

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Comparación de eficiencia de humedales en la remoción de contaminantes en aguas residuales municipales con especies caña brava, jacinto de agua y lenteja de agua, basado en dos investigaciones

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Ambiental

Autor:

Alexandra Edith Tuanama Robalino

Asesor:

Ing. Carmelino Almestar Villegas

Tarapoto, agosto del 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

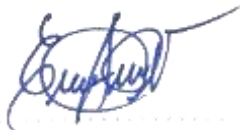
Yo Carmelino Almestar Villegas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Comparación de eficiencia de humedales en la remoción de contaminantes en aguas residuales municipales con especies caña brava, jacinto de agua y lenteja de agua, basado en dos investigaciones”** constituye la memoria que presenta la estudiante Alexandra Edith Tuanama Robalino para obtener el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Tarapoto, a los 10 días del mes de agosto del año 2020



Ing. Carmelino Almestar Villegas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En San Martín, Tarapoto, Morales, a 10 día(s) del mes de agosto del año 2020 siendo las 09:20 horas

se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Tarapoto, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Mtra. Betrabeth Teresa Padilla Masado el (la)

secretario(a): Ing. Shon Patrick Ríos Bartra y los demás miembros:

Ing. Katterin Lina Luz Pinedo Gómez

y el (la) asesor (a) Ing. Carmelino Almeister Villegas

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: Comparación de eficiencias de humedales en la remoción de contaminantes en aguas residuales municipales con especies caña brava; jacinto de agua y lenteja de agua, basado en dos investigaciones.

de los (las) egresados (as): a) Alexandra Edith

Juanama Robalino b)

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en

Ingeniería Ambiental

(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando a la candidato (a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por la candidato (a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Alexandra Edith Juanama Robalino

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobada</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Candidato/a (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó a la candidato (a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a

Secretario/a

Asesoría

Miembro

Miembro

Candidato/a (a)

Candidato/a (b)

Resumen

La contaminación de las aguas constituye actualmente un grave problema ambiental en el contexto global como consecuencia de la industrialización, globalización, crecimiento poblacional y urbanización. Los cuales, al mezclarse con cuerpos receptores, generan el incremento en concentraciones de materia orgánica, nutrientes, compuestos tóxicos y microorganismos no deseados. Y para dar una alternativa de tratamiento existen diversos métodos y entre ellos se encuentran aquellos tratamientos llamados no convencionales o tecnologías blandas, estas se muestran como una nueva alternativa para el tratamiento de las aguas residuales domésticas especialmente para comunidades pequeñas o sistemas rurales, ya que no son costosos ni requieren altos consumos energéticos, por otro lado su operación y mantenimiento de estos no requieren de personal especializado ni procesos complicados. Teniendo como objetivo comparar la eficiencia de los humedales Jacinto de agua, lenteja de agua y caña brava en la remoción de parámetros físico-químicos y microbiológicos de aguas residuales domésticas. La metodología que se usó para la elaboración del artículo se recurrió a bases de datos como Redalyc, Scielo, Sciencedirect, Repositorio de la UNSM. Luego se seleccionó artículos en idioma español e inglés entre los años 2010-2019. Posteriormente se hizo la revisión sistemática de los artículos. Obteniendo como resultado la eficiencia de la especie caña brava (*Arundo donax*) en la remoción de contaminantes. Y llegando así a la conclusión que es accesible el uso de esta especie en humedales artificiales ya que no demanda de mucho costo y mantenimiento, muy aparte que es sostenible y amigable con el medio ambiente.

Palabras claves: aguas residuales; contaminantes; humedales artificiales; remoción.

Abstract

Water pollution is currently a serious environmental problem in the global context as a consequence of industrialization, globalization, population growth and urbanization. Which when mixed with receiving bodies, can vary the increase in any amount of organic matter, nutrients, compounds from Mexico and unwanted microorganisms. And to give an alternative treatment there are various methods and among them are the so-called non-specific treatments or white technologies, they are considered as an alternative for the treatment of wastewater for small communities or rural systems, since they are neither expensive nor affected high energy consumption, in addition to the operation and maintenance of these non-specific specialized personnel or complicated processes. Taking as an objective to compare the efficiency of the hyacinth, duckweed and sugar cane wetlands in the removal of physical-chemical and microbiological parameters of domestic wastewater. The methodology used for the elaboration of the article was repeated to databases such as Redalyc, Scielo, Sciencedirect, Repository of the UNSM. Then articles were selected in the Spanish and English languages between the years 2010-2019. Subsequently, the systematic review of the articles was carried out. Obtaining as a result the efficiency of the caña brava species (*Arundo donax*) in the elimination of contaminants. And thus reaching the conclusion that the use of this species in artificial wetlands is accessible since there is no demand for much cost and maintenance, apart from that it is sustainable and friendly to the environment.

