

EVALUACIÓN DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS - FITORREMEDIACIÓN CON *EICHHORNIA CRASSIPES*

EVALUATION OF A PILOT ARTIFICIAL WETLAND FOR THE TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER - PHYTOREMEDIATION WITH *EICHHORNIA CRASSIPES*

Marco Arturo **Arciniega-Galaviz**; Jeovan Alberto **Ávila-Díaz** y Pedro **Hernández-Sandoval**

Resumen

En México, sólo 36 % de las aguas residuales generadas reciben tratamiento, lo cual crea la necesidad de desarrollar tecnologías para su depuración. Los humedales artificiales son una alternativa de tratamiento debido a su alta eficiencia de remoción de contaminantes y a su bajo costo de instalación y mantenimiento. Se construyó un humedal artificial tipo superficial de cuatro por dos metros y 40 centímetros de profundidad para el tratamiento de aguas residuales con características domiciliarias empleando el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) como planta biorremediadora. El objetivo fue determinar la tasa de remoción de materia orgánica, sólidos totales, sedimentables, disueltos, suspendidos y turbiedad presentes en aguas residuales. Fue posible remover el 53.34% de los sólidos totales (ST), el 59.49 % de los sólidos suspendidos

totales (SST), el 73.68% de los sólidos sedimentables (SS), el 32.92% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), y el 93.52% de la turbiedad. Con los porcentajes de remoción que se obtuvieron, las concentraciones de DBO₅, ST, SST y SS se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles que señala la NOM-002-SEMARNAT-1996, siendo este tipo de tratamientos biológicos viables para eliminar contaminantes presentes en aguas residuales de origen domiciliario.

Palabras clave: macrofitas, remediación, sólidos totales.

Abstract

In Mexico, only 36% of the wastewater generated receives treatment, which creates the need to develop technologies for its purification. Constructed wetlands are a treatment alternative due to their high

contaminant removal efficiency and low installation and maintenance cost. A surface-type artificial wetland measuring four by two meters and 40 centimeters deep was built for the treatment of wastewater with household characteristics using the water lily (*Eichhornia crassipes*) as a bioremediation plant. The objective was to determine the removal rate of organic matter, total solids, settleable, dissolved, suspended and turbidity present in wastewater. It was possible to remove 53.34% of the total solids (TS), 59.49% of the total suspended solids (TSS), 73.68% of

the settleable solids (SS), 32.92% of the Biochemical Oxygen Demand (BOD₅), and 93.52% of turbidity. With the removal percentages that were obtained, the concentrations of BOD₅, ST, SST and SS are below the maximum permissible limits indicated by NOM-002-SEMARNAT-1996, being this type of biological treatments viable to eliminate present contaminants. in domestic wastewater.

Keywords: Macrophytes, remediation, total solids.

INTRODUCCIÓN

Para el año 2030 se estima que miles de personas no tendrán acceso al agua potable, debido al aumento demografía en el mundo aunado a la escasez de este líquido vital, por lo que es necesario inversiones en infraestructura en el tratamiento de aguas residuales, es importante la educación en las personas acerca del uso eficiente de los recursos hídricos (ONU, 2022).

El objetivo 6 “Agua Limpia y Saneamiento “de los objetivos de desarrollo sostenible que promueve las Naciones Unidas, tiene como meta incrementar las inversiones y la concientización en los sectores industrial, agrícola, ganadera, comercios y servicios sobre el uso sostenible de los recursos hídricos, por lo que es necesario el desarrollo de tecnologías que eliminen contaminantes del agua y vuelvan a ser usadas, sin tener que descargarlas a los cuerpos en donde dañaran a los ecosistemas acuáticos y a la salud de las personas.

De igual manera para el 2030, es necesario que la calidad del agua mejore al reducir la cantidad y tipo de contaminantes a los cuerpos de agua, controlar las descargas de sustancias químicos y materiales peligrosos, y que la cantidad de aguas residuales tratadas aumente su volumen antes de ser arrojadas a los cuerpos de agua (Naciones Unidas, 2023).

El agua puede ser usada en la agricultura, industria, minería y en los hogares adquiriendo contaminantes como sólidos, materia orgánica, sustancias químicas, de tal manera que es descargada como un residuo, es importante dar un tratamiento a estas aguas usadas para volverlas a reusar o descargarlas a los ríos, mares o lagos con la finalidad de reducir o eliminar los elementos adquiridos durante su uso (Barba Ho, 2002).

El tratamiento de las aguas residuales, se realiza mediante procesos físicos, químicos y biológicos, que tratan y remueven contaminantes presentes en el agua con el objetivo de reducir el nivel de contaminantes y por lo tanto disminuir los impactos ambientales, salud y calidad de vida. (Ramalho, 1996).

