



## **Capacidad fitorremediadora de plantas acuáticas, la *Salvinia auriculata* y la *Eichhornia crassipes* para tratamiento de agua residuales**

Marco A. Ramírez-Loreto<sup>1</sup>, Ebelia Del Angel-Meraz<sup>1\*</sup>, Mayra A. Pantoja-Castro<sup>1</sup>, Ma. Guadalupe Rivera-Ruedas<sup>1</sup>, Alida E. Cruz-Pérez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Cuerpo Académico de Ingeniería y Materiales -DAIA, Km.1 Carr. Cunduacán-Jalpa de Méndez, Cunduacán 86690, Tabasco, México.

\*Autor de correspondencia: [ebelia.delangel@ujat.mx](mailto:ebelia.delangel@ujat.mx)

Recibido 19 de mayo de 2020; aceptado 22 de junio de 2020

### **RESUMEN**

En este trabajo se compara el comportamiento de la capacidad fitorremediadora de dos plantas acuáticas; *salvinia auriculata* y la *eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales. Los parámetros considerados para realizar el análisis del agua residual fueron: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Conductividad ( $\mu\text{S}$ ), pH, sólidos totales (ST). Las plantas que se utilizaron fueron extraídas de la Laguna Corozal en la ranchería Vernet 3<sup>a</sup> Sección de Macuspana, Tabasco. Las muestras de agua residual fueron obtenidas de la laguna de oxidación del municipio de Cunduacán, Tabasco. El experimento se diseñó bajo un esquema completamente aleatorio con arreglo factorial 3 x 10 con 3 repeticiones, generándose una combinación de 30 tratamientos para 4 variables a analizar, los datos experimentales fueron procesados con el paquete estadístico Statistical Analysis System. Los resultados muestran que la *salvinia auriculata* (oreja de ratón) disminuye la conductividad en un 16% en un tiempo de 56 horas, la DQO

la disminuye en un 64% en un tiempo de 32 horas, por lo que se puede concluir que la planta *salvinia auriculata* (oreja de ratón) es la más eficiente en la remoción de contaminantes de las aguas residuales municipales de Cunduacán, Tabasco.

**PALABRAS CLAVE:** plantas acuáticas, aguas residuales, contaminantes, fitorremediación.

### ABSTRACT

This work compares the behavior of the phytoremediating capacity of two aquatic plants; *salvinia auriculata* and *eichhornia crassipes* in wastewater treatment. The parameters considered for the analysis of wastewater were: Chemical Demand of Oxygen (DQO), Conductivity ( $\mu\text{S}$ ), pH, total solids (ST). The plants that were used were extracted from the Laguna Corozal in the ranchery Vernet 3rd Section of Macuspana, Tabasco. Wastewater samples were obtained from the oxidation lagoon of the municipality of Cunduacán, Tabasco. The experiment was designed under a completely random scheme with 3 x 10 factorial arrangement with 3 repetitions, generating a combination of 30 treatments for 4 variables to analyze, the experimental data were processed with the Statistical Analysis System statistical package. The results show that “*Salvinia auriculata*” (mouse ear) decreases conductivity by 16% in a time of 56 hours, the COD decreases it by 64% in a time of 32 hours, so it can be concluded that the plant “*Salvinia auriculata*” (mouse ear) is the most efficient in the removal of contaminants from municipal wastewater of Cunduacán Tabasco.

**KEY WORDS:** aquatic plants, sewage water, contaminants, phytoremediation.

## INTRODUCCIÓN

La creciente contaminación de las fuentes de agua ha puesto en riesgo la salud humana y los ecosistemas (Rodríguez Miranda et al., 2010). El agua residual está compuesta de una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos, que provienen de una población después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias (Díaz-Cuenca et al., 2012). En la búsqueda de nuevas alternativas la utilización de plantas acuáticas ha sido desarrollada como un tratamiento secundario o terciario alternativo de aguas residuales, y ha demostrado ser eficiente en la remoción de una amplia gama de sustancias orgánicas, así como nutrientes y metales pesados (Celis et al., 2005). Si las plantas acuáticas se manejan adecuadamente, su poder de proliferación, capacidad de absorción de nutrientes y bioacumulación de contaminantes del agua las convierten en una herramienta útil en el tratamiento de aguas residuales, pueden absorber nutrientes y metales del agua y los sedimentos (Crowder, 1991). Tales como son los metales Cd, Pb, Cu, Zn y Mn (Peng et al., 2008).