Keywords: sewage water; pollutants; artificial wetlands; removal

1. Introducción

La contaminación de las aguas constituye actualmente un grave problema ambiental en el contexto global como consecuencia de la industrialización, globalización, crecimiento poblacional y urbanización Bernal, Dominguez, Arias, Valdez, & Sardinas (2012). Los cuales, al mezclarse con cuerpos receptores, generan el incremento en cuanto a concentraciones de materia orgánica, nutrientes, compuestos tóxicos y microorganismos no deseados Pabello & Carbillo (2004). Por lo cual existen diversos tratamientos y entre ellos se encuentran los tratamientos llamados no convencionales o tecnologías blandas, estas se muestran como una solución para el tratamiento de las aguas residuales para comunidades pequeñas o sistemas rurales, actualmente no son costosos ni requieren altos consumos energéticos, al mismo tiempo la manipulación y mantenimiento de estos no requieren de recursos humanos especializado ya que no son procesos complicados Vasquez & Díaz (2017). Los sistemas con plantas flotantes utilizan una cobertura de especies, como la Eichhornia crassipes, lemna minor cuyas características principales son la hiperacumulación de sustancias tóxicas Mosquera & Varón (2011) y transformación de compuestos, caracterizados por parámetros, como demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), sólidos suspendidos totales (SST) y nutrientes. De igual manera el Arundo donax tiene la propiedad de incrementar la resistencia a la invasión de los ecosistemas nativos mediante técnicas de restauración que minimicen los recursos disponibles para la especie invasora que se pretende combatir y al mismo hacer remoción en los contaminantes del agua residual Briones (2014) De este modo los contaminantes son removidos por una variedad compleja de procesos biológicos, físico y químicos, incluyendo sedimentación, filtración, adsorción en el suelo, así mismo degradación microbiana (Mosquera & Varón, 2011).

Las técnicas y alternativas de tratamiento de aguas residuales domésticas son una opción para el tratamiento de las aguas residuales de los asentamientos humanos

dispersos Cuenca, Alvarado, & Calzada (2012). De tal modo los humedales naturales son definidos como aquellas áreas que están inundadas por aguas dulces o saladas, de forma temporal o permanente, y que presentan una vegetación típica adaptada para vivir en condiciones de suelo saturado Arteaga Cortez et al. (2019). Así mismo las plantas flotantes son aquellas que tienen sus partes sintetizadas sobre la superficie y sus raíces se extienden hacia debajo de la columna de agua. Las raíces no solo sirven para extraer nutrientes de agua sino además sirven de sustrato para bacterias y como sistema de adsorción de sólidos suspendidos. Impiden la penetración de la luz evitando que crezcan algas en la profundidad. En las plantas flotantes podemos encontrar al Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*); helecho de agua (*Salvinia* sp y *Azolla* sp), lechuga de agua (*Pistia* sp) y lentejas (*Lemna* sp; *Wolffia* sp y *Wolffiella* sp) Espinoza & Peralta (2009). Sin embargo, también depende de la morfología de las macrófitas flotantes difiere dependiendo de la especie. Por ejemplo, el jacinto de agua (especie predominante en los sistemas de tratamiento) es una planta perenne de agua dulce, con desarrollo ascendente, de tallo vegetativo sumamente corto, hojas de color verde brillante y espigas de flores de lavanda. Los pecíolos de las plantas son alargados y abultados de aire que contribuye a la flotabilidad de la planta (Martelo & Borrero, 2012).

Y de igual modo se hace mención a la especie *Arundo donax* según Idris, Jones, Salzman, & Allinson (2012) menciona que esta especie es un buen depurados de contaminantes de agua residual. Por otro parte se hace mención que los humedales construidos de flujo superficiales (HC FS), en donde el agua residual circula por el lecho granular en forma subterránea, evitan malos olores y producción de mosquitos causantes de enfermedades Charris & Osorio (2016). Entonces se puede decir que el uso de humedales artificiales son una buena opción para la depuración de las aguas contaminadas de esta manera transforma y asimila nutrientes y retienen y/o eliminan sustancias tóxicas que de una u otra manera serían vertidas sin un tratamiento alguno

al ambiente, de esta manera se han aprovechado para el control de la contaminación generadas por las aguas residuales (Arias, 2003).