Dentro de los físicos están el cribado, sedimentación, desarenado y filtración, mientras que dentro de procesos químicos están intercambio iónico, electrodiálisis, osmosis inversa, ionización y para tratamientos biológicos está el diseño de humedales artificiales, lagunas de oxidación, lodos activados, reactores biológicos entre otros (Chávez, 2017).

Los humedales artificiales son construcciones que simulan el funcionamiento de un humedal natural, se emplean plantas flotantes, enraizadas o sumergidas que absorberán los nutrientes (materia orgánica) presente en las aguas residuales a tratar, de igual manera en las raíces de las plantas se alojan una gran cantidad de bacterias que degradan la materia orgánica. Los humedales artificiales pueden ser superficiales o subsuperficiales dependiendo la forma en que el agua residual llega al humedal (Hoffman et al, 2011).

Los humedales artificiales son la opción viable para eliminar la materia orgánica, principalmente la que está presente en las descargas de aguas grises procedentes de baños y lavadores y aguas negras que se originan por la descarga de sanitarios (Polo y Torrecillas, 2018).

Para el tratamiento de agua con humedades, el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es una de las especies acuáticas más estudiadas, debido a sus propiedades depuradoras y su alta tasa de reproducción especialmente en regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo (Alvarado, 1992).

Un humedal artificial se construye realizando una fosa en un terreno y se le coloca un material impermeable para evitar la infiltración al subsuelo, sobre el material se coloca piedra, grava y arena, queda listo para llenarlo de agua y plantas remediadoras. Las plantas se encargan de absorber y degradar la materia orgánica presente en el agua residual. En el humedal ocurren dos mecanismos, el primero es que el sustrato de arena, grava y piedra sirven como un filtro que retienen gran cantidad de sólidos y el segundo mecanismo es un proceso biológico donde las plantas absorben los nutrientes presentes y la materia orgánica y las bacterias en sus raíces degradan la materia orgánica, de tal manera que al final del tratamiento la DBO5 inicial es reducida y el agua se obtiene con poca turbiedad (Rodríguez, 2019).

Rodríguez (1992) en su investigación, demuestra que mediante el uso de plantas acuáticas flotantes se pueden lograr buenas eficiencias en la

remoción de los contaminantes más comunes de las aguas residuales domésticas, siendo el lirio acuático la planta más eficiente, lográndose remociones de hasta 80% en DBO₅.

La *Eichhornia crassipes*, es una planta hidrófita flotante con una tasa de reproducción y crecimiento muy elevado, por lo que se expande por los cuerpos de agua como si fuera un tapete (Rodríguez et al 2021). Es una especie que absorbe, concentra y precipita compuestos como sólidos totales, sólidos suspendidos totales y contaminantes que altera la calidad del agua (Saldarriaga et al, 2011).

El lirio acuático cuenta con raíces sumergidas que van de 50 centímetros hasta 1 metro de largo, es ahí en las raíces, donde se acumulan una gran cantidad de bacterias que degradan la materia orgánica presente en el agua, de igual manera las raíces del lirio absorben de la materia orgánica los nutrientes que requieren para su reproducción y crecimiento, es por eso que las personas tratan de imitar lo el funcionamiento de los humedales naturales al construirlos de manera artificial (Verdejo et al, 2006).

MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Se realizó un estudio experimental y descriptivo, la parte experimental consistió en la construcción de un humedal artificial, recolección de las plantas acuáticas, su aclimatación en el humedal, la recolección de muestras de agua tratada y el análisis en el laboratorio para determinar las concentraciones de sólidos totales, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, demanda bioquímica de oxígeno y turbiedad. La parte descriptiva se llevó a cabo construyendo una base de datos con los resultados obtenidos de los análisis con los cuales se elaboraron graficas de se obtuvieron distribuciones de frecuencias. Antes de llevar a cabo la parte experimental se realizó una revisión bibliográfica con las palabras clave: tratamiento de aguas, humedales artificiales, sólidos totales, construcción de un humedal, análisis de agua, en sistemas de indización como Scielo, Redalyc, Redib y Doaj, en directorios y catálogos como Latindex, Google académico, principalmente en artículos realizados en México y países de Latinoamérica.

Diseño y operación del humedal artificial

Para la construcción del humedal artificial, se niveló el piso para evitar el hundimiento del suelo. Se utilizó tubería de PVC de 1 ½ pulgadas para dirigir la entrada de agua desde el registro hasta el sedimentador y posteriormente al humedal artificial, para prevenir la infiltración del agua residual al subsuelo, fue colocada una membrana de hule negro. Se construyeron dos registros uno en la entrada y salida del humedal con las medidas de 1 metro cuadrado como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Nivelación y construcción del humedal artificial.