Los metales pesados son fitotóxicos, a bajas y altas concentraciones, cuando estos se presentan en sedimentos, pueden llegar a la cadena alimentaria a través de plantas y animales acuáticos. En pequeñas cantidades, ciertos metales pesados son nutricionalmente esenciales para una vida saludable, pero grandes cantidades pueden causar toxicidad aguda o crónica (Singh et al., 2012).

La fitorremediación es un tratamiento biológico que hace uso de las plantas y sus microorganismos asociados, se afirma que es un sistema eficaz, económico (en costos de operación y mantenimiento) y sostenible (Saha et al., 2017). Tiene la eficacia de remover agentes tóxicos presentes en el agua, además de metales pesados (Anning et al., 2013).

Las técnicas de fitorremediación se caracterizan por ser una práctica de limpieza pasiva y estéticamente agradable que aprovechan la capacidad de las plantas y la energía solar para el tratamiento de una gran variedad de contaminantes del medio ambiente (Martínez et al., 2010). Algunas de las características que hacen atractivas a las plantas acuáticas para el tratamiento de

aguas residuales mediante la biorremediación son: los bajos costos de instalación, fácil manejo y operación económica. Por lo anterior la selección de un buen fitorremediador es uno de los pasos más importantes para poder, en un futuro cercano, diseñar u optimizar las plantas de tratamiento de aguas residuales utilizando plantas acuáticas (macrófitas), las cuales deberán ser las de más alto rendimiento en la retención y eliminación (Singh et al., 2012). Debido a la habilidad que tienen las macrófitas acuáticas para asimilar hasta cierto punto todos los constituyentes del agua considerandos como contaminantes, éstas se han empleado en la detección y remoción de sustancias en efluentes de aguas residuales domésticas e industriales (Martelo et al., 2012). Para lo cual el presente proyecto plantea hacer conciencia de las necesidades que se tiene en materia de preservación de los recursos naturales, sobre todo de aquellos donde las aguas residuales son descargadas sin tener tratamiento alguno. Los recursos acuíferos del Estado de Tabasco son extensos, pero a la vez se ha tenido muy poco cuidado en el manejo adecuado de las aguas residuales municipales, industriales y de toda actividad, en la cual este recurso se ha contaminado desmedidamente (Muñoz et al., 2013).

En este trabajo se comparará el comportamiento de dos plantas acuáticas: la *eichhornia crassipes* (lirio acuático/jacinto) y la *salvinia auriculata* (oreja de ratón), con las que se busca una reducción de la contaminación de las aguas residuales del municipio de Cunduacán, Tabasco. Las pruebas para determinar cuál de las dos plantas tiene mayor efecto en la descontaminación de las aguas residuales fueron: demanda química de oxígeno (DQO), conductividad ( $\mu\text{S}$ ), pH y sólidos totales (ST).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Fase de campo

Las muestras de aguas residuales utilizadas para el experimento se tomaron de la laguna de oxidación (18°04'43.9" N 93°10'16.5" W) del municipio de Cunduacán, Tabasco. Las plantas acuáticas se extrajeron de la Laguna Corozal de la ranchería Vernet 3ra Sección (17°54'38.1" N 92°32'06.3" W), Macuspana, Tabasco.

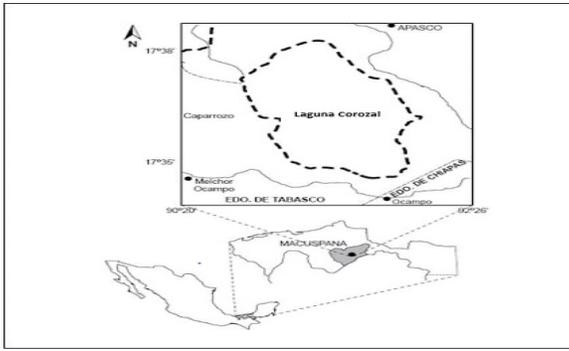


Figura 1. Localización del área de estudio.

Posteriormente se colocaron en recipientes con agua y después se le dio un tratamiento de adaptación y de limpieza para que el contenido orgánico dentro de la laguna no afecte los resultados del experimento como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Plantas acuáticas en recipientes para adaptación.

La adaptación consistió en ir relacionando a la planta paulatinamente con un tipo de agua más limpia que la del

efluente de origen, para luego cambiarla a los recipientes con las aguas residuales.

