agua, incluyendo aguas residuales agrícolas, domésticas e industriales (Du et al., 2020); lo anterior gracias a su mecanismo de adsorción, el cual se debe a la presencia de grupos hidroxilo en las moléculas de la celulosa que la conforman, facilitando la formación de puentes de hidrógeno con sustancias externas, en general las macrófitas tienen la capacidad de depurar contaminantes a través de mecanismos como la filtración y sedimentación de sólidos, la incorporación de nutrientes, la degradación de la materia orgánica a través de las raíces, de los microorganismos que se encuentran en ellas, la nitrificación y desnitrificación, entre otros procesos que llevan a cabo gracias a sus características morfológicas, como lo es su sistema radicular (Cortés & Florez, 2017).

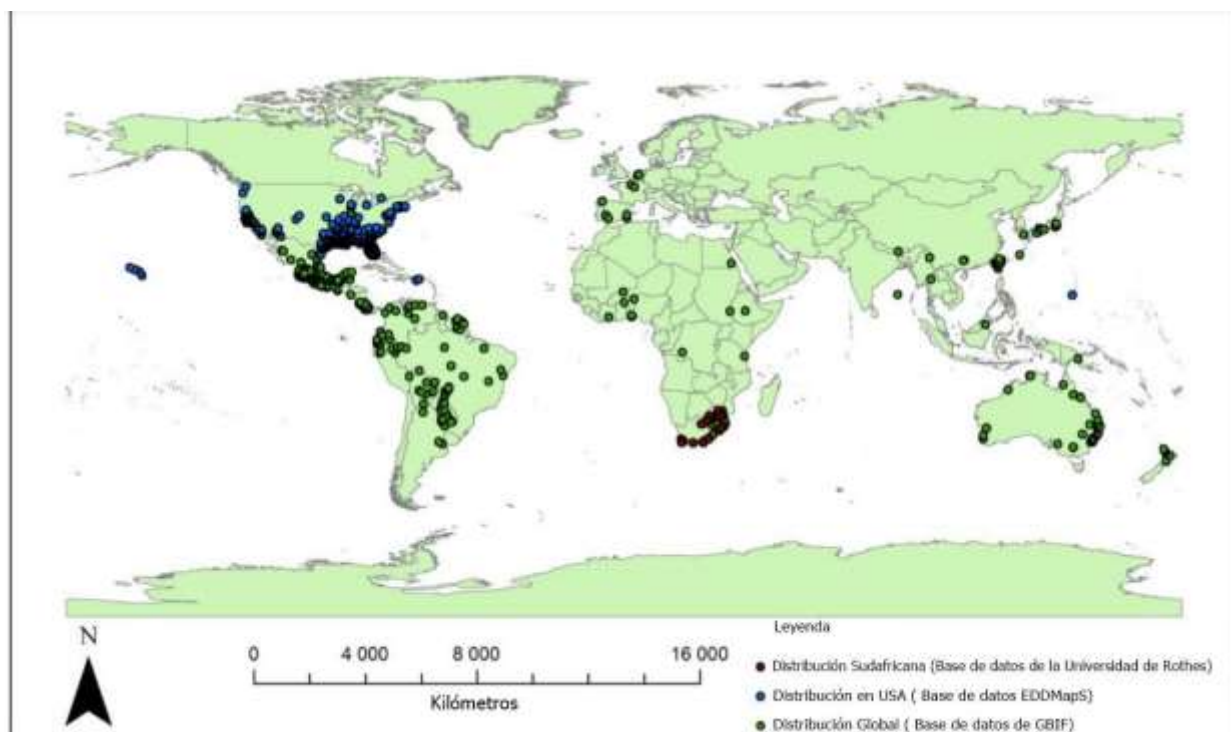


Figura 2. Distribución global de *Eichhornia crassipes*, Adaptado de (Hauptfleisch, Kendall, 2015) por Rojas, A. (2020).

Desde otro punto de vista, esta planta desempeña un papel importante para el fitoplancton, el zooplancton y los peces en los ecosistemas de agua dulce al proporcionar complejidad del hábitat, refugio y zonas de alimentación (Nguyen et al., 2015), por lo cual se puede decir que no solo es un potente fitorremediador, sino que purifica y ayuda a la mejora en el ecosistema.