La instalación hidráulica del humedal consistió con las diferentes dimensiones 0.45 m de altura, 2 m de ancho y 4 m de largo con una pendiente de 1 grado para permitir el flujo horizontal del agua.

El material que se utilizó como sustrato fue una mezcla de grava papa, grava $\frac{3}{4}$, las plantas que se instalaron en el sistema fueron *Eichhornia crassipes* previamente aclimatadas a las condiciones ambientales del sitio de prueba (Figura 2).



Figura 2. Dimensión y Colocación de grava papa $\frac{3}{4}$.

El agua residual proveniente del registro se conducía a un sedimentador por medio de una bomba sumergible a través de una tubería de PVC de 2 pulgadas, el agua tratada fue la originada en sanitarios.

A la salida del humedal se instaló una llave de paso que permita la toma de muestras de agua y así evaluar la eficiencia de depuración de manera global en el sistema, además de controlar el caudal de agua que ingresa al humedal.

Aclimatacion de *Eichhornia crassipes*

El lirio acuático se recolectó de canales que conducen agua de riego, se sometió a un periodo de aclimatación de 3 a 4 semanas para que la planta se adaptara y se reprodujera en la totalidad del humedal (Figura 3).



Figura 3. Aclimatación de la planta *Eichhornia crassipes*

Funcionamiento del humedal artificial

El tiempo de retención hidráulica fue de 4.5 días, se estimó dividiendo el volumen del agua dentro del humedal almacenada por el flujo de descarga del humedal. Durante la experimentación del tratamiento de agua residual se tomaron medidas de flujo de agua en la salida del humedal dando un promedio de 550 ml / minutos.

Las muestras se tomaron cada semana durante 15 semanas en botellas de plástico de un litro en los diferentes puntos de muestreo: registro sedimentador y salida del humedal artificial (Figura 4).

Siempre se buscó que los muestreos fueran en días donde las actividades de clases, administrativas e intendencia fueran las habituales y de esta manera obtener muestras lo más representativas posibles.



Figura 4. Toma de muestra de agua residual.

Métodos de análisis

Los parámetros que se evaluaron fueron; demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), solidos suspendidos totales (SST), solidos totales (ST), solidos sedimentables (SS) y potencial de hidrógeno (pH). Las muestras de aguas se recolectaron por triplicado en la salida del registro, sedimentador y del humedal. Las muestras se tomaron de acuerdo a la norma mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996 y se analizaron considerando las técnicas establecidas por la normatividad mexicana para análisis de agua, en la Tabla 1 se muestran las NMX para cada parámetro analizado.

Tabla 1. Parámetros analizados en el estudio de la remoción de la carga orgánica de aguas residuales con *Eichhornia crassipes*

Parámetro	Norma Mexicana (NMX) para análisis de aguas	Nombre de la NMX
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	NMX-AA028-SCFI-2001	Análisis de agua - Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO_5) y residuales tratadas.
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	NMX-AA-034-SCFI-2001	Análisis de agua - Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas

Sólidos Sedimentables (SS)	NMX-AA-004-SCFI-2013	naturales, residuales y residuales tratadas Análisis de agua – Medición de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas
Sólidos Totales (ST)	NMX-AA-034-SCFI-2001	Análisis de agua - Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas
Potencial de Hidrógeno (pH)	NMX-AA-008-SCFI-2011	Análisis de agua - Determinación del pH
Turbiedad	NMX-AA-038-SCFI-2001	Análisis de agua - Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas

Una vez obtenidos los resultados, se construyó una base de datos y se analizaron con el programa Excel para obtener promedios y distribuciones de frecuencias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, muestran los promedios de cada uno de los parámetros que fueron analizados (sólidos suspendidos totales, sólidos totales, sólidos sedimentables, DQO₅, pH, turbidez y temperatura) tanto para el registro, sedimentador y humedal artificial.

Sólidos Totales (ST)

En la Tabla 2, se muestra la concentración promedio de ST, el registro tuvo una concentración promedio de 367.8 mg/L, para el sedimentador, su promedio de concentración fue de 243.8 mg/L, y en cuanto al sistema de humedal artificial su concentración promedio de ST fue de 171.6 mg/L, notándose una amplia remoción. Después de analizar el agua ya tratada por el humedal se logró tener una eficiencia total en el sistema de 53.34% de remoción de sólidos totales.