### Fase de laboratorio

Se realizaron las pruebas de determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Totales (ST), Conductividad ( $\mu\text{S}$ ) y pH, de acuerdo a la NOM-AA-30, 34, 93 y 8, sugeridas por el Diario Oficial de la Federación en 2018.

### Diseño experimental

El experimento fue diseñado bajo un esquema completamente aleatorio con arreglo factorial  $3 \times 10$  con 3 repeticiones, generándose una combinación de 30 tratamientos para 4 variables a analizar. Los datos experimentales obtenidos se procesaron con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2016), en la Tabla 1, se muestra el diseño factorial.

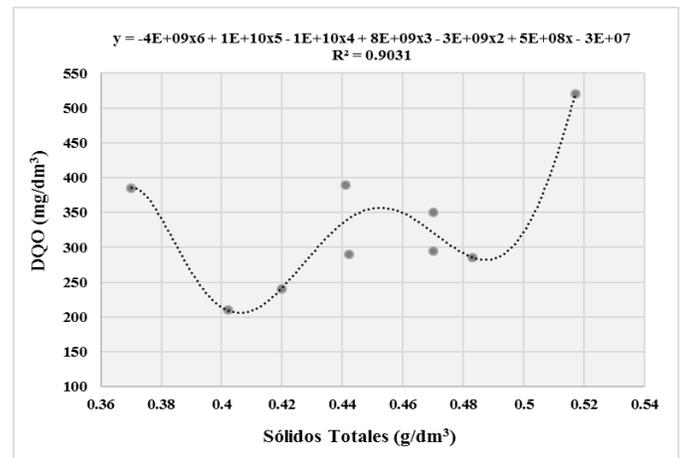
Tabla 1. Diseño factorial 3 x 10 con 3 repeticiones.

Factor	Nivel
	testigo
Tipo de tratamiento	<i>eichhornia crassipes</i> <i>salvinia auriculata</i>
Tiempo (h)	0, 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64,72.

## RESULTADOS

Los datos fueron procesados en el programa de análisis (SAS), la herramienta principal que se utilizó fue el análisis de varianza (ANOVA) para detectar variaciones en los niveles y factores, analizándose a detalle por el método de Duncan, tomando en cuenta un nivel de confiabilidad del 95% (Prueba de Medias de Duncan para Rangos Múltiples con  $\alpha = 0.05$  y 60 grados de libertad), el cual se basa en el estudio de las medias totales obteniéndose los resultados confiables del estudio. El análisis de resultados del pH, se mantuvo con un pH promedio de 6.5. De la misma manera Valderrama et al. (1987) obtuvo un pH de 7.36 a la salida del tratamiento, utilizando plantas acuáticas de *eichhornia crassipes*. En contraste Poveda et al., (2014) mencionan que, para tratamiento de aguas residuales, las plantas *eichhornia crassipes* y *salvinia auriculata* mantienen un pH de 7.6 para un tiempo de tres días. Por otra parte, en sus estudios, León, R. (2017) menciona que para las plantas *salvinia auriculata* y la *eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas negras el pH registrado para las dos plantas fueron 8.44 y 8.11 respectivamente.

Se realizaron análisis de correlación en las pruebas, con el fin de tratar de relacionar los efectos de una sobre la otra o viceversa. En la figura 3 se muestra correlación entre la demanda química de oxígeno (DQO), y los sólidos totales (ST).

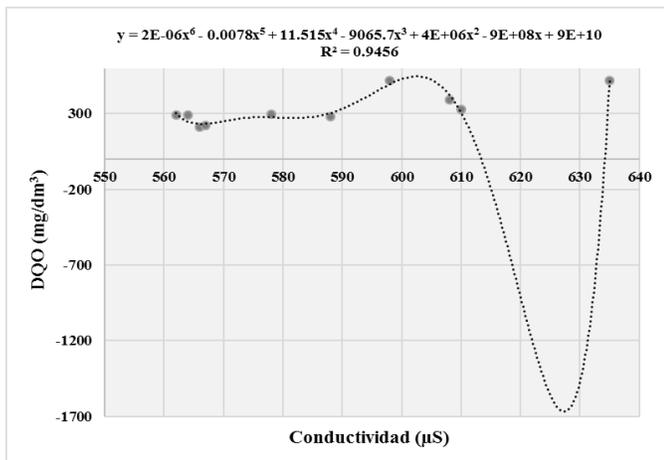


**Figura 3.** Correlación entre sólidos totales (ST) y demanda química de oxígeno (DQO).

Los valores obtenidos se analizaron en las distintas correlaciones, dando el mejor ajuste el tipo polinómica de orden 6 ( $R^2 = 0.9031$ ), siendo éste el orden que más se relaciona al comportamiento real de la DQO, en función de la concentración de los ST. Cabe destacar que este valor o porcentaje de la DQO, puede variar el orden de ajuste de acuerdo a la zona donde se tomó la muestra, ya que las aguas residuales

pueden ser provenientes de uso doméstico, municipal o industriales.