2. Metodología

Para la comparación de los resultados se consideró dos trabajos de investigación de pre- grado. El primero fue desarrollado por Torres (2017), donde analizo parámetros de las aguas residuales domésticas de la quebrada Azungue de la ciudad de Moyobamba; y la segunda investigación fue desarrollada por Abregu & Barbaran (2015), en el barranco del sector cruce de uchuglla, de la ciudad de Moyobamba. Asimismo, se realizó la búsqueda de información bibliográfica del tema de interés tanto en libros, revistas, repositorios y bases de datos como Redalyc, Scielo, EBSCO, entre otros. Teniendo en cuenta los dos artículos de investigación. Posterior a ello se procedió a la elaboración del instrumento de recolección de información- Matriz comparativa, esta fue diseñada a criterio propio con la estructura de las tesis a comparar. Posteriormente se procedió a sistematizar toda la información en una matriz general, de tal manera ver hacia donde están enfocadas. Por otro lado, se sistematizó la información en la matriz de metodología, el cual describe las etapas que se tomaron en cada toma de muestra. Se procedió a sintetizar la información en la matriz de resultados, esta para realizar la respectiva comparación de eficiencia de cada macrófita y así mismo los porcentajes de remoción. A continuación, se inició con la recolección de toda la información de los datos de cada investigación en el Microsoft Excel de los parámetros a comparar SST, T°, pH, turbiedad, DBO, Coliformes termotolerantes; de tal manera que se procesa la información correspondiente de una manera detallada.

Así mismo se usó gráficos de barras y tablas para evaluar la remoción de SST, T°, turbiedad, pH, DBO, Coliformes termotolerantes; en las aguas residuales domésticas y comprar la eficiencia de remoción, y al mismo tiempo comparar con los Límites Máximos Permisibles para agua D.S. N° 003-2010-MINAM.

3. Resultados

3.1 Comparación de las metodologías

En el **Cuadro 1**, se muestra las concentraciones de agua residual las cuales fueron utilizadas junto a las especies *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor*, *Arundo donax* para remoción de contaminantes. Torres (2017) utilizó 200 mg/L para SST, 50 UNT para turbiedad, 195 mg/L en DBO y 4,500 UFC/100 ml en coliformes termotolerantes con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*. Mientras que Abregu & Barbaran, (2015) considero 215 mg/L en SST, 88 UNT para turbiedad, 231 mg/L en DBO, y 5,745 UFC/100 ml en coliformes termotolerantes. Torres (2017) consideró 90 días para su investigación, teniendo un total de 13 muestras, 6 por cada macrófitas las cuales se evaluaron cada 15 días y una muestra extraída de la quebrada Azungue que servía como control esta por cada parámetro. Así mismo Abregu & Barbaran (2015) también considero 90 días en su experimentación, tomando cada 15 días una muestra, ellos consideraron 12 muestras de 500 ml de agua residual cada una haciendo un total de 6 litros, el diseño para la fijación de las macrófitas (*Arundo donax*) fue de flujo horizontal; la selección de las plantas tomó en cuenta 2 meses aproximados de crecimiento y que lleguen a una altura de 50 cm. En ambas investigaciones utilizaron la misma fórmula para determinar la eficiencia de cada especie en estudio.

Cuadro 1. Concentraciones de agua residual para las especies en estudio.

Table 1. Residual water concentrations for the species under study.