En Colombia no se ha investigado a profundidad la aplicación de ésta planta, no obstante, se han realizado algunos estudios, como lo es el tema comparativo de su eficacia en el tratamiento de aguas residuales; en una investigación se realizó una comparación (Tabla 1) de buchón de agua (*E. crassipes*) con lenteja de agua (*Lemna minor*) (L. & Griff., 1851), para poder analizar su eficacia en el tratamiento de aguas residuales domésticas, el método fue instalar dos reactores, para cada planta respectivamente, donde iban a llegar las aguas residuales, en lo que hace referencia al buchón de agua, su comportamiento en la absorción de sólidos disueltos totales fue mejor comparado con la lenteja de agua, puesto que éste cuenta con un sistema radicular más denso; en cuanto a la DBO₅, las remociones por parte del reactor con buchón de agua son superiores en un 20% en relación con el reactor de la lenteja de agua. Asimismo se concluyó que éste tipo de procesos es útil dado que no se utilizan químicos, y es de bajo costo, por lo cual es viable y amigable con el medio ambiente (Gómez, López, Garavito, & Rodríguez, 2010).

Tabla 1. Remoción de DBO₅ en reactores de buchón

Reactor	Porcentaje de remoción
Buchón de agua	70%
Lenteja de agua	50%

Nota: Porcentajes de remoción de DBO₅ de los reactores con buchón de agua y lenteja de agua, Adaptado de (Rodríguez-Miranda, J; Gómez, Esteban; Garavito, Laura, & López, Francy, 2010). Por Rojas, A. (2020).

Otro importante proyecto realizado en el país, fue el de la remoción de exceso de buchón de agua en la represa embalse de Guatapé, en Medellín, lugar que presentaba un exceso de proliferación de la planta, lo cual estaba obstruyendo el normal desarrollo de otras plantas en el embalse, por lo cual se hizo remoción del buchón de agua, fue secado al aire, luego molido, y puesto en pretratamiento para evaluar su aptitud para la producción de bioetanol, el uso de ácido diluido permite rescatar gran cantidad de la celulosa contenida por el buchón, lo cual muestra ser la técnica más viable para ése tipo de procedimientos (Ospino, Gómez, & Rios, 2020); de ésta manera se puede resaltar la gran labor de éste proyecto, dado que se realizó un control de la proliferación de la planta en el embalse, lo cual mejoró la calidad del agua allí, y también se hizo aprovechamiento de la biomasa para investigar su posible uso. Un caso similar se presentó en el Lago Fúquene, (Ubaté, Cundinamarca), donde también había un crecimiento masivo de macrófitas acuáticas, y se pudo ejercer una técnica de control, mejora en la calidad del agua, y aprovechamiento, pero ésta vez hacia la actividad de compostaje, por lo cual se realizó remoción mecánica del exceso de buchón de agua, y se llevaron para ser sometidas a procedimiento, junto con poblaciones adecuadas de bacterias, hongos y actinomicetos, lo cual hizo más fácil el proceso, ya que éstos son útiles para acelerar el proceso de degradación de los contaminantes absorbidos por la planta durante su vida útil (Martínez, Chaparro, Del Basto, Calixto, & Bernal, 2011).

2. Aplicabilidad en la industria y estudios realizados con *Eichhornia crassipes*

2. 1. Aplicaciones en la industria

El papel de la *E. crassipes* en la industria se ha vuelto importante debido a los beneficios que la planta ofrece en la remoción de contaminantes del agua; a continuación, se analizarán algunas aplicaciones que tiene la planta.

En primer lugar, se encuentra un estudio que se centró en industrias de procesamiento de alimentos, de distintos sectores, y las agrupó de acuerdo al nivel de materia orgánica que se obtuvieron de los análisis físico-químicos, y de componentes principales; realizaron un ensayo aplicado a Fermencam, una destilería, haciendo uso de *E.crassipes* y *Panicum máximum* (Jacq., B.K.Simon & S.W.L.Jacobs, 1821); en base a los resultados obtenidos (Tabla 1), se destaca la capacidad de absorción de sólidos suspendidos (SS) por el buchón de agua, y a su vez la ventaja de remover altas cargas de la demanda bioquímica de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO₅), nitrato (NO₃) y fosfato (PO₄), lo cual ayuda a estabilizar los estándares exigidos por la OMS, respecto a los valores límites permisibles para realizar una descarga a un ecosistema natural, de lo cual se puede evidenciar el potencial del buchón de agua para remediar y ser una herramienta útil en el tratamiento de aguas residuales (Noukeu et al., 2016).

