

# Acción de dos macrófitas para el tratamiento del agua residual de las lagunas de estabilización de Magollo, Tacna – Perú

Action of two macrophytes for the treatment of wastewater from the stabilization lagoons of Magollo, Tacna - Peru

<sup>1,a</sup>Fernando Daniel Limache Quispe

<sup>2,b,\*</sup>Leo Ulises Michael Tirado Rebaza

NOTA CIENTÍFICA	RESUMEN
<p><sup>1</sup>Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú.</p> <p><sup>2</sup>Programa de Maestría en Investigación Científica e Innovación. Universidad Privada de Tacna.</p> <p><b>Correspondencia:</b> *leotiradorebaza@gmail.com</p> <p><sup>a</sup>ORCID: 0000-0003-2165-8437 <sup>a</sup>ORCID: 0000-0002-6599-8866</p> <p><b>Palabras clave:</b> Eficiencia, <i>Eichhornia crassipes</i>, <i>Pistia stratiotes</i>, remoción</p> <p><b>Keywords:</b> Efficiency, <i>Eichhornia crassipes</i>, <i>Pistia stratiotes</i>, removal.</p>	<p>Las lagunas de estabilización de Magollo de la ciudad de Tacna están al borde del colapso, provocando una ineficiente remoción de contaminantes del agua residual tratada. La presente investigación buscó realizar una evaluación comparativa del jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>) y lechuga de agua (<i>Pistia stratiotes</i>) para el tratamiento del agua residual de las lagunas de estabilización de Magollo. Para ello se emplearon seis recipientes de polipropileno (tres con <i>E. crassipes</i> y tres con <i>P. stratiotes</i>), conteniendo 20 litros de agua residual recolectada de las lagunas de Magollo. Todos los contenedores estuvieron alimentados por motores de oxigenación de 2,5 W. Los análisis se realizaron siguiendo lo estipulado en los “Métodos estándar para el examen del agua y las aguas residuales” en las instalaciones del laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L a los 0, 20, 40 y 60 días de retención hidráulica. Se determinó que <i>E. crassipes</i> es más eficiente que <i>P. stratiotes</i> en la remoción de coliformes fecales, coliformes totales, conductividad eléctrica y DBO; mientras que, <i>P. stratioides</i> fue más eficiente en estabilizar el pH, incrementar el oxígeno disuelto y reducir la DQO. Se concluyó que ambas especies son eficientes en la remoción de contaminantes de aguas residuales y se adaptan perfectamente a las condiciones climatológicas de la ciudad de Tacna.</p>
<p><b>Información adicional</b></p> <p><b>Presentado:</b> 26/04/2022 <b>Aprobado:</b> 30/05/2022</p>	<p style="text-align: center;"><b>ABSTRACT</b></p> <p>The Magollo stabilization ponds in the city of Tacna are on the verge of collapse, causing inefficient removal of pollutants from the treated wastewater. The present investigation sought to carry out a comparative evaluation of water hyacinth (<i>Eichhornia crassipes</i>) and water lettuce (<i>Pistia stratiotes</i>) for the treatment of residual water from the Magollo stabilization ponds. For this, six polypropylene containers were used (three with <i>E. crassipes</i> and three with <i>P. stratiotes</i>), containing 20 liters of residual water collected from the Magollo lagoons. All the containers were powered by 2,5 W oxygenation motors. The analyzes were carried out following the provisions of the "Standard methods for the examination of water and wastewater" in the facilities of the Analytical Laboratory E.I.R.L at 0, 20, 40 and 60 days of hydraulic retention. It was determined that <i>E. crassipes</i> is more efficient than <i>P. stratiotes</i> in the removal of fecal coliforms, total coliforms, electrical conductivity and BOD; while <i>P. stratioides</i> was more efficient in stabilizing pH, increasing dissolved oxygen and reducing COD. It was concluded that both species are efficient in the removal of pollutants from wastewater and are perfectly adapted to the climatic conditions of the city of Tacna.</p>

## INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales se encuentran conformadas por una mezcla de materia orgánica e inorgánica que puede estar disuelta o suspendida tras haber sido usada y modificada (Díaz *et al.*, 2012). Actualmente, el incremento de la población y las actividades antropogénicas han provocado una elevada generación de aguas residuales en nuestro planeta. Son consideradas nocivas para los seres vivos por ser un vector de patologías infectocontagiosas, producir malos olores y generar molestias a la población, siendo necesario que deban pasar por un tratamiento convencional que garantice el seguimiento del ciclo de consumo del recurso hídrico (Martelo & Lara, 2012; Arocutipa, 2013; Muñoz & Ramos, 2014). Los tratamientos convencionales generalmente implican un alto costo de operación y mantenimiento debido al consumo de energía eléctrica, compra de insumos químicos, realización de controles de calidad de aguas, adquisición y mantenimiento de equipos, pago de recursos humanos, entre muchos otros (Salas, *et al.*, 2007). Es por ello que una gran parte de las naciones en vías de desarrollo carecen de mecanismos eficaces de tratamiento de aguas residuales debido a recursos insuficientes, priorización de otros proyectos por parte de las autoridades de turno y, desconocimiento sobre alternativas sostenibles de bajo presupuesto (Lahera, 2010; Vargas *et al.*, 2020).