Tabla 2. Porcentajes de remoción de sólidos totales en el sedimentador y humedal artificial

	Registro	Sedimentador	Humedal Artificial
Promedio (mg/L)	367.8	243.8	171.6
% Remoción	N.A	33.71%	29.61%

Se observan las concentraciones de sólidos totales en las diferentes salidas de los puntos de muestreo, registro, sedimentador y humedal artificial. Existe una ligera variación de los resultados de semana a semana, pudiera influir el número de alumnos y por lo tanto el volumen de descarga de aguas residuales.

Sólidos Suspendedos Totales (SST)

En la Tabal 3, se observa la concentración de SST, en los tres muestreos se aprecia una eliminación de solidos suspendidos totales, lo cual en el registro como resultado promedio es 27.48mg/l y en el sedimentador es de 21.33mg/l respecto a esas concentraciones los sólidos fueron muy altos donde se puede apreciar una baja remoción, mientras en el humedal se obtuvo un promedio de 11.13mg/l, la concentración de SST descendido de igual manera obteniendo una alta remoción de solidos suspendidos totales. El total de remoción de solidos suspendidos totales en el sistema fue de 59.49%.

Tabla 3. Porcentajes de remoción de solidos suspendidos totales en el sedimentador y humedal

	Registro	Sedimentador	Humedal Artificial
Promedio mg/L	27.48	21.33	11.13
% Remoción	N.A.	22.37%	47.81%

La concentración de solidos suspendidos totales en el registro y en el sedimentador fueron muy altos, debido a factores que intervinieron en el sistema como lluvias, vientos muy fuertes, en cuanto a la concentración de SST en el humedal artificial claramente se observa una considerable disminución.

Sólidos Sedimentables (SS)

En la Tabla 4, se muestran los resultados obtenidos al medir las concentraciones de sólidos sedimentables (SS) en los 15 muestreos realizados, la concentración en el registro fue de 0.38 mm/L de SS, mientras que en el sedimentador y humedal artificial fue de 0.1. El total de remoción en el sistema fue de 73.68%.

Tabla 4. Porcentajes de remoción de sólidos sedimentables en el sedimentador y humedal

	Registro	Sedimentador	Humedal Artificial
Promedio mg/L	0.38	0.1	0.1
% Remoción	N.A.	73.68%	0

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

En la Tabla 5, se representa el promedio de la concentración de demanda bioquímica de oxígeno, del registro se obtuvo un resultado promedio de 11.45mg/l, para el sedimentador 11.0mg/l de concentración de DBO₅ con estos dos primeros resultados se puede observar que se obtuvo una baja disminución de DBO₅, en el tercer punto de muestro que es el humedal, dando como resultado un promedio de concentración de 7.68mg/l de DBO₅ lo cual con este resultado se puede apreciar claramente una disminución considerable comparada con los dos puntos de muestreos anteriores. El total de remoción en el sistema fue de 32.92%.

Tabla 5. Porcentajes de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno en el sedimentador y humedal

	Registro	Sedimentador	Humedal
Promedio mg/L	11.45	11.0	7.68
% Remoción	N.A.	3.9%	37.19%

Se puede observar que el mayor porcentaje de remoción se obtuvo en el humedal artificial, ya que la materia orgánica presente en el agua fue absorbida por la planta como nutrientes, además de que las bacterias

alojadas en las raíces realizan la oxidación de la materia orgánica degradándola de esta manera.

Potencial de hidrógeno (pH)

Durante los 15 muestreos realizados, se determinó el potencial de hidrogeno a la salida del sedimentador y del humedal artificial, los promedios en cada punto de muestreo estuvieron alrededor del pH neutro, estando dentro de los límites que señala la norma oficial mexicana, nom-002-ECOL-1996 (Tabla 6).

Tabla 6. Promedio del potencial de hidrógeno (pH) en registro, sedimentador y humedal