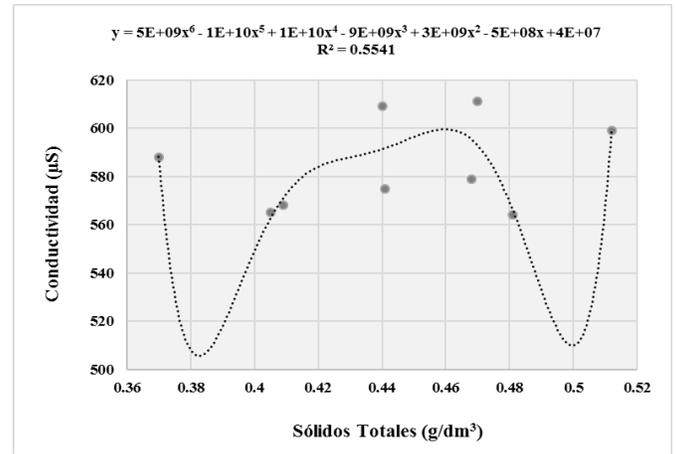
Del mismo modo se estudió la Correlación entre Conductividad ( $\mu\text{S}$ ) y la DQO, con el fin de observar el comportamiento.



**Figura 4.** Correlación entre conductividad ( $\mu\text{S}$ ) y demanda química de oxígeno (DQO).

En la figura 4 se observa la DQO contra la Conductividad ( $\mu\text{S}$ ), se probaron varios ajustes dando una mejor línea de tendencia la de tipo polinómica de orden 6 ( $R^2 = 0.9456$ ), representando esta un comportamiento casi real de la DQO, aunque este valor de la misma manera que el anterior depende del área de estudio donde se recolectó el agua residual. Hay muestras que pueden contener una mayor concentración de DQO, que en otras muestras provenientes de otras zonas de estudios.

Del mismo se estudió la correlación de la conductividad ( $\mu\text{S}$ ) en función de los ST.



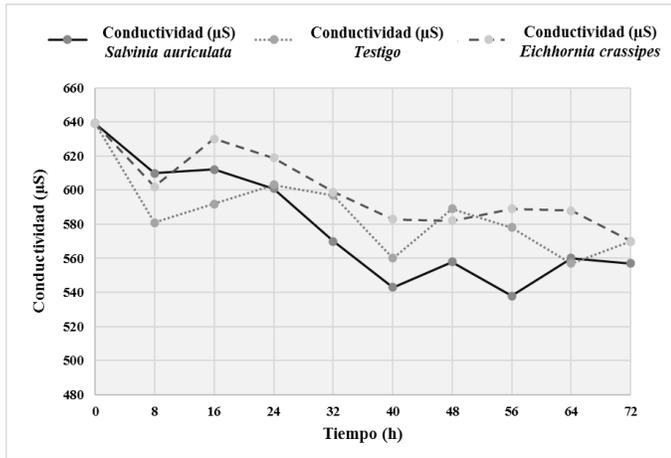
**Figura 5.** Correlación entre sólidos totales (ST) y conductividad ( $\mu\text{S}$ ).

El mejor ajuste fue el de tipo polinómica de orden 6, se observa muy baja la correlación ( $R^2 = 0.5541$ ) entre estos dos factores (figura 5), lo que puede describir que este ajuste no podría acercarse al valor real que tendría la conductividad ( $\mu\text{S}$ ) a medida que las concentraciones de los sólidos totales (ST) es mayor en las muestras analizadas.

### Conductividad ( $\mu\text{S}$ )

En la figura 6 se observa que de cero a 32 horas se mantienen cantidades altas de Conductividad ( $\mu\text{S}$ ) y la menor se manifiesta en un tiempo de 40 horas con una

disminución de 634.19 a 563 microsiemens ( $\mu\text{S}$ ) manteniéndose estos niveles más o menos similares hasta las 72 horas.