Parámetros	Especies		
	<i>Eichhornia crassipes</i> Torres (2017)	<i>Lemna minor</i> Torres (2017)	<i>Arundo donax</i> Abregu & Barbaran (2015)
SST (mg/L)	200	200	215
Turbiedad (UNT)	50	50	88
DBO (mg/L)	195	195	231
Coliformes termotolerantes (UFC/100 mL)	4,500	4,500	5,745

Fuente: Adaptado de Torres, (2017) y Abregu & Barbaran, (2015)

3.2 Análisis de la calidad del efluente

En el **cuadro 2**, se muestra la calidad del efluente tratado con macrófitas. Con respecto al pH, en las tres especies se obtuvo un valor ligeramente básico. La temperatura fue menor en A. donax y mayor en L. minor. Como consiguiente el SST obtuvo un valor menor en A. donax y un valor intermedio en la E. crassipes y el valor más alto lo obtuvo el L. minor. Del mismo modo la Turbiedad muestra un valor menor en A. donax el valor medio E. crassipes y el valor alto L. minor. La DBO fue menor en E. crassipes y mayor en L. minor. Los Coliformes termotolerantes fueron menores en E. crassipes, un valor intermedio en A. donax y el más alto fue el de L. minor. Asimismo, se hizo una comparación con el D.S. N° 003-2010-MINAM - Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTAR donde el pH se encuentra dentro del rango establecido en las tres especies, la T° en E. crassipes, L. minor y A. donax están dentro de los límites establecidos, los SST se encuentran dentro del rango, pero el que muestra más eficiencia es el A. donax quien tiene u 23 mg/l, de igual modo en la DBO E. crassipes mostro un 73 mg/l encontrándose por debajo de los límites máximos permisibles, de igual modo el A. donax cuenta con 97 mg/l mostrando una moderada eficiencia durante el tratamiento, con respecto a L. minor supera los límites demostrando así que no fue eficiente en la remoción de contaminantes. Finalmente, en los coliformes termotolerantes muestran disminución en el E. crassipes y A. donax mientras el L. minor muestra un valor alto, pero aun así están dentro de los límites máximos permisibles.

Cuadro 2. Calidad del efluente tratado con las macrófitas

Table 2. Quality of the effluent treated with the macrophytes

Parámetro	E. crassipes	L. minor	A. donax	Normativa (LMP)
pH	7.23	7.3	7.1	6.5-8.5
Temperatura (°C)	23.8	24.1	22.8	<35
SST (mg/L)	85	140	23	150
Turbiedad (UNT)	16	21	4.5	-
DBO (mg/L)	73	109	97	100

Coliformes termotolerantes (UFC/100 mL)	1642	2953	1995	10,000
--	------	------	------	--------

Fuente: Adaptado de Torres (2017) y Abregu & Barbaran (2015)

3.3 Eficiencia de las macrófitas en el tratamiento del agua residual

En la **Figura 1**, se muestra la eficiencia porcentual de las tres macrófitas en el tratamiento del agua residual doméstica. Para todos los parámetros (SST, turbiedad, DBO y coliformes termotolerantes), con la especie

A. donax se obtuvo un mayor porcentaje de eficiencia. Mientras que con la *E. crassipes* se obtuvo eficiencias de remoción medias y con *L. minor* bajas eficiencias de remoción de los contaminantes.

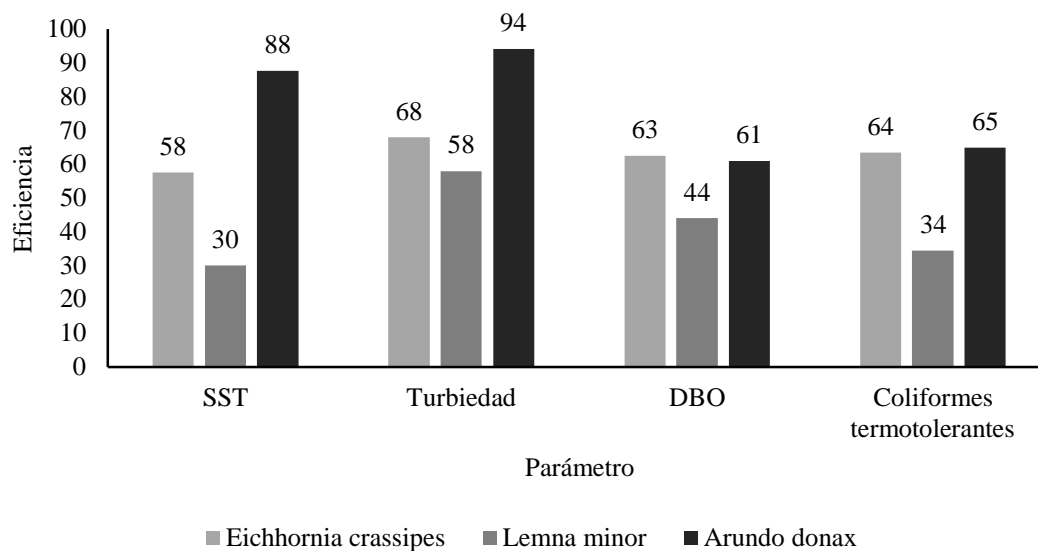


Figura 1. Eficiencia porcentual de las tres macrófitas

Figure 1. Percentage efficiency of the three macrophytes

Fuente. Adaptado Torres (2017) y Abregu & Barbaran (2015)

