

## Evaluación del crecimiento de plantas ornamentales locales en humedales flotantes para sanear el río "Paseo de los Ahuehuetes" en Ciudad Mendoza, Veracruz, México

Luis Alfredo Hernandez-Vasquez <sup>1,\*</sup>, Mauricio Rojas-Ascensión <sup>1</sup>, Gregorio Hernandez-Salinas <sup>1</sup>, Sergio Reyes Rosas <sup>1</sup>, Luis Carlos Sandoval-Herazo <sup>2,3</sup>, Claudia Romo-Gómez <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Zongolica. Km 4 Carretera a la Compañía S/N, Tepetitlanapa, Zongolica 95005, Veracruz, México

<sup>2</sup> Laboratorio de Humedales y Sostenibilidad Ambiental, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km 1.8, Carretera a Loma del Cojolite, Misantla 93821, Veracruz, México.

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad de Sucre, Sincelejo 700001, Colombia

<sup>4</sup> Área Académica de Química, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma 42184, Hidalgo, México

\* Autor de correspondencia: [alfredohv\\_basicas@zongolica.tecnm.mx](mailto:alfredohv_basicas@zongolica.tecnm.mx); Tel.: (+52) 272 227 2285

### Artículo de divulgación científica

Recibido: 27 de septiembre de 2024

Aceptado: 4 de noviembre de 2024

Publicado: 16 de noviembre de 2024

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v3i1.185>

**Resumen:** El río "Paseo de los Ahuehuetes" se encuentra en la región de las Altas Montañas del estado de Veracruz, dicho cuerpo de agua es uno de los más contaminados en esta Zona. Una alternativa de descontaminación *in situ* son los humedales flotantes, cuya función es remover contaminantes del agua, por medio de plantas. El objetivo de la investigación fue evaluar el potencial de adaptación de las plantas ornamentales locales *Eichhornia crassipes*, *Epipremnum aureum* y *Zantedeschia aethiopica*, empleadas en humedales flotantes para sanear el río "Paseo de los Ahuehuetes". Como primera etapa, se caracterizó el agua del río mediante los parámetros temperatura, pH, Turbidez, Oxígeno Disuelto (OD), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Conductividad Eléctrica (CE), y coliformes fecales (CF). En la segunda etapa se evaluó el crecimiento de la planta. La planta ornamental local con mayor potencial para la fitorremediación fue *E. crassipes*, alcanzado una mayor cantidad de biomasa. Se espera que nuestros hallazgos sean un punto de partida para el diseño de políticas públicas sobre la gestión de los recursos hídricos.

**Palabras clave:** Ecotecnología; Fitorremediación; Remoción, Bosque de Galería.

### Introducción

En la última década, la población mundial incrementó a un ritmo alarmante y actualmente las ciudades se encuentran en constante crecimiento demográfico, lo que ha provocado una disminución en la distribución del agua dulce (Sousa et al., 2024) y como consecuencia más del 60 % de la población mundial enfrenta problemas de escasez de agua (Badr et al., 2023). Por otro lado, a medida que se acelera la urbanización, aumentan la generación de aguas residuales (Smol et al., 2020). Debido al manejo inadecuado de las aguas residuales, alrededor del 60 % de las aguas residuales no son tratadas y son descargadas sin tratamiento adecuado a los cuerpos de agua (Wantzen et al., 2019). De tal manera, la contaminación que llega a los cuerpos de agua dulce en las zonas urbanas es un problema mundial grave (Sousa et al., 2024). Las aguas residuales urbanas contienen grandes cantidades de nutrientes (compuestos a base de nitrógeno y fósforo); cuando estas aguas son descargadas a cuerpos de agua, su efecto es nocivo para la flora y fauna, incidiendo directamente en el deterioro del estado trófico de las aguas, provocando eutrofización (Wantzen et al., 2019). La eutrofización ocurre cuando hay una presencia excesiva de nutrientes, provocando la pérdida de servicios ecológicos vitales, también puede cambiar la composición de las especies vegetales en un ecosistema y de igual manera aumenta la proliferación de algas (Wang et al., 2023). La mitigación de la eutrofización es un tema recurrente en la gestión del agua; por tanto, se siguen investigando una amplia gama de enfoques técnicos y regulatorios (USEPA, 2024). Uno de estos enfoques es la fitorremediación, la cual comprende un conjunto de tecnologías, basado en procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos

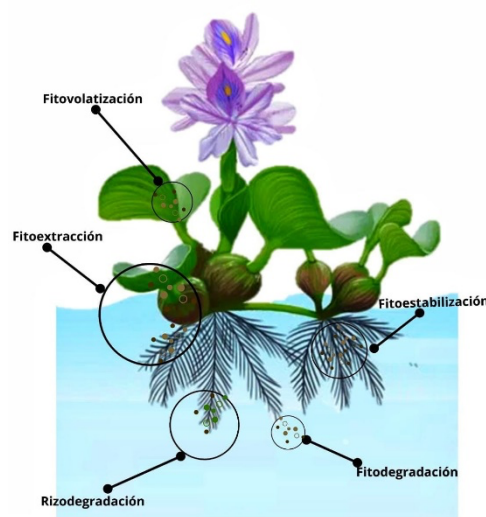


Figura 1. Mecanismos de fitorremediación.

asociados a ellas. La fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar (Figura 1) contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos (Delgadillo et al., 2011). Esta tecnología ofrece numerosas ventajas relacionadas con la amplia aplicabilidad y bajo costo en relación con las plantas de tratamiento convencional, implementada en humedales construidos o sistemas hidropónicos (Mustafa y Hayder, 2020).

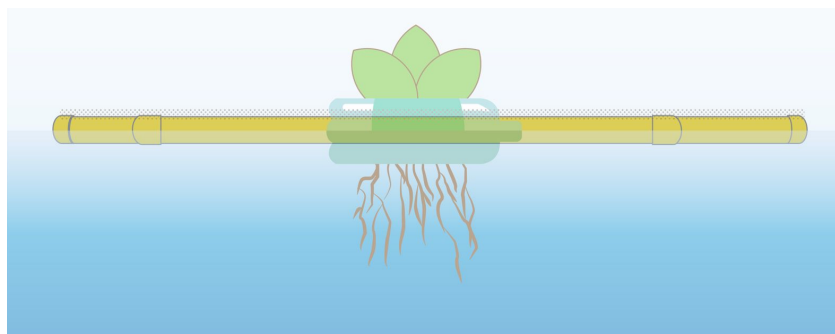


Figura 2. Esquema de los humedales Flotantes

Los humedales flotantes son estructuras diseñadas para flotar en una superficie de agua y estructuradas para el desarrollo y/o crecimiento de las especies vegetales cuyas raíces crecen dentro del agua (Figura 2). Los humedales flotantes están conformados por dos componentes: 1) la estructura flotante y 2) la vegetación (Luna y Aburto, 2014). La vegetación puede imitar a los humedales naturales y realizar múltiples funciones físicas, químicas y biológicas (Osti et al., 2020). Se ha reportado que las especies vegetales utilizadas pueden absorben el

exceso de nitrógeno y fosforo en el agua. De igual manera reducen la propagación de microorganismos patógenos y algunas plantas incluso podrían degradar químicos tóxicos, como metales pesados (Chen y Costa, 2023). La implementación de estos sistemas se ha destacado por su fácil operación, rentabilidad económica y amigable con el medio ambiente. Esta tecnología ofrece numerosas ventajas relacionadas con las plantas de tratamiento convencional, son una alternativa sustentable para remediar la contaminación y mejorar la calidad del agua (Samal y Kar, 2019).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el potencial de adaptación de las plantas ornamentales locales de la zona de las Altas Montañas, empleadas en humedales flotantes para sanear el río "Paseo de los Ahuehuetes" en Ciudad Mendoza, Veracruz, México.

## Desarrollo

### Descripción del área de estudio

El río "Paseo de los Ahuehuetes" se encuentra en el estado de Veracruz, México, el cual atraviesa cuatro municipios; Nogales, Camerino Z. Mendoza, Huiloapan y Río Blanco, teniendo aproximadamente 10 km. Se estima que el paseo de Los Ahuehuetes alberga a más de 700 árboles de *Taxodium mucronatum* Ten. (Sabino o ciprés mexicano) "ahuehuetes", con diámetros de hasta 12 metros y hasta 40 metros de altura, con edades de 200 a 700 años. Sin embargo, debido a la descarga de aguas residuales sin regulación y a la acumulación de basura, es considerado uno de los ríos más contaminados en la zona de las Altas Montañas de Veracruz (Torres, 2016). En la Figura 3 se indica la zona donde se realizó el muestreo del agua del río.



Figura 3. Mapa del Paseo de los Ahuehuetes en Ciudad Mendoza, Veracruz.

La recolección, preservación y análisis del agua se realizó bajo los procedimientos establecidos en los Métodos Estándar (APHA, 2012). En la Tabla 1 se muestra la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de río. Para la caracterización fisicoquímica del agua, se utilizó un medidor multiparamétrico (Hanna Instruments, HI9829, EE. UU), con el cual se determinó el pH, Oxígeno Disuelto (OD), Conductividad Eléctrica (CE), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Turbidez y Temperatura. Para la determinación del contenido de Coliformes fecales se utilizaron los métodos APHA (2012).