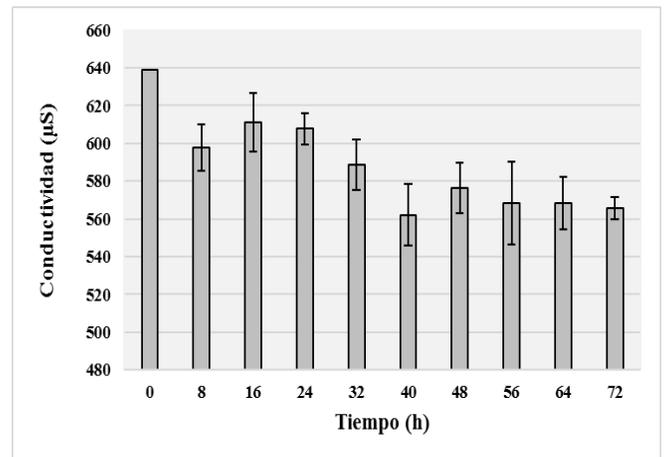
**Figura 6.** Conductividad ( $\mu\text{S}$ ) del agua residual con respecto al tiempo/ tratamiento.

Se aprecia que el tratamiento con *salvinia auriculata* empieza a tener menor conductividad ( $\mu\text{S}$ ) a las 40 h con una disminución de 639.633 a 543.0  $\mu\text{S}$  y en 56 h lo disminuye hasta 538.97  $\mu\text{S}$ . La *eichhornia crassipes* no demostró tener un efecto apreciable en la reducción de este parámetro, por lo que se menciona que para este estudio las plantas tienen un descenso bajo, según el ANOVA de una sola vía y prueba de Duncan ( $F = 1.55499$   $p = 0.2295$ ).

De manera consecuente se analizaron las medias totales de conductividad ( $\mu\text{S}$ ), para los datos obtenidos con el

análisis de las plantas en el tratamiento de aguas residuales a medida que el tiempo avanza (figura 7). Se observa que en las medias totales de la conductividad

( $\mu\text{S}$ ) en los tratamientos con respecto al tiempo, el tiempo óptimo se alcanzó a las 40 horas, descendiendo la conductividad de 639 a 562  $\mu\text{S}$ , aunque cabe destacar que para mayores tiempos de tratamientos la conductividad podría mantenerse estable o cambiar valores un poco insignificantes a como se observó desde las 48 h de tratamiento hacia adelante.



**Figura 7.** Medias de la conductividad ( $\mu\text{S}$ ) de los tres tratamientos con respecto al tiempo.

Se observó que la desviación estándar es igual a cero en el tiempo cero, debido a que no hay variación de la conductividad ( $\mu\text{S}$ ) en este tiempo. De la misma manera

en un tiempo de 72 h, el tratamiento de agua residual con las plantas estudiadas, mostró valores de media muy cercanos, lo que logro alcanzar una desviación estándar muy pequeña, por otra parte en un tiempo de 56 h, las medias para estos tratamientos difieren mucho en comparación a otros tiempos. En sus estudios, Poveda et al. (2014), mencionan que para el tratamiento de aguas residuales, la planta *eichhornia crassipes*, para un tiempo de tres días, la conductividad se registró de 139  $\mu\text{S}$  y para la planta *salvinia auriculata* se registró una conductividad de 138  $\mu\text{S}$ . Jumbo et al (2012), en sus estudios de fitorremediación en aguas residuales producto de la actividad mineras, empleando la planta *eichhornia crassipes*, obtuvo valores de conductividad de 301, 275, 268, 289 y 248  $\mu\text{S}$  en sus cuatro repeticiones para tres días.

### Demanda química del oxígeno (DQO)

En la figura 8 se observa que la *eichhornia crassipes* reduce más la DQO a valores de 185.67  $\text{mg O}_2/\text{dm}^3$  en un tiempo de 72 h, pero también se observa que la *salvinia auriculata* presenta niveles aceptables también en el mismo tiempo, además de que durante todo el tiempo de prueba mantuvo una tendencia mayor a disminuir la cantidad de DQO, más que los otros

tratamientos hasta obtener 199.33  $\text{mg O}_2/\text{dm}^3$  en 32 h, siendo éste el tiempo óptimo para dicho tratamiento.