La calidad y disponibilidad del recurso hídrico es primordial para un desarrollo socioeconómico y ambiental sostenible (Vilanova *et al.*, 2017), por lo que intentando cerrar esta brecha, la ciencia e investigación vinculada al tratamiento de las aguas residuales se ha perfilado como una de las medidas que viabilizan nuevas disyuntivas en esta materia (Torres, 2012). En ese contexto, los procesos biológicos empleando macrófitas constituyen una opción de gran trascendencia en el tratamiento de aguas residuales, por su gran capacidad de remoción de contaminantes del agua, los mínimos costos de operación y mantenimiento que requieren, la escasa necesidad de personal de trabajo en planta y la facilidad de reutilización del recurso hídrico tratado (Andrade *et al.*, 2006; Castañeda & Flores, 2014). El tratamiento de aguas residuales empleando al jacinto de agua (*E. crassipes*) y lechuga de agua (*P. stratiotes*) en un sistema biológico de humedal artificial es más inocuo que los tratamientos fisicoquímicos, ya que pese a necesitar un mayor tiempo y un mayor espacio para su puesta en funcionamiento, no genera residuos peligrosos y son macrófitas versátiles, tolerantes y eficientes en la remoción de DBO, DQO, turbidez, coliformes totales, coliformes fecales, nitratos, fosfatos y metales pesados, así como estabilizadores de pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto (Carreño, 2016; Caviedes *et al.*, 2016; Ramírez & Paredes, 2019; Solano, 2019). Según Chang & Huamán (2019), *P. stratiotes* logró un máximo de remoción total promedio de 82,2 % de parámetros fisicoquímicos y biológicos de las aguas residuales del distrito de Llaylla, región Junín, en tanto que *E. crassipes* solo logró un 81,5 %. En la ciudad de Tacna, la efectividad de ambas macrófitas a nivel científico y experimental nunca han sido comprobadas.

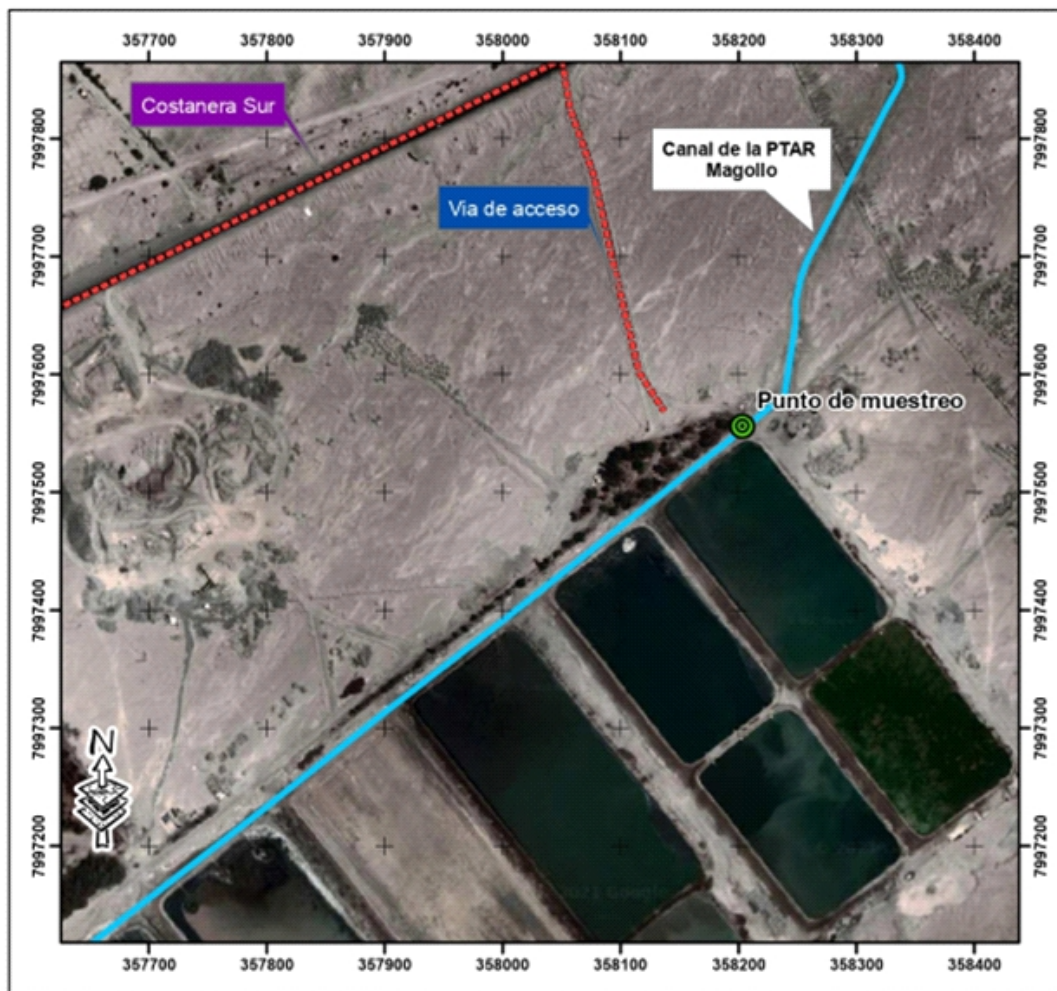
La planta de tratamiento de aguas residuales de Magollo de la ciudad de Tacna inició sus operaciones en 1996 y está constituida por seis módulos de lagunas de estabilización, estando compuesto cada uno por una laguna primaria y una laguna secundaria y ocupan aproximadamente 25 ha. Tienen una capacidad de tratar 180 L/s, siendo capaz de abastecer 1,952 ha de cultivos temporales, perennes y forestales paisajísticos (Ministerio del Ambiente del Perú, 2009). Lamentablemente, en la actualidad se vienen tratando caudales por encima de su capacidad (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento del Perú, 2013). En busca de minimizar los pestilentes aromas que expiden las actuales lagunas y mejorar la calidad de las aguas tratadas para su posterior uso en actividades de reforestación, un proyecto de construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales que permitiría modernizar su recuperación en la ciudad de Tacna se está ejecutando, considerando que actualmente la eficiencia en la remoción de parámetros microbiológicos de la PTAR Magollo se encuentra por debajo del 30 % (Torres, 2019). Sin embargo, hasta el momento no se ha podido iniciar por cuestiones administrativas y judiciales.