Tabla 2. Desempeño del potencial de *E. crassipes* en Fermencam

Parámetros	Agua residual antes del tratamiento	Resultados en el laboratorio Posteriores al tratamiento
Demanda bioquímica de oxígeno (mg de O ₂ /l)	22500	6900
Demanda biológica de oxígeno (mg de O ₂ /l)	20300	5320
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	100	30
Fosfato (mg/l)	101	63
Nitrato (mg/l)	12	8.4

Nota.O₂: oxígeno, Desempeño del potencial de *E. crassipes* en Fermencam y resultados en el laboratorio, Adaptado de (Elsevier B.V.). Por Rojas, A. (2020).

Con respecto a la eliminación de DQO y DBO, otro estudio se enfocó en la reducción biológica de dichos parámetros en un molino de azúcar, haciendo uso del buchón de agua, para ello se utilizó un reactor de tanque agitado continuo a un bajo nivel de corriente; que contenía la siembra de la planta; lo que conllevó a la eliminación de 83,78% DBO y 93,64% DQO, muestra de la buena aptitud de la misma para disminuir altas cargas contaminantes (Singh, Kumar, Kumar, & Kumar, 2019). Otro caso similar se encuentra en Indonesia, donde una de las industrias más importantes la conforman las productoras de tofu. En el marco de esa industria una reciente investigación se basó en utilizar *E. crassipes*, haciendo uso de un reactor paralelo con flujo de circulación, utilizando métodos de aireación y tiempos de retención de 10 días, el tratamiento con aireación demostró ser más efectivo (Tabla 3) ya que pudo reducir la DBO en un 80,67%, y la DQO 78,28% (Oktorina, Achmad, & Mary, 2019).

Tabla 3. Eficiencia del método de aireación con reactor paralelo

Parámetros	Sin aireación	Con aireación
Demanda biológica de oxígeno (mg de O ₂ /l)	1,940	2,164
Demanda bioquímica de oxígeno (mg de O ₂ /l)	3,300	3,108

Nota: Eficiencia del método de aireación con reactor paralelo usando *E. crassipes*, Adaptado de. (Oktorina, A., Achmad, Z., & Mary, S.). Por Rojas, A. (2020).

Por otro lado, aparte de los reactores, que muestran ser muy útiles en el proceso de fitorremediación, hay otra metodología, la cual son los humedales artificiales; un estudio en Malasia sectorizó en dos etapas un humedal, en el cual se sembraron las macrófitas *Phragmites karka* (Adans.,1763) y *E.crassipes*, con el fin de determinar el rendimiento de las mismas, en la eliminación de contaminantes de la industria de café; los resultados fueron positivos dado que el sistema de planta de dos etapas fue capaz de eliminar 94%, 79% y 95% de sólidos en suspensión (SS), color y DQO, respectivamente, resaltando la alta carga de SS que fue removida, lo que indica que si es viable usar éste tipo de procesos para la remoción de contaminantes (Mohd, Sheikh, Izzati, Abu, & Razi, 2019). Otra alternativa de utilización de humedales artificiales es la de los humedales asociados en serie, los cuales permiten la implementación de varias plantas, son fabricados en cajas de polipropileno (PP), con una capacidad total de 30 L y una superficie de 630 cm² (25 cm 30 cm x 21 cm), se suele utilizar materiales como grava y arena para rellenar la base, pero en éste caso, no se hizo uso de ellos; teniendo en cuenta lo anterior una empresa de lácteos se enfocó en *Cyperus articulatus* (L.,1753), *E.crassipes*, *Eleocharis interstincta* (Vahl, Roem.,&

Schult,1817), y *Typha domingensis* (Pers.,1807), mostrando una eficiencia en la reducción de DBO mayor al 70 %, y además tuvieron en cuenta el aprovechamiento de la biomasa resultante del tratamiento, la cual sería destinada a alimentación animal y producción de fertilizantes agrícolas (Souza, Maranduba, Borges, Brito, & de Almeida, 2020).

En un proyecto para estudiar la morfología del pez *Misgurnus anguillicaudatus* (Cantor,1842), y evaluar la calidad de su hábitat, se utilizaron dos tipos de plantas, *E. crassipes* y *Pistia stratiotes* (L.,1753), se tuvieron en cuenta tres estanques, sin plantas, con *E.crassipes* y con *P.stratiotes*; con lo que se logró determinar, que los estanques con plantas disminuyeron la turbidez logrando una cantidad de 2,17 FNU, y el oxígeno disuelto (OD) 3,41 mg/L contribuyendo así a la mejora de la calidad de vida de los peces (Wang et al., 2018).