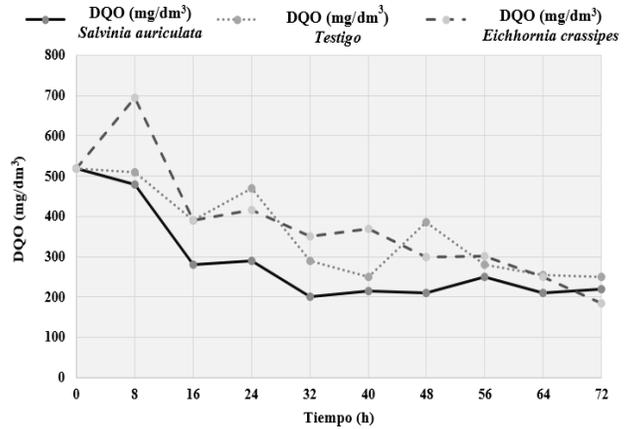


Figura 8. DQO del agua residual con respecto al tiempo/tratamiento.

La DQO presentó un descenso significativo estadísticamente, según ANOVA de una sola vía y prueba de Duncan ( $F = 1.4669$   $p = 0.2484$ ).

Por otra parte, se estimaron las medias totales de la DQO de los tres tratamientos, a medida que el tiempo avanzaba en el análisis (figura 9).

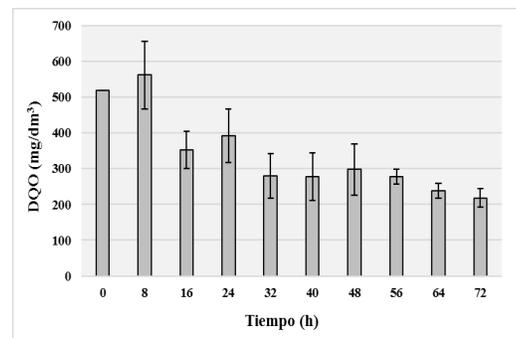


Figura 9. Medias de la DQO de los tres tratamientos con respecto al tiempo.

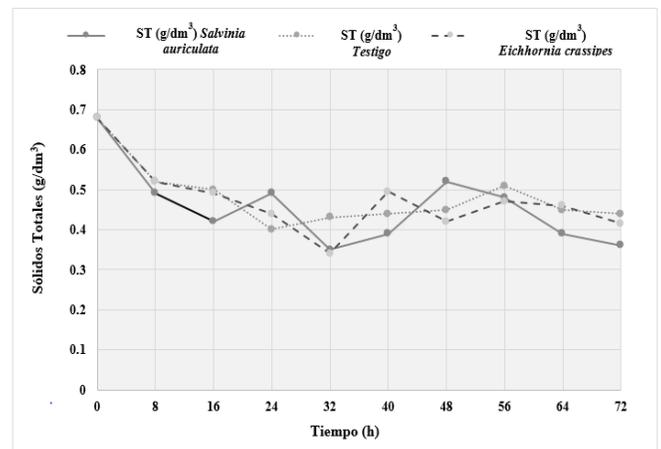
En la figura 9 se muestran las medias totales de la DQO, en los tres tratamientos con respecto al tiempo. El más óptimo que se presenta es a las 72 h que disminuye de 520 a 218.33 mg/dm<sup>3</sup>. Los promedios más bajos se comienzan a presentar después de las 32 horas, manteniéndose promedios muy parecidos. De la misma manera, como se explicó en la figura 7, la desviación estándar en el tiempo inicial es igual a cero, que fue el punto de arranque para analizar la efectividad de las plantas en la remoción de DQO. También se observó que la desviación estándar mayor se obtuvo en el tratamiento de ocho horas, debido a que el tratamiento de la DQO con la planta *eichhornia crassipes* aumentó la misma a 695 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, mientras que los otros tratamientos de la DQO, a la misma hora estuvieron en un rango entre 480 – 510 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>.

En sus estudios Poveda et al. (2014) mencionan que la planta *eichhornia crassipes* disminuyó la concentración de DQO total a 240 mg/dm<sup>3</sup> en un tiempo de 42 días. Por consecuente Salazar et al., (2013), encontraron que para un periodo de seis meses se obtuvo una remoción de DQO de 140 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. En consecuente Singer et al. (2002) mencionan que el humedal en cualquier etapa no presenta reducciones de la DQO y que los valores

dependen del arrastre de las raíces o la biopelícula formada alrededor.