El objetivo planteado en la presente investigación fue realizar una evaluación comparativa del jacinto de agua (*E. crassipes*) y lechuga de agua (*P. stratiotes*) para el tratamiento del agua residual de las lagunas de estabilización de Magollo, Tacna -Perú.

## MATERIALES Y MÉTODOS

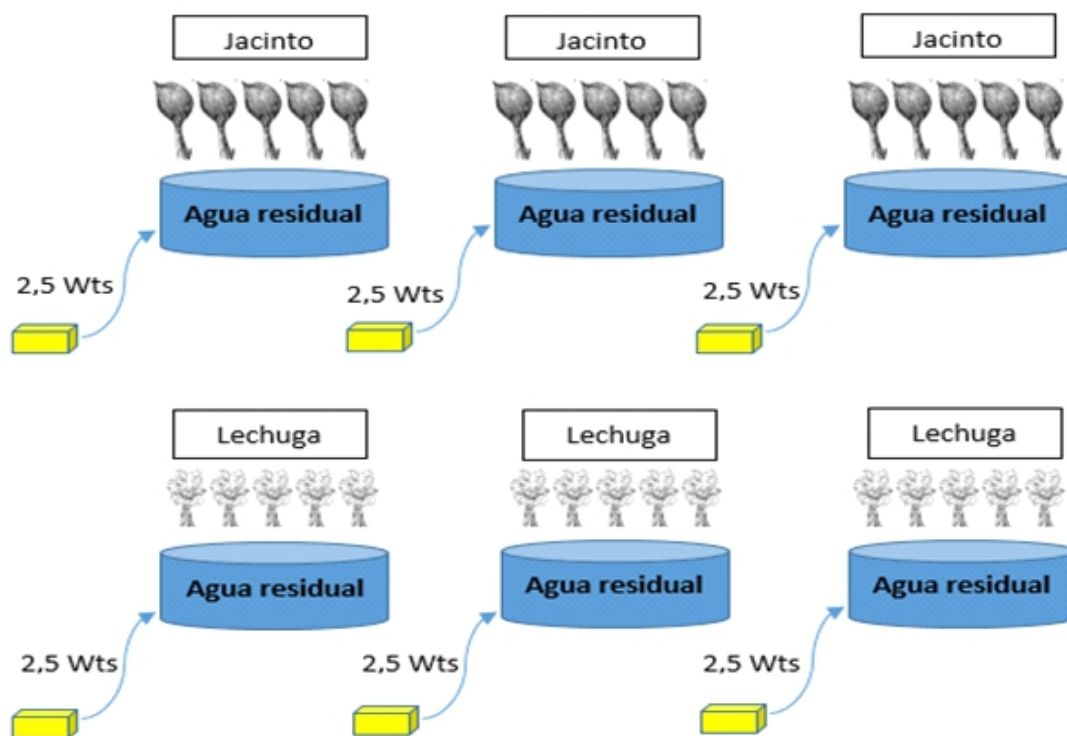
### Área de estudio

El agua residual empleada para la investigación fue recolectada de las lagunas de estabilización de Magollo, específicamente de las coordenadas 358 202.9834E y 7 997 555N (Figura 1).