4. Discusión

Ambas investigaciones buscan disminuir la mayor concentración de contaminantes físico químicos y microbiológicos del agua residual. Utilizando humedales artificiales; estas investigaciones buscaron una alternativa para contribuir con el correcto aprovechamiento de los recursos naturales y al mismo tiempo al cuidado

del medio ambiente de una manera sostenible y a bajo costo. Para ello Haydar, Anis, & Afaq (2020) también hace mención sobre evaluaciones de desempeño de humedales híbridos para tratamiento de aguas residuales municipales utilizando diferentes especies acuáticas Rehman, Ijaz, Arslan, & Afzal (2019) menciona que estos tratamientos son un producto innovador de ingeniería ecológica que puede desempeñar un papel prometedor en el tratamiento de aguas residuales.

A partir de los resultados obtenidos en los análisis; los mismos que se muestran en los cuadros 1 y 2 mencionan las concentraciones de agua residual utilizadas para cada parámetro, así como los análisis a los 90 días de cada tratamiento. Donde el Arundo donax muestra valores significativos en los parámetros medidos.

De tal manera Idris, Jones, Salzman, & Allinson (2012) mencionan que el Arundo donax en su investigación realizada, tuvo una remoción de 78% en DBO, concordando de esta manera con los resultados de Abregu & Barbaran (2015) que después de haber tratado el agua residual con esta especie obtuvo 61% en la calidad del efluente.

Por otro lado, la *E. crassipes* también mostró algunos valores significativos en este caso en parámetros microbiológicos como son los coliformes termotolerantes. Torres (2017) obtuvo 1642 UFC/100 mL, sin embargo, Coronel (2016) en los resultados obtenidos de su investigación menciona que el tratamiento realizado con esta especie fue eficiente debido a la remoción que obtuvo en parámetros microbiológicos fue de 88,24%. A su vez, Mayo (2015) mencionó que la *E. crassipes* puede eliminar no solo contaminantes, sino que también es eficiente en la eliminación de carbono orgánico, mediante sus raíces.

Sin embargo, los resultados que se obtuvieron con la especie *Lemna minor* es baja ya que esta especie necesita un coadyuvante y queda demostrado por Rojas (2017) quien también utilizó esta especie en remoción de aguas residuales domésticas, presentando solo un 52% de disminución. Al igual que Miranda, Gómez, Garavito, & López (2010) hizo una comparación de aguas residuales domésticas utilizando

humedales artificiales con *Lemna minor* y *E. crassipes* obteniendo entre 70% a 86% de remoción con el buchón de agua (*E. crassipes*), mientras la lenteja (*Lemna minor*) solo un 58%. El sistema de humedales artificiales que utilizaron se comportó hidráulicamente como un modelo de flujo pistón, sin distinción del tipo de planta acuática que se use. Durante el ensayo se observó que la lenteja de agua alcaliniza el pH (> 11) en el agua efluente; mientras que el buchón de agua, los valores de pH están en el rango de 6.0 a 8.0, favoreciendo de esta manera la estabilización de la materia orgánica dentro del sistema biológico.

Referente a la eficiencia de las macrófitas en el tratamiento del agua residual, el comportamiento del *Arundo donax* especie utilizada en los humedales artificiales de Abregu & Barbaran (2015) se hace presente, y esto se muestra en la Figura 1 donde el SST obtuvo un 88% de remoción con esta especie, al igual que la turbiedad obtuvo 94% de remoción. Para ello Idris, Jones, Salzman, Croatto, & Allinson (2012) establecieron un experimento con humedales construidos a base de grava los cuales reciben sistemas de recirculación, obteniéndose porcentaje de remoción fue de 97% concerniente a estos dos parámetros.