El uso de humedales artificiales colonizados por *E. crassipes* también ha llegado hasta uno de los sectores industriales más importantes a nivel mundial, como lo es el sector petrolero. Un estudio realizado en una refinería petrolera, evaluó el potencial del flujo vertical, de superficie construido de un humedal vegetado con *E.crassipes*, el cual tenía por objetivo tratar las aguas residuales secundarias producto de una refinería de petróleo, y del cual se obtuvieron resultados significativos en cuanto a la disminución de altas cargas tales como DBO en un 94,6%, y 80,2% de DQO, lo cual indica una absorción eficaz de cargas contaminantes, y una óptima descarga al cuerpo hídrico receptor (Agarry, Oghenejoboh, Latinwo, & Owabor, 2020).

2.2. Estudios experimentales

E. crassipes es una de las plantas más destacadas debido a su utilidad en la remoción de metales pesados; por lo que se refiere a su remoción de las aguas residuales, de manera convencional se ha

realizado con carbón activado; pero actualmente las industrias buscan usar tecnologías más sostenibles, es decir que aminorar en costos, y generen menos impactos al medio ambiente. Con base en lo anterior se realizó un estudio que consistió en aprovechar los residuos de las plantas de *E. crassipes* como base del biochar oxidado, para adsorber metales pesados, se requería más del 80% de la biomasa de la planta, es decir que una gran parte de los residuos generados serían aprovechados para remediar aguas contaminadas con metales pesados; la planta mostró potencial para remover metales tales como Plomo (Pb^{2+}), Cobre (Cu^{2+}), Cadmio (Cd^{2+}), y Zinc (Zn^{2+}), y la eficiencia del biochar en relación al tiempo, el cual fue de 30 minutos para equilibrarse en el agua y efectuar la adsorción (Lin, Huang, Yang, Sun, & Yu, 2020). Algo semejante sucedió con un estudio que se centró en desarrollar microesferas con biomasa seca y pulverizada de las raíces de *E. crassipes*, combinándolas con tripolifosfato de sodio para la adsorción de cromo (Cr) de las aguas de las curtiembres, con el cual se determinó una remoción óptima de cromo, pero en éste caso hay un limitante, y es efectuar la regulación del pH, dado que se requiere en condición neutra (Carreño Sagayo, 2020).

A su vez la planta *E. crassipes* sirve como un excelente bioindicador de aguas afectadas por contaminantes orgánicos emergentes, tales como los disruptores endocrinos y los neonicotinoides (De Laet, Matringe, Petit, & Grison, 2019). En relación al plomo (Pb), *E. crassipes* es efectiva en la absorción de este contaminante, ya que reduce en más del 90% las concentraciones de Pb en aguas subterráneas (Tanjung, Fahrudin, & Samawi, 2020).

Por otro lado, un estudio demostró que ésta planta es capaz de eliminar el 80% de DQO de aguas residuales domésticas, a partir de un experimento piloto, que constó de cinco tanques con siembra del buchón de agua, en el cual observaron también el tiempo de crecimiento que fue del

40% del día 1 al 14, lo cual prueba la efectividad en cuanto al crecimiento de biomasa del buchón de agua, en un tiempo óptimo para ejercer el tratamiento (Rezania, Ponraj, Din, Sairan, & Kamaruddin, 2013). De manera similar se ha tenido en cuenta en el tratamiento de aguas residuales municipales, ejemplo de ello fue un proyecto realizado en Riohacha, Colombia, donde se verificó la contribución en el proceso de remoción de contaminantes, a partir de *P.stratiotes* y *E. crassipes*, mediante su plantación en seis estanques con afluentes de las aguas residuales, las cuales indicaron una notable disminución en la DBO5 en un 66,9% y una mejora en la calidad del agua a nivel municipal (Mendoza, Pérez, & Galindo, 2018). En contraste a lo anterior, se experimentó la siembra de *E.crassipes* en un canal para mejorar la calidad del agua, para unas viviendas en Purwomartani, Indonesia, la diferencia radicó en que el objetivo era la eliminación de microorganismos (coliformes totales); para lo cual ésta vez, el resultado tanto aguas arriba, como aguas abajo del canal, no fue significativo a como se encontraba antes (Kahol, Ningrum, Retnaningrum, & Darmasiwi, 2019), es decir, el potencial de la planta no fue suficiente para remover los microorganismos, sin embargo dio resultados positivos en disminución considerable de DBO y DQO, los cuales son punto de partida, para implementar un estudio de este tipo, basados en esa información, pero con otra plantas, que si garanticen la reducción de microorganismos; para esto hay dos plantas a ser recomendadas, como son la *Salvinia auriculata* (Aubl.,1775), y *Azolla caroliniana* (Willd,1810) debido a que éstas lograron el 100% de remoción de las coliformes y *Escherichia coli* ($p = 0.003$) (Escherich,1885) en un estudio basado en aguas servidas (León et al., 2018).