**Figura 1.** Mapa de localización del punto de muestreo

La muestra de agua residual fue distribuida en seis recipientes de polipropileno de 25 litros de capacidad, vertiendo 20 litros del agua residual en cada depósito. En tres de los recipientes se colocaron 5 plántulas de *P. stratiotes*, y en los otros, 5 plántulas de *E. crassipes*. Todas estuvieron alimentadas por motores de oxigenación marca SOBO de 2,5 W de potencia para evitar anaerobiosis (Figura 2). Para la determinación de los parámetros en las aguas residuales, las muestras tuvieron que ser recogidas empleando distintos tipos de frasco con diferentes volúmenes, según el parámetro a analizar.



**Figura 2.** Diagrama del experimento

#### *Análisis de parámetros fisicoquímicos*

Los análisis fisicoquímicos y biológicos de las aguas residuales se realizaron siguiendo lo estipulado por la Asociación Americana de Salud Pública, Asociación Americana de Obras Hidráulicas y Federación del Medio Ambiente del Agua en el año 2017, en su guía denominada “Métodos estándar para el examen del agua y las aguas residuales” en su edición número 23, en las instalaciones del laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L. de la ciudad de Lima, acreditado por el Instituto Nacional de la Calidad del Perú, a los 0, 20, 40 y 60 días de iniciado el tratamiento experimental.

Para el análisis de conductividad eléctrica, pH y oxígeno disuelto se empleó un multiparámetro marca HACH HQ40D. Para el análisis de DBO, se aplicó el método Winkler. Para el análisis de DQO se empleó la técnica por reflujos cerrados y volumetría.

#### *Determinación de parámetros microbiológicos*

Para el análisis de coliformes totales y fecales, se empleó la técnica por diluciones en tubo múltiple (número más probable o NMP).

## RESULTADOS

En la Tabla 1 se evidencia los resultados de los parámetros fisicoquímicos y biológicos analizados.

**Tabla 1**

Valores de los parámetros analizados de aguas residuales en pre y post tratamiento.

Parámetro	Unidad de medida	Valores pre tratamiento (0 días)	Días	Valores promedio de los parámetros post tratamiento				% de remoción	
				<i>Eichhornia crassipes</i>	D.E. ( <i>E. crassipes</i> )	<i>Pistia stratiotes</i>	D.E. ( <i>P. stratiotes</i> )	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Pistia stratiotes</i>
Coliformes fecales	NMP/100 ml	130 000	20	2 327,33	142,97	33 000,00	100,00	98,21	74,62
			40	1 339,33	121,00	2 154,67	308,81	98,97	98,34
			60	950,00	78,10	1 540,67	27,59	99,27	98,81
Coli formes totales	NMP/100 ml	230 000	20	4 833,33	57,73	49 033,33	152,75	97,90	78,68
			40	4 300,00	100,00	3 333,33	57,73	98,13	98,55
			60	1 466,67	152,75	2 873,33	11,54	99,36	98,75
Conductividad eléctrica	uS/cm	1553	20	435,00	1,00	565,00	2,00	71,99	63,62
			40	183,33	2,30	434,00	3,60	88,19	72,05
			60	162,33	3,05	223,00	1,00	89,55	85,64
pH	Unidad de pH	7,16	20	7,29	0,05	7,22	0,04	-	-
			40	7,54	0,03	7,39	0,06	-	-
			60	7,58	0,04	7,46	0,03	-	-
Oxígeno disuelto	mg O <sub>2</sub> /L	0,5	20	4,43	0,05	2,33	0,05	-	-
			40	7,13	0,11	7,87	0,11	-	-
			60	10,07	0,11	11,80	0,20	-	-
DBO	mg DBO/L	117,3	20	102,63	0,77	82,53	0,20	12,50	29,63
			40	20,00	1,15	20,20	0,95	82,98	82,78
			60	14,10	0,43	18,00	1,21	88,01	84,67
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	280,5	20	224,23	6,08	170,80	4,34	20,06	39,11
			40	57,80	1,03	45,20	2,26	79,40	83,88
			60	46,53	4,00	37,83	5,08	83,41	86,51

Se puede evidenciar que los coliformes fecales, coliformes totales, conductividad eléctrica, DBO y DQO se vieron reducidos por la acción de las macrófitas con el paso del tiempo. Por otro lado, el pH y el oxígeno disuelto incrementaron sus valores a una temperatura de 17 °C (Tabla 1).