Por otra parte, Jianbo, Zhihui, & Zhaozheng (2008) también hizo uso de esta especie *Arundo donax* en tratamiento de aguas residuales de una granja de patos, así también hicieron uso del *E. crassipes* donde no solo fue utilizada para el humedal sino también como alimento para la producción de patos. El objetivo de esta investigación fue evaluar el papel que hace el *Arundo donax* y *E. crassipes* en la purificación de aguas residuales; obteniendo 64,44% en la remoción de DBO, concluyendo que el sistema fue efectivo para purificar las aguas residuales de la granja.

También se hace mención a la remoción que presenta la especie *E. crassipes* en el parámetro de turbiedad obteniéndose una eficiencia de 68% de disminución. Y así mismo Jayaweera, Kasturiarachchi, Kularatne, & Wijeyekoon (2007) informa sobre la eficiencia en fitorremediación de esta especie donde pudo evidenciar la eficiencia de un

63% en un periodo de un mes, sin embargo, menciona que esta especie puede ser más eficiente si se encuentra en las condiciones nutricionales adecuadas.

A su vez Gaballah, Ismail, Beltagy, Eldin, & Ismail (2019) hace referencia al uso de otra especie *Pistia stratiotes* el cual indica que se puede utilizar como un tratamiento alternativo en las aguas residuales y que este tiene porcentajes de remoción altos en parámetros como DBO, NH₃ y metales pesados como Fe, Cu, Ni y Pb. Galal, Eid, Dakhil, & Hassan (2017) utilizó la especie *Pistia stratiotes* para mitigar la contaminación de aguas por metales pesados donde el potencial de rizofiltración fue superior a 85% concluyendo que esta planta es excelente para mitigar metales tóxicos. Por otro lado, Priya & Selvan (2014) menciona que la *E. crassipes* también es un eficiente adsorbente para los efluentes textiles y demostró remoción en SST y DBO, DQO.

Zimmels, Kirzhner, & Malkovskaja (2006) también menciona que aplicó la especie *E. crassipes* y *Pistia stratiotes* para tratamiento de alcantarillado urbano, donde confirmaron la capacidad de las plantas para alcanzar y mantener niveles razonables bajos de DBO, DQO y niveles muy bajos de TSS, así como turbidez; demostrando ser efectivas, muy aparte que el mantenimiento para este tipo de tratamiento de aguas residuales urbanas es a bajo costo siendo así una opción viable.

De igual modo Gupta, Roy, & Mahindrakar (2012) hacen mención sobre tratamientos con *E. crassipes* y *Pistia stratiotes* en aguas residuales, e informan que estas técnicas son rentables en comparación con otros métodos utilizados; los cuales presentan eficiencia en la reducción de diferentes contaminantes del agua.

Al mismo tiempo Kodituwakku & Yatawara (2020) ensayaron procesos de fitorremediación de lodo de aguas residuales mediante *E. crassipes*, *Pistia stratiotes* y *Salvinia molesta* a una escala piloto construyeron humedales con flujo de agua libre, para la disminución de metales pesados como Zn, Fe, Cu, Cr, Ni obteniendo como resultado 65.6% de disminución de metales.

Por otro lado, Sylla (2020) utilizó en su investigación de aguas residuales al Arundo donax obteniendo un resultado en cuanto a parámetros microbiológicos valores bajos llegando a la conclusión que este no tiene eficiencia en cuanto a remoción de contaminantes microbiológicos.

Y demostrando de esta manera la eficiencia de estas especies en algunos parámetros físicos, químicos y microbiológicos, como se puede observar la especie Arundo donax fue eficiente en algunos de ellos, sin embargo, no es muy eficiente en la remoción de parámetros microbiológicos. No obstante, los porcentajes más elevados de remoción de este parámetro fueron obtenidos con E. crassipes debido a la fácil absorción que tiene por las raíces; mientras que la especie Lemna minor necesita de un coadyuvante para poder remover cierta cantidad de contaminantes.

5. Conclusiones

De acuerdo con las investigaciones revisadas la eficiencia de los humedales E. crassipes, Lemna minor y Arundo donax en la remoción de parámetros físico-químicos y microbiológicos de aguas residuales domésticas; se presenta una alternativa de tratamiento mediante los humedales artificiales en el cual se hace la aplicación de plantas acuáticas y suncos. Por tal motivo se muestra los resultados obtenidos; donde el Arundo donax demostró ser más eficiente en la remoción de contaminantes del agua residual, sin embargo E. crassipes también resultó ser un buen depurador, pero su eficiencia es menor debido a sus cortas raíces las cuales suelen saturarse rápidamente. Por otro lado, está L. minor quien no suele ser eficiente por sí sola ya que tiene que tener un coadyuvante para poder remover los contaminantes. De esta manera se concluye que el Arundo donax es eficiente en la remoción de parámetros físicos, químicos del agua residual y es recomendable su uso en humedales artificiales destinados a la depuración de aguas contaminadas.