### Sólidos Totales (ST)

En la figura 10 se observa que el modelo general y por factor no presenta ninguna variación en la interacción tiempo-tipo de tratamiento, aunque para fines prácticos y de eficiencia es necesario remarcar lo siguiente:

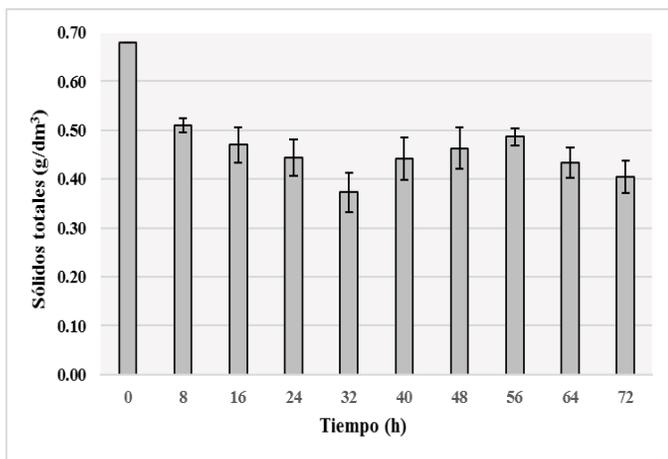


**Figura 10.** Sólidos totales (ST) con respecto al tiempo/tratamiento.

Se muestra el menor contenido de sólidos totales (ST) con respecto al tiempo y según el tipo de tratamiento de 0.68 a 0.34 g/dm<sup>3</sup> siendo la *eichhornia crassipes* quien presentó dicha disminución en 32 h, tomándose éste como el tiempo óptimo del tratamiento, aunque después

de este periodo muestra un ascenso en su comportamiento manteniéndose por encima de los promedios que el testigo manejó durante los tiempos de 32, 40, 64 y 72 h. Por lo que respecta a la *salvinia auriculata*, ésta mantuvo promedios más altos que la *eichhornia crassipes* y el testigo, en las pruebas estadísticas según ANOVA de una sola vía y prueba de Duncan ( $F = 0.2010$   $p = 0.8190$ ).

Del mismo modo, se estudió las medias totales de los sólidos totales (ST) de los tres tratamientos a medida que el tiempo avanzaba en el análisis (figura 11).



**Figura 11.** Medias de los sólidos totales (ST) de los tres tratamientos con respecto al tiempo.

En la figura 11 se muestran las medias de los sólidos totales (ST) con respecto al tiempo, se observa una disminución significativa estadísticamente, después del

tiempo 0, es decir, de una media total de 0.68 en las 0 h a 0.37 g/dm<sup>3</sup> (55 %) en 32 h, por lo que éste último se considera como el tiempo óptimo de tratamiento.

En cuanto a las medias de los sólidos totales (ST), en todos los tiempos con respecto al tratamiento no se aprecia ningún efecto significativo, ya que el modelo general y por factor no refleja ninguna variación significativa estadísticamente, corroborándose esto con la prueba de medias correspondiente. De acuerdo a como se explicó anteriormente, la desviación estándar en este análisis es cero en el tiempo inicial, debido a que la muestra aún se estudiaría para la efectividad de las plantas *salvinia auriculata* y *eichhornia crassipes* en la remoción de sólidos totales (ST). De la misma manera, se puede observar que la desviación estándar es casi similar en un tiempo de 8 y 56 h debido a que las plantas acuáticas mostraron valores muy cercanos en la remoción de sólidos totales (ST); por otra parte las desviaciones estándar mayores se encontraron en un tiempo de 32, 40 y 48 h, siendo la mayor en 40 h. En consecuencia, en sus estudios, Poveda et al. (2014) mencionan que, para el tratamiento de aguas residuales con la planta *eichhornia crassipes*, así como para la salida del efluente, la concentración de los sólidos totales (ST) es de 0.546 g/dm<sup>3</sup>.

## CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis de resultados, la *salvinia auriculata* (oreja de ratón) demostró tener un efecto significativo en la disminución de la conductividad ( $\mu\text{S}$ ) alcanzando una reducción de ésta de 639.633 a 538.97  $\mu\text{S}$ , lo cual representa un 16% en un tiempo de 56 h, aunque en 40 h lo disminuyó de 639.6.3 a 543.0  $\mu\text{S}$ , lo que es un 14.39%, por lo que se puede tomar como tiempo óptimo el de 40 h para este parámetro.