En líneas generales, *E. crassipes* fue más eficiente que *P. stratiotes* en la remoción de los parámetros: Coliformes fecales, coliformes totales, conductividad eléctrica y DBO. Sin embargo, la lechuga demostró mayor eficiencia en la estabilización del pH, el incremento del oxígeno disuelto y la remoción de la DQO.

## DISCUSIÓN

Aranda & Pinchi (2020) determinaron que *E. crassipes* y *P. stratiotes* pudieron reducir los coliformes fecales presentes en una muestra de agua residual doméstica de 33 000 NMP/100 ml a <1,8 NMP/100 ml y 99,6 NMP/100 ml, respectivamente, en un periodo de contacto de 30 días. En la presente investigación también se determinó una significativa reducción de coliformes fecales de 130 000 hasta 1339,33 y 2154,67 NMP/100ml por el jacinto y lechuga respectivamente, en un periodo de retención hidráulica de 40 días. Esta superioridad de *E. crassipes*, según Cupe (2013), es atribuible al mayor contacto del agua residual con las raíces de dicha macrófita lo cual daría paso a una serie de procesos químicos como la oxidación de la materia orgánica a partir de la exposición a toxinas originadas por una serie de microorganismos y exudados de los lexemas de las plantas que desempeñan un rol antibiótico y que perjudican a los patógenos (Delgadillo *et al.*, 2010). Por otro lado, Rodríguez & García (2012) determinaron que *E. crassipes* y *P. stratiotes* pudieron remover el 85,5 y 62,8 %, respectivamente, de coliformes totales de una muestra de agua residual en un periodo de 38 días. En la presente investigación también se evidenció una significativa reducción de coliformes totales. Sin embargo, la lechuga de agua fue relativamente más eficiente que el jacinto de agua, obteniendo una remoción del 98,55 y 98,13 %, respectivamente, en un periodo de 40 días. Esto se debería a los protozoos asociados con las raíces de las macrófitas, las cuales también pueden eliminar a las bacterias presentes en el agua residual a través de la depredación (Ajayi & Ogunbayo, 2012).

Sobre el parámetro de conductividad eléctrica, el cual es un indicador de la concentración y movilidad de iones y sales en el agua residual (Abinaya *et al.*, 2018); los autores Kodituwakku & Yatawara (2020) evidenciaron que *E. crassipes* y *P. stratiotes* pudieron remover la conductividad eléctrica de una muestra de aguas residuales, en aproximadamente el 61 y 65 %, respectivamente, en un periodo de 28 días. En la presente investigación se evidenció una reducción del 71,99 y 63,62 % de la conductividad eléctrica de las aguas residuales obtenidas de las lagunas de estabilización de la planta de tratamiento de Magollo empleando al jacinto de agua y a la lechuga de agua, respectivamente, en un periodo de 20 días. Asimismo, Mendoza *et al.* (2016) determinaron que *E. crassipes* es capaz de mantener el pH del agua residual entre 7,19 a 7,39 en 75 días de retención hidráulica, corroborado en la presente investigación al obtener rangos de 7,29 a 7,58 en 60 días. Asimismo, Mendoza *et al.* (2018) evidenciaron que *P. stratiotes* fue capaz de mantener los valores de pH de agua residual entre los 7,66 y 7,87 tras el paso de 84 días en un sistema de flujo semicontinuo, con 40 días previos de adaptación. En la presente investigación se obtuvieron valores de pH que fluctuaron entre los 7,22 y 7,46 en un periodo de 60 días. Cabe destacar que los valores de pH que fluctúan entre 6 y 8 son considerados óptimos para la permanencia de los microorganismos huéspedes de las raíces de las macrófitas, lo cual permite estabilizar, adsorber y absorber el material orgánico de los iones y contaminantes (Benefield & Randall, 1980; Gómez *et al.*, 2008). Además, Solano (2019) determinó que *P. stratiotes* pudo incrementar el oxígeno disuelto de una muestra de agua residual desde 6,9 a 9,53 ppm tras el paso de 21 días, lo cual es similar a lo reportado en la presente investigación en la que se incrementó el nivel de oxígeno disuelto del agua residual de 0,50 a 2,33 mg O<sub>2</sub>/L tras el paso de 20 días en presencia de la misma macrófita. Asimismo, Castillo (2017) determinó que *E. crassipes* fue capaz de incrementar el oxígeno disuelto de una muestra de agua residual de 1,14 hasta 5,92 mg O<sub>2</sub>/L en 31 días. La presente investigación demostró que la misma macrófita pudo elevar los niveles de oxígeno disuelto del agua residual estudiada desde 0,5 hasta 4,43 mg O<sub>2</sub>/L, necesitando únicamente 20 días gracias a la oxigenación adicional aplicada por los motores. Esto es debido a que el elevado consumo de materia orgánica por las macrófitas llega a