6. Agradecimientos

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes. Y mi profundo agradecimiento a mi asesor Ing. Carmelino Almestar Villegas; así también a mi profesor de investigación el Ing. Jhon Patrick Ríos Bartra principales colaboradores durante todo este proceso quienes con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitieron el desarrollo de este trabajo.

7. Ética y conflictos de interés

Las personas autoras declaran que han cumplido totalmente con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del manuscrito; que no hay conflictos de intereses de ningún tipo; que todas las fuentes colaboradoras se mencionan completa y claramente en la sección de agradecimientos, y que están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo.

8. Referencias

- Abregu, F. E. M., & Barbaran, E. L. (2015). Determinación de la eficiencia del humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales en el barranco del sector cruce de Uchuglla, de la ciudad de Moyobamba 2013 (Universidad Nacional de San Martín). Retrieved from <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/UNSM/232/6053913.pdf?sequence=1>
- Arias, C. (2003). *artificiales para el tratamiento de aguas residuales*. 3, 17–24. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/911/91101302.pdf>
- Arteaga Cortez, V. M., Quevedo Nolasco, A., Del Valle Paniagua, D. H., Castro Popoca, M., Bravo Vinaja, Á., & Ramírez Zierold, J. A. (2019). State of art: A current review of the mechanisms that make the artificial wetlands for the removal of nitrogen and phosphorus. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(5), 319–342.

<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-12>

Bernal, I. S., Domínguez, C. D., Arias, M. C., Valdez, M. E. C., & Sardinas, A. M. (2012).

Bacterias rizosféricas con potencialidades fisiológicas para eliminar materia orgánica de aguas residuales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(1). Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992012000100002&script=sci_arttext&lng=pt

Briones, M. A. V. (2014). "*Combinación biológica de dos especies en humedales*

vegetales sucesivos como biofiltros para la descontaminación de aguas residuales en la planta de tratamiento el Peral EP-EMAPA Ambato." Retrieved from <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7556/1/tesis-018> Maestría en Agroecología y Ambiente - CD 238.pdf

Charris, J. C., & Osorio, A. C. (2016). Eficiencia de eliminación de contaminantes del

agua residual doméstica con humedales construidos experimentales plantados con *Cyperus ligularis* (Cyperaceae) y *Echinochloa colonum* (Poaceae). *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 7(6), 93–103. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n6/2007-2422-tca-7-06-00093.pdf>

Coronel, E. (2016). "Eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de

agua (*Lemna minor*) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas-Chachapoyas 2015. Retrieved from [http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/657/EFICIENCIADELJACINTO DE AGUA.pdf](http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/657/EFICIENCIADELJACINTO%20DE%20AGUA.pdf) sequence=1&isAllowed=y

Cuenca, E. D., Alvarado, A. R. G., & Calzada, K. E. C. (2012). *El tratamiento de agua*

residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San

Miguel Almaya, México. 1–21. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>

Espinoza, M. L., & Peralta, A. M. L. (2009). *Estudio de Eichhornia crassipes, Lemna gibba y Azolla filiculoides en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del Cantón Cotacachi* (Universidad Técnica del Norte; Vol. 2). Retrieved from [http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/102/1/03 REC 108 TESIS.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/102/1/03_REC_108_TESIS.pdf)

Gaballah, M. S., Ismail, K., Beltagy, A., Eldin, A. M. Z., & Ismail, M. M. (2019). *Wastewater Treatment Potential of Water Lettuce (Pistia stratiotes) with Modified Engineering Design* 1. 41(3), 197–205. <https://doi.org/10.3103/S1063455X1903010X>

Galal, T. M., Eid, E. M., Dakhil, M. A., & Hassan, L. M. (2017). *Bioaccumulation and rhizofiltration potential of Pistia stratiotes L. for mitigating water pollution in the Egyptian wetlands.* 6514(October). <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1365343>