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua del río muestreado.

Parámetros (unidad de medida)	Valor
pH	7.57 ± 0.43
OD (mg/L)	3.51 ± 0.12
CE (µs/cm)	275.50 ± 16.26
STD (mg/L)	137.50 ± 7.78
Turbidez (NTU*)	2.70 ± 0.57
Temperatura (°C)	18.17 ± 0.91
Coliformes fecales (NMP**)	4.97E+04

\*NTU (Siglas en inglés): Unidad de Turbidez Nefelométrica, \*\*NMP: Numero Más Probable

Los valores que cumplen con los límites permisibles establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-2021 fueron el pH, CE y temperatura (SEMARNAT, 2021). En cambio, el contenido de Coliformes fecales están por encima de los límites que establece la normativa. El límite de Coliformes fecales es de 250 NMP, por lo cual el agua del río es 1.99E+04 % mayor que el límite establecido.

#### Diseño y construcción de los humedales flotantes

La estructura flotante del humedal se diseñó en forma octagonal con un área de 3.68 m<sup>2</sup>, compuesta por un marco de tubos de PVC de 0.5 pulgadas de diámetro, sobre el cual se instala una malla plástica y una malla de yute. Para la flotabilidad se emplearon botellas de PET, tapadas y selladas. La parte basal de las plantas reposará entre las mallas de plástico y una malla de yute (Figura 4a); la primera malla mantiene en contacto las raíces con el agua y la malla de yute funciona de soporte para las plantas (Figura 4b) (Martínez y López, 2018).



Figura 4. Diseño de los humedales flotantes: (a) Vista superior, (b) vista inferior.

Las plantas ornamentales locales utilizadas para la fitorremediación fueron: *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), *Epipremnum aureum* (teléfono) y *Zantedeschia aethiopica* (alcatraz). Se seleccionaron al azar plantas jóvenes sin enfermedades. La altura promedio de *E. crassipes* fue de 35 ± 5 cm, *E. aureum* de 20 ± 5 cm y *Z. aethiopica* de 85 ± 5 cm por encima de las raíces. Una vez introducidas las plantas en el sistema de humedales flotantes (Figura 5) se monitorearon en un periodo de 8 meses. El peso inicial de *E. crassipes* fue de 155 ± 12 g, para *E. aureum* fue de 100 ± 5 g y para *Z. aethiopica* fue de 200 ± 10 g. Pasados los 8 meses de evaluación *E. crassipes* aumentó en un 335 %, para



*E. aureum* el aumento fue de 146 % y *Z. aethiopica* mostro una disminución del 49.5 %. Lo que índico un mayor potencial de adaptación por parte de *E. crassipes*. Uno de los factores más importantes para que una planta desarrolle los procesos de fitorremediación es el aumento de biomasa. A pesar de que existen plantas hiperacumuladoras que son buenas candidatas para la fitorremediación, muchas de ellas poseen poca biomasa, lo que limita este proceso (Delgadillo et al., 2011; Chen y Costa, 2023)

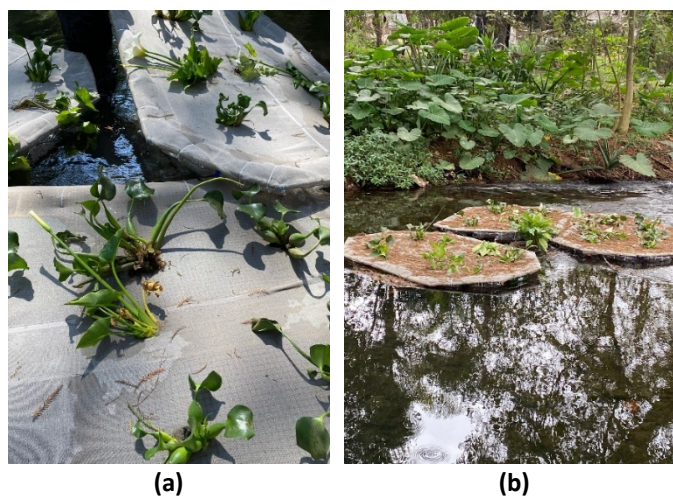


Figura 5. (a) Introducción de plantas ornamentales, (b) Establecimiento de los humedales flotantes

#### *Tendencias en el uso de los humedales flotantes*

Ante los problemas de escasez del agua, y la proliferación de contaminantes en los cuerpos de agua, los humedales flotantes representan una opción eficiente y de bajo costo que se puede implementar *in situ*. Sin embargo, una de las limitantes para su correcta implementación es la selección de plantas. La tendencia en el uso de estos sistemas es demostrar que es posible utilizar diversas plantas de carácter ornamental capaces de remover contaminantes en el agua, se está trabajando con diversas especies vegetales que puedan tener un valor agregado al sistema.