únicamente 20 días gracias a la oxigenación adicional aplicada por los motores. Esto es debido a que el elevado consumo de materia orgánica por las macrófitas llega a originar una disminución de microorganismos en el agua residual y por ende los niveles de oxígeno disuelto se incrementan (Quispe *et al.*, 2017). *E. crassipes* es catalogada como una macrófita intrusiva que puede ser capaz de reducir el nivel de oxígeno disuelto en aguas si se le deja desarrollarse de manera descontrolada (Guevara & Ramírez, 2015).

Gaballah *et al.* (2019) evidenciaron que *P. stratiotes* obtuvo un 83,5 % de remoción de DBO cubriendo el 90 % de la superficie de un cuerpo de agua residual de 25 cm de profundidad que estaba dispuesta sobre un recipiente plástico relleno con 10 cm de suelo arenoso (simulando un humedal), tras el paso de 5 días. En tanto, en la presente investigación se determinó que dicha macrófita, cubriendo aproximadamente el 40 % de la superficie de un cuerpo de agua residual de 25 cm de profundidad que estaba dispuesta en un recipiente plástico, era capaz de remover en un 84,67 % la DBO tras el paso de 60 días. Aunado a ello, Martínez & Iglesias (2020) determinaron que *E. crassipes* fue capaz de remover en un 97,15 % la DBO de un efluente residual tras el paso de 21 días, siendo necesario en la presente investigación el paso de 40 días de retención hidráulica para una remoción del 82,98 % con dicha macrófita. La remoción de DBO soluble es atribuible a la acción de los microorganismos que se encuentran adheridos en el sistema radicular de las macrófitas, mientras que la eliminación de la materia orgánica en suspensión suele ser bastante veloz en sistemas que se encuentran en reposo (Sánchez, 2011; Mumtaz *et al.*, 2014). Así mismo, Schwantes *et al.* (2019) determinaron que *P. stratiotes* es capaz de lograr una remoción del 79,2 % de DQO de una muestra de aguas residuales tras el paso de 42 días en retención hidráulica previos a 15 días de aclimatación en aguas de su entorno original. Estos resultados corroboran la presente investigación, ya que se determinó que *P. stratiotes* pudo remover un 83,88 % de DQO en 40 días de retención hidráulica. Cabe destacar que la lechuga de agua suele reducir la DQO significativamente durante los primeros días, empero, en un determinado momento este parámetro tiende a estabilizarse (Bolaños *et al.*, 2008).

Tanto *E. crassipes*, como *P. stratiotes*, en sistemas de humedal, son capaces de atraer insectos como zancudos, coleópteros acuáticos, saltamontes y hormigas (Victor *et al.*, 1991; Menezes *et al.*, 2003; Chang & Huamán, 2019), pero su desarrollo implica una alta demanda de nutrientes (Rezania *et al.*, 2016; Porras, 2017) que es cubierta por las aguas residuales, haciéndolas ideales para la remoción de contaminantes. Aunado a ello, Mumtaz *et al.*, (2014) alegan que las temperaturas ideales para que las macrófitas estudiadas desarrollen su acción fitorremediadora sería entre los 15 °C a 38 °C, siendo ideales los climas cálidos o templados (Porras, 2017), por lo que la ciudad de Tacna reuniría estas condiciones ante una eventual implementación de este tipo de sistemas. Se recomienda tener en cuenta el análisis de los procesos de nitrificación y desnitrificación para futuras investigaciones, así como la identificación de los microorganismos más eficientes en la degradación de la materia orgánica de las aguas residuales (Romero *et al.*, 2009).

## CONCLUSIONES

Se concluyó que *E. crassipes* y *P. stratiotes* son eficientes en la remoción de contaminantes de aguas residuales, pudiendo adaptarse perfectamente a las condiciones climatológicas de la ciudad de Tacna, por lo que sería recomendable implementar un sistema complementario de depuración biológica en el que participen estas dos macrófitas.

La implementación de este tipo de sistemas biológicos es recomendable en regiones rurales de bajos recursos económicos que carezcan de un tratamiento eficiente de sus efluentes. Esto permitiría mejorar la calidad de sus aguas residuales para su eventual reaprovechamiento.