PH	REGISTRO	SEDIMENTADOR	HUMEDAL
Promedio mg/L	7.49	7.3	7.1

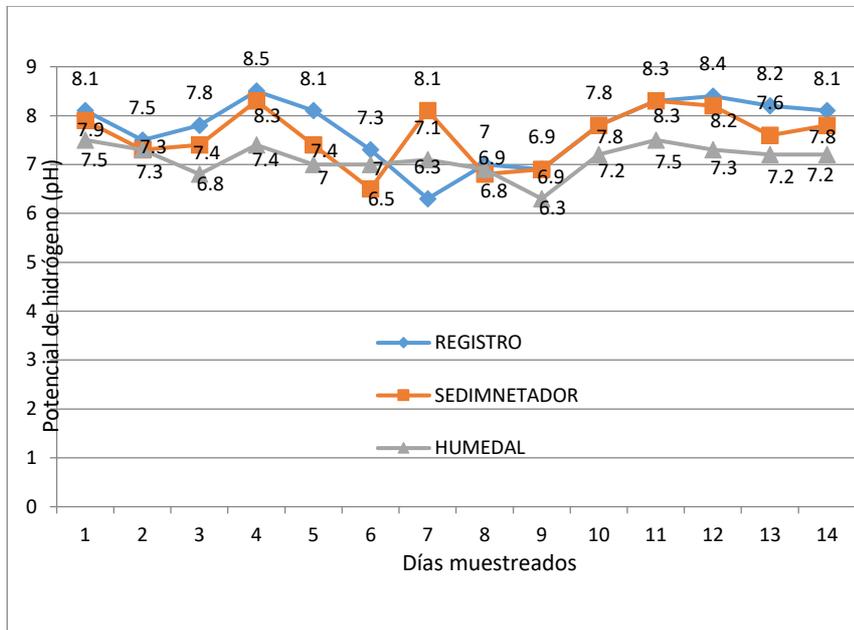


Figura 4. Representación gráfica del comportamiento del pH en el sistema.

La Figura 4 nos muestra el pH de los tres puntos de muestreo registro, sedimentador y humedal artificial durante las 15 semanas. Los valores de pH que se presentaron, algunos estuvieron 8.5, 8.4, y 8.3, y de igual manera algunos por debajo del pH neutro 6.3 y 6.5.

Turbiedad

En la planta piloto para el tratamiento de las aguas residuales la concentración promedio de turbiedad en el efluente del registro fue de 44 UTN.

En el efluente del sedimentador se obtuvo un promedio de 12.63 UTN con esto se puede observar un poco de disminución de turbiedad en el primer sistema de pre tratamiento (Tabla 7).

La turbiedad promedio en el humedal fue de 2.85 UTN, claramente se aprecia una disminución comparada con los dos puntos de muestreo iniciales. El total de remoción en el sistema 93.52%.

Tabla 7. Porcentajes de remoción de turbiedad en el sedimentador y humedal artificial

	Registro	Sedimentador	Humedal
Promedio mg/L	44	12.63	2.85
% Remoción	N.A.	71.36%	77.43%

De acuerdo a los resultados, el mayor porcentaje de turbiedad eliminada, se presentó en el humedal artificial con un 77.43%.

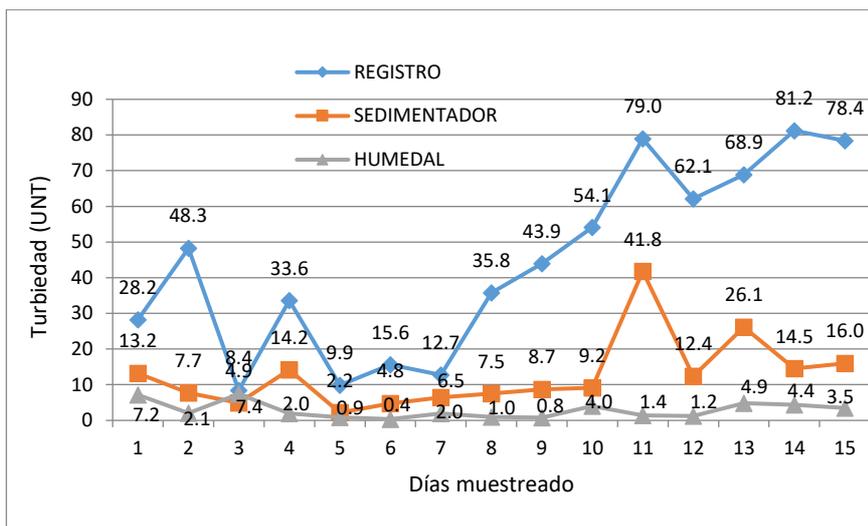


Figura 5. Representación gráfica del comportamiento de turbiedad en el sistema.

En el sedimentador, específicamente en el día 14 se obtuvo una lectura alta (41.8) de las unidades nefelométricas de turbidez (UNT), pero en la mayoría de las muestras la turbiedad fue baja, para el punto de muestreo del humedal artificial hubo lecturas muy bajas como 0.4, 0.9 UNT

Temperatura

La temperatura fue otro de los parámetros medidos en los 15 muestreos realizados, se presentaron temperaturas entre los 25.2 y 28.2 °C (Tabla 8), los muestreos se realizaron entre los meses de septiembre y febrero.

Tabla 8. Temperaturas promedio en el sistema, registro, sedimentador y humedal

	Registro	Sedimentador	Humedal
Promedio °C	28.25	27.94	25.27

Durante los muestreos, hubo días con temperaturas de hasta 34°C y templadas alrededor de los 20 y 21 °C, no se presentaron variaciones considerables.