2.3. Utilidad de la biomasa de *Eichhornia crassipes*

E. crassipes ha sido caracterizada por su alto contenido de biomasa lignocelulosa, lo cual la hace útil en procesos bioquímicos y termoquímicos; por lo tanto, es interesante la implementación de ésta planta en procesos de digestión anaerobia para la producción de biogás, lo que representa una alternativa de aplicación de energía limpia, puesto que el aprovechamiento de su biomasa es sustentable (Carlini, Castellucci, & Mennuni, 2018). Hay que mencionar, además, que la producción de biogás y pellets también es un importante atractivo para experimentar con la biomasa de ésta planta, a partir del proceso de fermentación de su hoja y pecíolo, mezclada en una proporción 1:1 con microorganismos, ésta es capaz de generar biogás, con lo cual también se contribuyó al control de proliferación de *E. crassipes* en el río Tha Chin en Tailandia donde se realizó el estudio pertinente (Hudakorn & Srirakul, 2019).

Discusión

La aplicación del buchón de agua en la industria, puede variar dependiendo de qué problemática se quiere solucionar, es decir, si va a ser aplicado para sistemas de fitorremediación de aguas residuales industriales, o domésticas, acorde a lo anterior, se pudo conocer que es muy eficiente en las industrias, ya que los efluentes principales de éstas son los sólidos suspendidos totales y los metales pesados, pero a diferencia de éstas descargas, las aguas residuales domésticas contienen en su mayor concentración microorganismos como coliformes totales y *E. coli*, y esto indica que no es la planta adecuada para este tipo de contaminante, ya que se encuentran otras plantas como *S.auriculata* y *A.caroliniana Willd* que son capaces de remover en un 100% éste tipo de microorganismos, a causa de lo anterior se debe hacer una adecuada selección de la planta dependiendo de qué contaminantes o microorganismos estén presentes en el agua a tratar. Se debe tener en cuenta, que el buchón de agua se caracteriza por su rápido crecimiento y proliferación, es por ello que hay que investigar más acerca de las medidas de control, dado que las más usadas son las químicas porque reducen el tiempo de control, y aumentan la eficiencia en el proceso; y en contraste a ello están las medidas biológicas que son a largo plazo, pero también eficientes; cabe resaltar que éstas últimas ya están siendo aplicadas en países desarrollados como Estados Unidos, pero falta abundar más en el tema, y generar consciencia respecto al mismo.

Entre las características a destacar del buchón de agua (*E. crassipes*), se tiene su capacidad de sobrevivir a condiciones hostiles, la habilidad de transformar de manera eficiente el agua en estado de contaminación; asimismo su utilidad para realizar evaluaciones de impacto ambiental, ya que sirve como indicador de mejora de calidad del agua, tras ser plantada en sistemas de fitorremediación. Gracias a su característica para absorber contaminantes, presenta aplicaciones

en sectores como la industria de alimentos donde se connota su aptitud para remover en un 70% sólidos suspendidos totales, y remover altas cargas de DBO y DQO, proceso adecuado para el sector de la piscicultura, donde reduce sólidos suspendidos totales (generalmente en éste tipo de actividades se genera gran cantidad de SST, debido a las heces y restos de alimentos) y preserva el ambiente adecuado para los peces, así como el incremento de la actividad microbiana, la cual es vital para su supervivencia.

Se destacó la eficiencia del buchón de agua para remover sólidos suspendidos disueltos de aguas residuales domésticas, en comparación con la lenteja de agua, dado que el sistema radicular del buchón es más grueso, lo que permite realizar un mejor proceso de bioacumulación por parte de la planta, asimismo el buchón de agua indicó un porcentaje del 70% de remoción de DBO₅, frente a la lenteja de agua el cual fue de 50%, lo cual representa un 20% de superioridad al momento de realizar la selección de la planta adecuada frente a éste tipo de tratamientos.