En el análisis de la DQO, la *salvinia auriculata* logró disminuirla de 520.01 a 199.33  $\text{mg O}_2/\text{dm}^3$ , lo cual es una disminución del 63.66% en un tiempo de 32 h, pero la menor cantidad la presentó la *eichhornia crassipes* en 72 h, reduciéndola de 520.01 a 185.67  $\text{mg O}_2/\text{dm}^3$  que es un 67.76%; contemplando que las dos alcanzaron porcentajes de eliminación muy similares, podemos tomar como tiempo óptimo el de 32 h. En el análisis de sólidos totales (ST), la *eichhornia crassipes* (lirio acuático) alcanzó la disminución de sólidos totales (ST) de 0.68 a 0.34  $\text{g}/\text{dm}^3$ , que representa un 50.4% de reducción en un tiempo de 32 h.

Se puede concluir que el tratamiento de aguas residuales con la *salvinia auriculata* es el más eficiente en la remoción de contaminantes de las aguas residuales

municipales de Cunduacán, Tabasco. Se sugieren estudios sobre el efecto que tendría una combinación de ambas plantas, o bien usando un mayor tiempo de residencia de las plantas con el objeto de observar posibles efectos negativos de estas, como la eutrofización u otro tipo de problema.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anning, AK, Korsah, PE y Addo-Fordjour, P. (2013). Fitorremediación de aguas residuales con *Limnocharis flava*, *Thalia geniculata* y *Typha latifolia* en humedales artificiales. *Revista Internacional de Fitorremediación* 15 (5), 452-464.
- Celis Hidalgo, J., Junod Montano, J., & Sandoval Estrada, M. (2005). Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas.
- Crowder, A. (1991). Acidificación, metales y macrófitos. *Contaminación Ambiental* 71 (2-4), 171-203.

- Díaz-Cuenca, E., Alavarado-Granados, A. R., & Camacho-Calzada, K. E. (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. Revista de Estudios Territoriales* 14(1), 78-97.
- Jumbo, J., Del Cisne, M., & Flores Campoverde, E. D. (2012). Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua), y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera (Bachelor's thesis).
- León Suarez, R. J. (2017). Inventario de plantas recomendadas para fitorremediación de coliformes fecales en aguas negras (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil).
- Martelo, J., & Borrero, J. A. L. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia* 8(15), 221-243.
- Martínez, S. A. A., Toro, F. M. B., Rojas, G. G., Giraldo, J. P. S., & Ángel, M. L. H. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador Técnico*, (74), 12-22.
- Muñoz-Sánchez, T. J., & Reyes-Mazzoco, R. (2013). Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica y nitrógeno en un filtro percolador con nuevo empaque. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 12(3), 575-583.
- Peng, K., Luo, C., Lou, L., Li, X., & Shen, Z. (2008). Bioaccumulation of heavy metals by the aquatic plants *Potamogeton pectinatus* L. and *Potamogeton malaianus* Miq. and their potential use for contamination indicators and in wastewater treatment. *Science of the Total Environment* 392(1), 22-29.
- Poveda, O., & Abigail, R. (2014). Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua (Bachelor's thesis).
- Rodríguez-Miranda, J. P., Gómez, E., Garavito, L., & López, F. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en

- humedales artificiales. *Tecnología y Ciencias del Agua* 1(1), 59-68.
- Saha, P., Shinde, O., & Sarkar, S. (2017). Phytoremediation of industrial mines wastewater using water hyacinth. *International Journal of Phytoremediation* 19(1), 87-96.
- Salazar, R. P., Chinchilla, C. A., Marín, J. S., & Pérez, J. A. (2013). Evaluación del funcionamiento de un sistema alternativo de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Uniciencia* 27(1), 332-340.
- Singer, H., Müller, S., Tixier, C., & Pillonel, L. (2002). Triclosan: occurrence and fate of a widely used biocide in the aquatic environment: field measurements in wastewater treatment plants, surface waters, and lake sediments. *Environmental Science & Technology* 36(23), 4998-5004.
- Singh, D., Tiwari, A., & Gupta, R. (2012). Phytoremediation of lead from wastewater using aquatic plants. *J Agric Technol* 8(1), 1-11.
- Valderrama, L. T., Campos, C., Velandia, S., & Zapata, N. (1987). Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas (*E. crassipes*, *Lemna sp.* y *L. laevigatum*) en la remoción de indicadores de contaminación fecal en aguas residuales domésticas. Seminario internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales, 193-201.