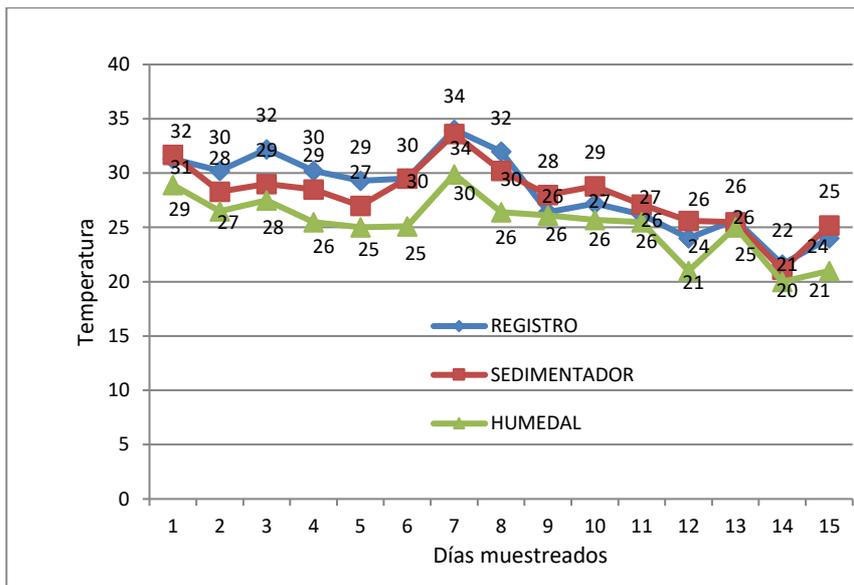


Figura 6. Representación gráfica del comportamiento de temperatura en el sistema.

Existen investigaciones en las cuales evaluaron a la *Eichhornia crassipes* en humedales artificiales para reducir la carga de materia orgánica y sólidos presentes en aguas residuales, obteniendo porcentajes de remoción de manera considerable. La construcción de los humedales fue diferente para cada investigación y las características de las aguas residuales que fueron tratadas, la Tabla 9, se mencionan algunas de las investigaciones.

Tabla 9. Investigaciones de humedales artificiales usando *Eichhornia crassipes*

Nombre de la investigación	Autores	Resultados
Humedales artificiales como alternativa para mejorar la calidad del agua.	Martínez et al (2006).	71% de eliminación de materia orgánica y 91% y 77% de calcio y cloruro respectivamente.
Uso potencial de la especie vegetal <i>Eichhornia crassipes</i> del humedal artificial de la planta piloto Arturo Pazos.	Yilda Aranza López Pérez (2023).	La remoción de demanda bioquímica de oxígeno fue de 91.74%, en la demanda química de oxígeno (DQO) con 85.32%, en turbiedad un 94.68% y

		en sólidos suspendidos totales (SST) de 98%.
Uso de la <i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en humedales artificiales	Alvarado Chilcon Janeth y Manayay Peralta Jheyimi (2020)	La <i>Eichhornia crassipes</i> , reduce los parámetros tales como la Demanda biológica de oxígeno (DBO) en un 92%, sólidos suspendidos 90%, fósforo 97%, nitrógeno 96%.
Assessing water hyacinth (<i>Eichhornia crassipes</i>) and lettuce (pistia stratiotes) effectiveness in aquaculture wastewater treatment.	C. O. Akinbile & Mohd S. Yusoff (2012).	87.05% de reducción de turbiedad se obtuvieron con <i>Eichhornia crassipes</i> .
Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte	Jorge Martelo y Jaime A. Lara Borrero (2012)	Se alcanzan reducciones de DBO ₅ en el orden de 95%, y hasta 90,2% para la DQO. Los sólidos suspendidos disminuyeron entre 21% y 91%. El fósforo total y nitrógeno fueron removidos 91,7% y 98,5% respectivamente

Los resultados de las diferentes investigaciones, el porcentaje de remoción estuvo entre el 70% y 95%, para esta investigación los porcentajes fueron menores, 3.9% en el sedimentador y 37.19% en el humedal, dando un total de 41.09%. El tiempo de retención para esta investigación fue de 4.5 días y las otras investigaciones fue mayor, es necesario aumentar el tiempo de retención, aproximadamente 21 días como se hizo en las otras investigaciones, esto permitirá un mayor tiempo de la materia orgánica en el humedal y por lo tanto aumenta la posibilidad de que sea aprovechado por la planta para degradarla.

El porcentaje de turbiedad de 93.52% de esta investigación es acorde a lo obtenido en por investigaciones de otros autores, 87.05% de Akinbile & Mohd (2012) y 94.68% de Yilda Aranza López Pérez (2023).