Entre los últimos estudios científicos experimentales realizados a la planta, se destaca la *E. crassipes* como bioindicador para la contaminación por contaminantes emergentes, los cuales representan una gran problemática ambiental, por su alto nivel de toxicidad; así como el uso de *E. crassipes* de raíz larga, para la eliminación de metales pesados como adsorbente en corto tiempo (30 minutos). La producción de biogás y pellets de biomasa a partir de *E. crassipes*, representa una alternativa sostenible para el medio ambiente.

Conclusiones

Ésta revisión permitió acceder a información importante acerca de *E. crassipes*, con lo cual se logró conocer el estado actual del uso de la planta, y se encontraron en su mayoría aplicaciones en el extranjero, es decir fuera de Colombia, lo cual refleja un déficit en el estudio y aplicación de la utilidad de la planta en el país, dado que se encontraron proyectos, pero a escala piloto, lo cual es motivo para invitar a seguir investigando y usando a *E. crassipes* en el tratamiento de agua residual. Asimismo, se dio a conocer su utilidad en la industria, la cual iba desde remoción de contaminantes del agua, hasta su aporte en la producción de biocombustibles; por consiguiente, se identificaron temas importantes como lo son el control que se debe ejercer sobre la planta, debido a su rápido crecimiento y proliferación. Adicionalmente se evidenció el interés en la investigación de la *E. crassipes*, los cuales han presentado resultados aplicables, es una planta eficiente en la remoción de metales pesados; sin embargo; se pudo conocer, que su utilidad en procesos de absorción de microorganismos (coliformes) y *E. coli* provenientes de aguas domésticas no es eficiente.

Referencias Bibliográficas

- Ansari, A. A., Naeem, M., Gill, S. S., & AlZuaibr, F. M. (29 de Abril de 2020). Phytoremediation of contaminated waters: An eco-friendly technology based on aquatic macrophytes application. *Egyptian Journal of Aquatic Research*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejar.2020.03.002>
- Abadía, B. (10 de Noviembre de 2019). *Vanguardia*. Obtenido de <https://www.vanguardia.com/mundo/ola-verde/del-buchon-de-agua-salen-libretasBUVL28056>
- Agarry, S., Oghenejoboh, K., Latinwo, G., & Owabor, C. (2020). Biotreatment of petroleum refinery wastewater in vertical surface-flow constructed wetland vegetated with *Eichhornia crassipes*: lab-scale experimental and kinetic modelling. *Environmental Technology*, 17931813. doi:10.1080/09593330.2018.1549106
- Benítez, R., Calero, V., Peña, E., & Martín, J. (2011). Evaluación de la cinética de la acumulación de cromo en el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*). *Bioteología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(2), 66-73. Obtenido de from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612011000200008&lng=en&tlng=es
- Carlini, M., Castellucci, S., & Mennuni, A. (Agosto de 2018). Water hyacinth biomass: chemical and thermal pre-treatment for energetic utilization in anaerobic digestion process. *Energy Procedia*, 148, 431-438. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.106>
- Carreño Sagayo, U. F. (2020). Development of microspheres using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for treatment of contaminated water with Cr(VI). *Environment, Development and Sustainability*. doi:<https://doi.org/10.1007/s10668-020-00776-0>
- Cortés, P., & Florez, J. (2017). *Evaluación de la taruya (Eichhornia Crassipes) como agente biorremediador en aguas contaminadas con cromo*. Cartagena de Indias, Colombia. <http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/handle/10819/4530>

- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR. (2019). *Plan de Prevención Manejo y Control del buchón de agua (Eichhornia crassipes) para la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR* p.44. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ef52b2827af5.pdf>
- De Laet, C., Matringe, T., Petit, E., & Grison, C. (13 de Mayo de 2019). *Eichhornia crassipes: a Powerful Bio-indicator for Water Pollution by Emerging Pollutants. Scientific Reports*, 1-10. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-019-43769-4>
- Du et al. (8 de Abril de 2020). Accumulation and translocation of heavy metals in water hyacinth: Maximising the use of green resources to remediate sites impacted by ewaste recycling activities. *ELSEVIER*, 1-8. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106384>
- Eid, A., Galal, T., Sewelam, N., Talha, N., & Abdallah, S. (27 de Enero de 2020). Phytoremediation of heavy metals by four aquatic macrophytes and their potential use as contamination indicators: a comparative assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 12138–12151. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-020-07839-9>
- Elsevier B.V. (2016). *Characterization of effluent from food processing industries and stillage treatment trial with Eichhornia crassipes (Mart.) and Panicum maximum (Jacq.)* [Tabla]. Obtenido de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wri.2016.07.001>
- Freepik. (2018). *Jacinto de agua común, eichhornia crassipes*. Obtenido de https://www.freepik.es/fotos-premium/jacinto-agua-comuneichhornia-crassipes_3493437.htm
- Gómez, E., López, F., Garavito, L., & Rodríguez, J. P. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología y ciencias del agua*, 1(1), 59-68. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222010000100005&script=sci_abstract
- Gómez, H., & Pinzón, G. (2012). *Análisis de la mitigación del impacto ambiental en el lago del parque La Florida, por fitorremediación usando buchón de agua*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/7129>
- Gómez, E., López, F., Garavito, L., & Rodríguez, J. P. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en

- humedales artificiales. *Tecnología y ciencias del agua*, 1(1), 59-68.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v1n1/v1n1a5.pdf>
- González, M., Belloso, G., Rivas, M., & Silva, R. (2017). Población de hongos y actinomicetes presentes en el proceso de compostaje con base de bora (*Eichhornia crassipes*), residuos de café y jardinería. *Saber*, 29, 358-366. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/321685033>
- Guevara, M., & Ramírez, L. (3 de Diciembre de 2015). *Eichhornia crassipes*, su invasividad y potencial fitorremediador. *La Granja: revista de ciencias de la vida*, 5-11. doi:10.17163/lgr.n22.2015.01
- Guzzy, M. (1989). Técnicas para el control de las malezas acuáticas. *Tecnología y Ciencias del agua*, 9-16. Obtenido de <http://revistatyc.org.mx/tca/>
- Hassoon et al. (2019). Phytoremediation of Nutrients and Organic Carbon from Sago Mill Effluent using Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Journal Of Engineering And Technological Sciences*, 573-584. doi:10.5614/j.eng.technol.sci.2019.51.4.8
- Hauptfleisch, K. (2015). *A model for water hyacinth biological control*. Johannesburg. Obtenido de [ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/313401401_A_model_for_water_hyacinth_biological_control](https://www.researchgate.net/publication/313401401_A_model_for_water_hyacinth_biological_control)
- Hauptfleisch, K. (2015). *A model for water hyacinth biological control*. Johannesburg [Figura]. Obtenido de [ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/313401401_A_model_for_water_hyacinth_biological_control](https://www.researchgate.net/publication/313401401_A_model_for_water_hyacinth_biological_control)
- Hudakorn, T., & Sritrakul, N. (23 de Noviembre de 2019). Biogas and biomass pellet production from water hyacinth. *Energy Reports*, 532-538. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.11.115>
- Kahol, Y. V., Ningrum, N. S., Retnaningrum, E., & Darmasiwi, S. (2019). Effectivity of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) as bio filter for microbiological water quality in Purwomartani Housing, Kalasan, Sleman, DIY. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 308. doi:<https://doi.org/10.1088/1755-1315/308/1/012008>

- León et al. (Diciembre de 2018). Potencial de plantas acuáticas para la remoción de coliformes totales y *Escherichia coli* en aguas servidas. *Enfoque UTE*, 9(4), 131-144. Obtenido de <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>
- Lin, S., Huang, W., Yang, H., Sun, S., & Yu, J. (27 de Junio de 2020). Recycling application of waste long-root *Eichhornia crassipes* in the heavy metal removal using oxidized biochar derived as adsorbents. *Bioresource Technology*, 314, 1-6. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123749>
- Martelo, J., & Lara, J. (10 de Mayo de 2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 8(15), 221–243. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/download/946/850/>
- Martínez, M. (2003). Avances en el manejo del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Obtenido de <http://www.fao.org/>
- Martínez, P., Chaparro, B., Del Basto, M. A., Calixto, M., & Bernal, J. (2011). Biofertilizers and composting accelerators of polluting macrophytes of a colombian lake. *Journal of soil science and plant nutrition*, 11(2), 47-61. doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S071895162011000200005>
- Mendoza, Y., Pérez, J., & Galindo, A. (2018). Evaluación del Aporte de las Plantas Acuáticas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. *Información tecnológica*, 29(2), 205-214. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S071807642018000200205>
- Mohd, N., Sheikh, S., Izzati, N., Abu, H., & Razi, A. (12 de Octubre de 2019). Phytoremediation of real coffee industry effluent through a continuous two-stage constructed wetland system. *applied sciences*, 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100502>
- Nascimento, I., Lopes, L., & Cardoso, S. (2014). *Eichhornia crassipes*: an advantageous source of shikimic acid. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 439-442. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.bjp.2014.08.003>
- Nguyen et al. (2015). Habitat suitability of the invasive water hyacinth and its relation to water quality and macroinvertebrate diversity in a tropical reservoir. *Limnologia*, 67-74. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.limno.2015.03.006>