## REFERENCIAS

- Abinaya, S., Saraswathi, R., Rajamohan, S. & Mohammed, S. (2018). Phyto-remediation of total dissolved solids (TDS) by *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* and *Chrysopogon zizanioides* from second stage RO-Brine solution. *Research Journal of Chemistry Environment*, 22(5), 36-41.
- Ajayi, T. & Ogunbayo, A. (2012). Achieving environmental sustainability in wastewater treatment by phytoremediation with water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Journal of Sustainable Development*, 5(7), 80-90. <https://doi.org/10.5539/jsd.v5n7p80>
- Andrade C., Chacón, C., Cárdenas, C. & Morales, E. (2006). Remoción de nitrógeno y fósforo de aguas residuales urbanas por la microalga *Chlorella sp.* en condiciones de laboratorio. *Revista de Ciencia*, 14, 56-63. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/ciencia/article/view/9309>
- Aranda, G. & Pinchi, X. (2020). Eficiencia de las macrófitas Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y repollo de agua (*Pistia stratiotes*) en la remoción de nutrientes en las aguas contaminadas de la laguna Ricuricocha por los efluentes de la ganadería del Águila. – Morales- San Martín, 2019. Tesis de licenciatura. Tarapoto, Perú: Universidad Peruana Unión.
- Arocutipa, J. (2013). Evaluación y propuesta técnica de una planta de tratamiento de aguas residuales en Massiapo del Distrito de Alto Inambari – Sandia. Tesis de licenciatura. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Asociación Americana de Salud Pública, Asociación Americana de Obras Hidráulicas y Federación del Medio Ambiente del Agua. (2017). *Métodos estándar para el examen del agua y las aguas residuales*. Washington, Estados Unidos: Joint Editorial Board.
- Benfield, L. & Randall, C. (1980). *Biological process design for wastewater treatment*. Nueva York, Estados Unidos: Englewood Cliffs, N.J.: Prentice – Hall.
- Bolaños, S., Casas, J. & Aguirre, N. (2008). Análisis comparativo de la remoción de un sustrato orgánico. *Gestión y ambiente*, 11(2), 39 - 48. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/13975>
- Carreño, U. (2016). 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*, 18(2), 74-81. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.52271>
- Castillo, E. (2017). Eficiencia de *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín. Tesis de licenciatura. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Castañeda, A. & Flores, H. (2014). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México. PAAKAT: Revista de Tecnología y Sociedad, 4(7), 1-13. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5815442>
- Caviedes, D., Delgado, D. & Olaya, A. (2016). Remoción de metales pesados comúnmente generados por la actividad industrial, empleando macrófitas neotropicales. *Producción + Limpia*, 11(2), 126-149. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a11>



- Chang, K. & Huamán, T. (2019). Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domesticas mediante las macrófitas *Eichhornia Crassipes* y *Pistia Stratiotes*, plantas típicas de la Selva Peruana. Tesis de licenciatura. Lima, Perú: Universidad Peruana Unión.
- Cupe, F. (2013). Evaluación de la eficiencia de plantas acuáticas flotantes *Lemna Minor* (Lenteja de agua), *Eichhornia Crassipes* (Jacinto de agua) y *Pistia stratioides* (Lechuga de agua). Para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis de licenciatura. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba, Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA).
- Díaz, E., Alavarado, A. & Camacho, K. (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. *Quivera*, 14(1), 78-97. <https://quivera.uaemex.mx/article/view/10453>
- Gaballah, M., Ismail, K., Beltagy, A., Zein, A., & Ismail, M. (2019). Wastewater Treatment Potential of Water Lettuce (*Pistia stratiotes*) with Modified Engineering Design. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 41(3), 197–205. <https://doi.org/10.3103/s1063455x1903010x>
- Gómez, S., Gutiérrez, D., Hernández, A., Hernández, C., Losada, M. & Mantilla, P. (2008). Factores bióticos y abióticos que condicionan la biorremediación por *Pseudomonas* en suelos contaminados por hidrocarburos. *NOVA Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*, 6(9), 76-84.
- Guevara, M. & Ramírez, L. (2015). *Eichhornia crassipes*, su invasividad y potencial fitoremediador. *La granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 22(2), 5-11. <https://doi.org/10.17163/lgr.n22.2015.01>
- Kodituwakku, K., & Yatawara, M. (2020). Phytoremediation of Industrial Sewage Sludge with *Eichhornia crassipes*, *Salvinia molesta* and *Pistia stratiotes* in Batch Fed Free Water Flow Constructed Wetlands. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 104(5), 627-633. <https://doi.org/10.1007/s00128-020-02805-0>
- Lahera, V. (2010). Infraestructura sustentable: Las plantas de tratamiento de aguas residuales. *Quivera*, 12(2), 58-69. <https://www.redalyc.org/pdf/401/40115676004.pdf>
- Martelo, J. & Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales. Una revisión del estado del arte. *Ingeniería y ciencia*, 8(15), 221-243. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4111241>
- Martínez, N. & Iglesias, A. (2020). *Thypha latifolia* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales de efluentes industriales. Tesis de licenciatura. Trujillo, Perú: Universidad Privada del Norte.
- Mendoza, Y., Castro, F., Marín, J., & Behling, E. (2016). Fitorremediación como alternativa de tratamiento para aguas residuales domésticas de la ciudad de Riohacha (Colombia). *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 39(2), 71-79. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0254-07702016000200004](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702016000200004)