El pH se mantuvo entre 6 y 7, ya que como característica principal de las aguas residuales tratadas era la materia orgánica procedente de baños y cocina, por lo que no había descargas de soluciones acuosas con ácidos o bases fuertes. Respecto a la temperatura se mantuvo un promedio de 25°C

ya que las muestras que se tomaron fueron en los meses de septiembre a febrero abarcando meses calientes y fríos.

El sedimentador eliminó sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables antes de llegar al humedal artificial, esto permitió que no se saturara el fondo del humedal con lodos. El agua tratada se condujo a un vivero próximo al humedal, por lo que fue aprovechada para el riego de las plantas dentro de éste.

Cabe mencionar que durante los meses de funcionamiento del humedal fue necesario estar eliminando plantas de lirio, ya que su alta reproducción rebasó las dimensiones del humedal. También con el tiempo se fue poblando de plagas como arañas, renacuajos, ranas, escarabajos pertenecientes al género *Hidrophilus*, lo anterior llevó a realizar actividades de eliminación de las plagas.

CONCLUSIÓN

En el presente estudio se llegó a la conclusión que los humedales artificiales son una alternativa para la reducción de la contaminación generada por aguas residuales, en este caso en particular el lirio acuático resultó muy eficiente en la depuración de las aguas residuales domésticas, obteniendo muy buenos porcentajes en la eliminación y reducción de los parámetros analizados en dicho estudio, un papel importante jugó el sedimentador ubicado antes de entrar el agua residual al humedal artificial, ya que un porcentaje importante de sólidos, materia orgánica fue retenida en ésta etapa.

Se puede afirmar que los humedales artificiales son ecológicamente positivos y pueden contribuir a la protección de hábitat de la fauna y buena integración paisajística.

Debido al éxito que tienen los humedales artificiales en la remoción de materia orgánica, es necesario seguir realizando pruebas utilizando otros tipos de macrófitas ya sea flotantes, sumergidas o soportadas en un sustrato, de igual manera distintos diseños de los humedales ya sean superficiales o subsuperficiales, siempre buscando aumentar el porcentaje de remoción de sólidos y materia orgánica de las aguas residuales.

Se considera importante involucrar a estudiantes en este tipo de proyectos ya sea como tesis, servicio social y en veranos científicos, ya que adquieren conocimientos, habilidades y actitudes que los formaran

como profesionistas que ayudaran a la solución de problemas ambientales en la región y más cuando se trata de cuidar el agua.

LITERATURA CITADA

- Alvarado., C., L. (1992). Utilización de *Eichhornia Crassipes* (Jacintos acuáticos) para la remoción de nitratos y fosfatos de un efluente tratado biológicamente. *Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala*, 1992. 35p.
- Alvarado, J. y Manayay, J. (2020). Uso de la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en humedales artificiales. [Tesis Licenciatura. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. *Universidad Cesar Vallejo*]. Recuperado de: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/60126/Alvarado_CJ-Manayay_PJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Barba Ho, L. E. (2002). Conceptos basicos de la contaminacion del agua y parametros de medicion. *Universidad del Valle. Santiago de Cali*. Recuperado de: https://pdfixers.com/downloadPage.html?campaign_id=21091048779&adgroup_id=162890864634&placement_id=docplayer.es&creative_id=693564212776&gclid=CjwKCAjwkuqvBhAQEiWA65XxQPVA1qQYyNldiY8DG8vCRebWAaflhBgMj19lsTI33Q2wS4kOwkVQkRoCymMQAvD_BwE
- C. O. Akinbile & Mohd S. Yusoff (2012): Assessing water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and lettuce (*Pistia stratiotes*) effectiveness in aquaculture waste water treatment, *International Journal of Phytoremediation*, 14:3, 201-211
- Chavez, I., G. (2017) Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de Aguas residuales. *Ciencias Industriales*. Vol. 3, núm. 1, pp. 536-560. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6134928>
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Santa fe de bogotá, colombia: McGraw-Hill Interamericana, S. A.
- López Pérez, Y. A. (2023). Uso potencial de la especie vegetal *Eichhornia crassipes* del humedal artificial de la planta piloto Arturo

Pazos. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 18(1), e 1512.
<https://doi.org/10.36829/08ASA.v18i1.1512>

Martelo, Jorge, & Lara Borrero, Jaime A. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 8(15), 221-243. Retrieved May 25, 2024, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-91652012000100011&lng=en&tlng=es.