- Noukeu et al. (Diciembre de 2016). Characterization of effluent from food processing industries and stillage treatment trial with *Eichhornia crassipes* (Mart.) and *Panicum maximum* (Jacq.). *Water Resources and Industry*, 1–18. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.wri.2016.07.001>
- Oktorina, A., Achmad, Z., & Mary, S. (2019). Phytoremediation of tofu wastewater using *Eichhornia*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-7. doi:[10.1088/17426596/1341/5/052009](https://doi.org/10.1088/17426596/1341/5/052009)
- Ospino, K., Gómez, E., & Rios, L. (2020). Evaluación de técnicas de pretratamiento en buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) para la producción de bioetanol. *Información tecnológica*, 31(1), 215-226. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000100215>
- Oktorina, A., Achmad, Z., & Mary, S. (2019). Phytoremediation of tofu wastewater using *Eichhornia* [Tabla]. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-7. doi:[10.1088/17426596/1341/5/052009](https://doi.org/10.1088/17426596/1341/5/052009)
- Porras, C.(2017). *Estudios del Buchon de Agua (Eichonia Crassipes) para el tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de <https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/17528/1/>
- Ray, P., Sushilkumar, & Kumar Pandey, A. (2009). Impact evaluation of neochetina spp. on different growth stages of waterhyacinth. *journal of plant protection research*, 49(1), 1-9. doi:[10.2478/v10045-009-0002-8](https://doi.org/10.2478/v10045-009-0002-8)
- Rezania, S., Ponraj, M., Din, M., Sairan, F., & Kamaruddin, S. (25 de Octubre de 2013). Nutrient uptake and wastewater purification with Water Hyacinth and its effect on plant growth in batch system. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 1(2), 81-85. Obtenido de <http://www.jett.dormaj.com>
- Saviolo et al. (2020). Nitrogen and phosphorus removal from fish farming effluents using artificial floating islands colonized by *Eichhornia crassipes*. *Aquaculture Reports*, 1-8. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100324>
- Singh, J., Kumar, P., Kumar, P., & Kumar, V. (03 de Febrero de 2019). Response surface methodology based electro-kinetic modeling of biological and chemical oxygen demand removal from sugar mill effluent by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in a Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR). *Environmental Technology & Innovation*, 1-11. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100327>

- Souza, R., Maranduba, L., Borges, M., Brito, L., & de Almeida, J. (06 de Mayo de 2020). Life cycle thinking applied to phytoremediation of dairy wastewater using aquatic macrophytes for treatment and biomass production. *Journal of Cleaner Production*, 1-11. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122006>
- Sukarni Sukarni et al. (2019). Physical and Chemical Properties of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) as a Sustainable Biofuel Feedstock. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 515. doi:<https://doi.org/10.1088/1757-899X/515/1/012070>
- Tanjung, R. E., Fahrudin, F., & Samawi, M. F. (2020). Phytoremediation relationship of lead (Pb) by *Eichhornia crassipes* on pH, BOD and COD in groundwater. *Journal of Physics Conference Series*, 1-7. doi:<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1341/2/022020>
- Tejada, C., López, C., Espinosa, M., Paz, I., & Villabona, A. (04 de Diciembre de 2018). Aprovechamiento del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) para la síntesis de carboximetilcelulosa. *Revista Cubana de Química*, 30(2), 211-221.
- Wang et al. (09 de Enero de 2018). The effects of two free-floating plants (*Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes*) on the burrow morphology and water quality characteristics of pond loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) habitat. *Aquaculture and Fisheries*, 3(1), 22-29. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aaf.2017.12.001>