- 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. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000200205>
- Menezes, R., Da Silva, E., Ferreira, N. & Hamada, N. (2003). *Mansonia spp.* (Diptera: Culicidae) associated with two species of macrophytes in a Varzea lake, Amazon, Brasil. *Entomotropica*, 18(1), 21-25. [https://sventomologia.org/wp-content/uploads/2020/09/2003\\_181\\_21-25.pdf](https://sventomologia.org/wp-content/uploads/2020/09/2003_181_21-25.pdf)
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2009). *Manual de Municipios Ecoeficientes*.
- Mumtaz, S., Hashim, N., Arshad, A. & Abdul, R. (2014). Performance assessment of aquatic macrophytes for treatment of municipal wastewater. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 12(106), 1-12. <https://doi.org/10.1186/2052-336X-12-106>
- Muñoz, J. & Ramos, M. (2014). Reactores discontinuos secuenciales: Una tecnología versátil en el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 24(1), 49-66. <https://www.redalyc.org/pdf/911/91131484003.pdf>
- Porras, C. (2017). Estudio del buchón de agua (*Eichhornias crassipes*) para el tratamiento de aguas residuales. Tesis de licenciatura. Bucaramanga, Colombia: Universidad Abierta y a Distancia.
- Quispe, L., Arias, J., Franco, C. & Cruz, M. (2017). 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*, 3(1), 79-93. <https://doi.org/10.17162/riectd.v3i1.650>
- Ramírez, K. & Paredes, M. (2019). Evaluación de dos especies macrófitas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de contaminantes microbiológicos y químicos a través de un sistema de biofiltro en aguas residuales domésticas, Tarapoto – 2018. Tesis de licenciatura. Tarapoto, Perú: Universidad César Vallejo.
- Rezania, S., Taib, S., Din, M., Dahalan, F. & Kamyab, H. (2016). Comprehensive review on phytotechnology: heavy metals removal by diverse aquatic plants species from wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 318, 587–599. <https://doi.org/doi:10.1016/j.jhazmat.2016.07.053>
- Rodríguez, M. & García, K. (2012). Depuración de aguas servidas, utilizando especies acuáticas, en la ciudad de Moyobamba, 2011. Tesis de licenciatura. Moyobamba, Perú: Universidad Nacional de San Martín.
- Romero, M., Colín, A., Sánchez, E. & Ortiz, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3), 157-167. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v25n3/v25n3a4.pdf>
- Salas, D., Zapata, M. & Guerrero, J. (2007). Modelo de costos para el tratamiento de las aguas residuales en la región. *Scientia et Technica*, 1(37), 591-596. <https://doi.org/10.22517/23447214.4191>
- Sánchez, R. (2011). Evaluación del humedal artificial de la hostería Cuicocha, utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis de licenciatura. Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Nacional.

- Schwantes, D., Gonçalves, A., Schiller, A., Manfrin, J., Campagnolo, M., & Somavilla, E. (2019). *Pistia stratiotes* in the phytoremediation and post-treatment of domestic sewage. *International Journal of Phytoremediation*, 21(7), 714-723. <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1556591>
- Solano, A. (2019). Comparación de la eficiencia de *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000. Tesis de licenciatura. Chiclayo, Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento del Perú. (2013). Estudio Tarifario. Determinación de la fórmula tarifaria, estructura tarifaria y metas de gestión aplicable a la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Tacna Sociedad Anónima.
- Torres, G. (2019). Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la variación de oxígeno disuelto, temperatura, y remoción de sólidos suspendidos totales, en Celendín – Cajamarca. Tesis de licenciatura. Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Torres, P. (2012). Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. *Revista EIA*, 18, 115-129. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5688315>
- Vargas, A., Calderón, J., Velásquez, D., Castro, M. & Núñez, D. (2020). Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(2), 315-322. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000200315>
- Victor, T.; Marimuthu, S. & Sivaramakrishnan, K. (1991). Aquatic macrophytes and the associated mosquitoes in and round Madurai City (Tamil Nadu). *Indian Journal of Malariology*, 28(3), 151-5. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1688022/>
- Vilanova, R., Santín, I. & Pedret, C. (2017). Control y operación de estaciones depuradoras de aguas residuales: Modelado y simulación. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 14, 217-233. <http://dx.doi.org/10.1016/j.riai.2017.05.004>