Martínez, P., Ramos, M. y Rodríguez, L. (2006). Humedales artificiales como alternativa para mejorar la calidad del agua. III encuentro, participación de la mujer en la ciencia. Recuperado de: https://congresos.cio.mx/3_enc_mujer/files/extensos/Sesion%203/S3-FMCT03.doc

Organización de Naciones Unidas. (2022). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

Polo, F., & Torrecillas, S. (2018). Tratamientos biológicos de aguas residuales. *Universidad Politecnica de Valencia*. España. Recuperado de: https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/935a8d7c-2081-4d74-9f7c-bf3ad9e69bb4/TOC_0358_03_03.pdf?guest=true

Raffo Lecca, E., & Ruiz Lizama, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71-80.

Ramallo, R.S., (2021) “Tratamiento de Aguas Residuales”, Editorial Reverté, Barcelona 1.991. Recuperado de: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=T9MfEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=tratamiento+de+aguas+residuales&ots=3kFOft_psa&sig=WObvIYLnewxA70_OIgDEX2Lyijs#v=onepage&q=tratamiento%20de%20aguas%20residuales&f=false

Rodríguez C. et al (1992) Determinación de los parámetros de operación de canales para la depuración de las aguas residuales mediante el jacinto de agua. *Informe Técnico a la Academia de Ciencias de Cuba*.

Rodríguez, L. (2019). Humedal artificial: una propuesta para el manejo de aguas residuales. Noticias. Ciencia y Tecnología. Universidad de Costa Rica Recuperado de: <https://www.ucr.ac.cr/noticias>

/2019/02/15/humedal-artificial-una-propuesta-para-el-manejo-de-aguas-residuales.html

- Rodríguez-Lara, J. W., Cervantes-Ortiz, F., Arambula-Villa, G., Mariscal-Amaro, L. A., Aguirre-Mancilla, C. L., & Andrio-Enríquez, E. (2021). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): A review. *Agronomía Mesoamericana*, 33(1), 44201. <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.44201>
- Saldarriaga, Julio César, Hoyos, Dora Ángela, & Correa, Mauricio Andrés. (2011). EVALUACIÓN DE PROCESOS BIOLÓGICOS UNITARIOS EN LA REMOCIÓN SIMULTÁNEA DE NUTRIENTES PARA MINIMIZAR LA EUTROFIZACIÓN. *Revista EIA*, (15), 129-140. Retrieved March 21, 2024, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372011000100011&lng=en&tlng=es.
- Verdejo, E., Palmerin, J., Aibar, J., Cirujeda, A., Taberner, A. y Zaragoza, C. (2006). Plantas Invasoras. El lirio de agua *Eichhornia crassipes*. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. España. Recuperado de: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_FSV%2FFSV_2006_1_1_8.pdf

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a Benjamin Aguirre Escalante, Rigoberto Luque Domínguez y Jesus Vivian Leyva Padilla, alumnos egresados del programa educativo de Ingeniería Ambiental de la Universidad Autónoma de Occidente Unidad Regional Los Mochis, los cuales participaron en la investigación y obtuvieron sus títulos como Ingenieros Ambientales, siempre mantuvieron una actitud proactiva, entusiasta y de colaboración.

SÍNTESIS CURRICULAR

Marco Arturo Arciniega Galaviz

Doctor en Desarrollo Sustentable de Recursos Naturales, Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Occidente, MÉXICO. Reconocimiento a Perfil Deseable en el año 2022 por

el Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP). Perteneciente al Cuerpo Académico en Formación “Ciencia ambiental y aprovechamiento sustentable de recursos naturales”. Reconocimiento como Candidato al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) noviembre de 2022 por el CONAHCyT. Líneas de Investigación: Prevención y control ambiental, Manejo sustentable de recursos biológicos. Correo electrónico: marco.arciniega@uadeo.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8532-7130>

Jeovan Alberto Ávila Díaz

Doctor en Sustentabilidad, Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Occidente, MÉXICO. Reconocimiento a Perfil Deseable en el año 2022 por el Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP). Perteneciente al Cuerpo Académico en Formación “Ciencia ambiental y aprovechamiento sustentable de recursos naturales”. Reconocimiento como Candidato al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) noviembre de 2022 por el CONAHCyT. Líneas de Investigación: Prevención y control ambiental, Manejo sustentable de recursos biológicos. Correo electrónico: jeovan.avila@uadeo.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7692-4547>

Pedro Hernández Sandoval

Doctorado en Ciencias Biológico Agropecuarias, Departamento Académico de Ciencias Naturales y Exactas de la Universidad Autónoma de Occidente, MEXICO. Reconocimiento a Perfil Deseable por el Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP). Perteneciente al Cuerpo Académico en Formación “Ciencia ambiental y aprovechamiento sustentable de recursos naturales”. Reconocimiento como investigador Nivel 1 por al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del CONAHCyT Líneas de Investigación: Prevención y control ambiental, Manejo sustentable de recursos biológicos. Correo electrónico: pedro.hernandez@uadeo.mx ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7005-4555>