Gupta, P., Roy, S., & Mahindrakar, A. (2012). Treatment of Water Using Water Hyacinth, Water Lettuce and Vetiver Grass - A Review. *Resources and Environment*, 2(5), 202–215. <https://doi.org/10.5923/j.re.20120205.04>

Haydar, S., Anis, M., & Afaq, M. (2020). Performance evaluation of hybrid constructed wetlands for the treatment of municipal wastewater in developing countries. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2020.02.017>

Idris, S. M., Jones, P. L., Salzman, S. A., & Allinson, G. (2012). *Performance of the Giant Reed (Arundo donax) in Experimental Wetlands Receiving Variable Loads of Industrial Stormwater.* 549–557. <https://doi.org/10.1007/s11270-011-0881-y>

- Idris, S. M., Jones, P. L., Salzman, S. A., Croatto, G., & Allinson, G. (2012). *Evaluation of the giant reed (Arundo donax) in horizontal subsurface flow wetlands for the treatment of recirculating aquaculture system effluent.* 1159–1170. <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0642-x>
- Jayaweera, M. W., Kasturiarachchi, J. C., Kularatne, R. K. A., & Wijeyekoon, S. L. J. (2007). *Removal of aluminium by constructed wetlands with water hyacinth (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms) grown under different nutritional conditions*. *Removal of aluminium by constructed wetlands with water hyacinth (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms.* 4529(November 2015). <https://doi.org/10.1080/10934520601011361>
- Jianbo, L. U., Zhihui, F. U., & Zhaozheng, Y. I. N. (2008). *Performance of a water hyacinth (Eichhornia crassipes) system in the treatment of wastewater from a duck farm and the effects of using water hyacinth as duck feed.* 20, 513–519.
- Kodituwakku, K. A. R. K., & Yatawara, M. (2020). *Phytoremediation of Industrial Sewage Sludge with Eichhornia crassipes, Salvinia and Pistia stratiotes in Batch Fed Free Water Flow Constructed Wetlands.* *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.* <https://doi.org/10.1007/s00128-020-02805-0>
- Martelo, J., & Borrero, J. A. L. (2012). *Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte.* Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v8n15/v8n15a11.pdf>
- Mayo, A. W. (2015). *Modelling dynamics of organic carbon in water hyacinth Eichhornia Crassipes (Mart.) Solms artificial wetlands.* (December). <https://doi.org/10.5897/IJWREE2013.0468>
- Miranda, J. P. R., Gómez, E., Garavito, L., & Lopez, F. (2010). *aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. I,* 59–

- Mosquera, H. G., & Varón, M. R. P. (2011). Eliminación de nitrógeno en un humedal construido subsuperficial, plantado con *Heliconia psittacorum*. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 2(3), 49–60. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v2n3/v2n3a4.pdf>
- Pabello, V. M. L., & Carbillo, H. F. R. (2004). Medios de soporte alternativo para la remoción de fósforo en humedales artificiales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 20(1), 31–38. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/370/37020104.pdf>
- Priya, E. S., & Selvan, P. S. (2014). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) – An efficient and economic adsorbent for textile effluent treatment – A review. *ARABIAN JOURNAL OF CHEMISTRY*. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.03.002>
- Rehman, K., Ijaz, A., Arslan, M., & Afzal, M. (2019). Floating treatment wetlands as biological buoyant filters for wastewater reclamation. *International Journal of Phytoremediation*, 0(0), 1–17. <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1633253>
- Rojas, E. W. C. (2017). *Eficiencia de Lemna sp y Eichhornia crassipes, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín.*
- Sylla, A. (2020). Ecohydrology & Hydrobiology Domestic wastewater treatment using vertical flow constructed wetlands planted with *Arundo donax*, and the intermittent sand filters impact. *Integrative Medicine Research*, 20(1), 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.11.004>
- Torres, K. L. V. (2017). *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* (Universidad Nacional de San Martín).

<https://doi.org/10.1192/bjp.111.479.1009-a>

Vasquez, J. B. L., & Díaz, O. A. G. (2017). Modelación hidráulica de humedales artificiales de flujo sub-superficial horizontal. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(1). Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382017000100001

Zimmels, Y., Kirzhner, F. Ā., & Malkovskaja, A. (2006). *Application of Eichhornia crassipes and Pistia stratiotes for treatment of urban sewage in Israel*. 81, 420–428. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.11.014>