#### **Conclusiones**

Los experimentos de campo mostraron una fuerte adaptación a las condiciones de crecimiento de las plantas ornamentales locales, destacando el crecimiento presentado por la planta *Eichhornia crassipes*, la cual fue la planta con mayor contenido de biomasa en comparación con *Epipremnum aureum* y *Zantedeschia aethiopica*, lo que presumiblemente indica un potencial mayor para la fitorremediación de aguas contaminadas en los cuerpos de agua. Esta investigación resalta que el uso de plantas ornamentales locales como una alternativa adecuada para su introducción en los sistemas de humedales flotantes.

Los problemas de contaminación que presentan ríos como el “Paseo de Los Ahuehuetes” son un reto, que requiere de tecnologías accesibles, de bajo costo y amigables con el medio ambiente, tal es el caso de la fitorremediación con humedales flotantes. El sistema de tratamiento propuesto es fácil de operar, su consumo de energía es nulo y requiere un mantenimiento mínimo. Adoptar sistemas de tratamiento de este tipo puede presentar diversos desafíos frente al tradicional modelo de tratamiento de aguas, pero en la medida que esos sistemas de tratamiento se repliquen, se tendrá un conocimiento más amplio y será posible una aplicación más eficiente, por lo cual se espera que nuestros hallazgos sean un punto de partida para el diseño de políticas públicas entrono al manejo del recurso hídrico para mejorar el entorno sobre el tratamiento de aguas.

**Agradecimientos y financiamiento:** Agradecemos al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado al proyecto con Clave: 19179.24-PD. A las autoridades del municipio de Camerino Z. Mendoza por permitirnos establecer los Humedales flotantes.

## Bibliografía

- APHA (2012)., AWWA, WEF, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, Washington, USA.
- Badr, E.S.A., Tawfik, R.T., Alomran, M.S. (2023). An Assessment of Irrigation Water Quality with Respect to the Reuse of Treated Wastewater in Al-Ahsa Oasis, Saudi Arabia. *Water*, 15, 2488. <https://doi.org/10.3390/w15132488>.
- Chen, Z. y Costa, O.S., Jr. (2023) Nutrient Sequestration by Two Aquatic Macrophytes on Artificial Floating Islands in a Constructed Wetland. *Sustainability*, 15, 6553. <https://doi.org/10.3390/su15086553>.
- Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J., Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612.
- Luna, V. M., y Aburto-Castañeda, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 17(1), 32-55. [https://doi.org/10.1016/S1405-888X\(14\)70318-3](https://doi.org/10.1016/S1405-888X(14)70318-3).
- Martínez-Peña, L. y López-Candela, C. (2018). Islas flotantes como estrategia para el establecimiento de plantas acuáticas en el Jardín Botánico de Bogotá. *Gestión y Ambiente*, 21(1), 110–120. <https://doi.org/10.15446/ga.v21n1.69209>.
- Mustafa, H.M., Hayder, G. (2020). Recent studies on applications of aquatic weed plants in phytoremediation of wastewater: A review article. *Ain Shams Eng. J.*, 12, 355-365. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.009>.
- Osti, J.A.S., Do Carmo, C.F., Cerqueira, M.A.S., Giamas, M.T.D., Peixoto, A.C., Vaz-dos-Santos, A.M., Mercante, C.T.J. (2020). Nitrogen and phosphorus removal from fish farming effluents using artificial floating islands colonized by *Eichhornia crassipes*. *Aquac. Rep.*, 17, 100324. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100324>.
- Samal, K.; Kar, S. (2019). Ecological Floating Bed (EFB) for Decontamination of Polluted Water Bodies: Design, Mechanism and Performance. *J. Environ. Manag.*, 251, 109550. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109550>.
- SEMARNAT. (2021). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. (No. 001; Normas Oficiales Mexicanas).
- Smol, M., Preisner, M., Bianchini, A., Rossi, J., Hermann, L., Schaaf, T., Kruopien Pamakštys, K. (2020). Estrategias para la gestión sostenible y circular del fósforo en la región del mar Báltico: el enfoque holístico del proyecto InPhos. *Sustainability*, 12, 2567–2588. <https://doi.org/10.3390/su12062567>.
- Sousa, S.A., Esteves, A.F., Salgado, E.M., Pires, J.C.M. (2024). Enhancing urban wastewater treatment: *Chlorella vulgaris* performance in tertiary treatment and the impact of anaerobic digestate addition, *Environ. Technol. Innov.*, 34, 103601, <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103601>.
- Torres-Beristáin, B. (2016). Memoria viviente de nuestra historia. Ahuehetes: los viejos del agua.
- USEPA. Algal Toxin Risk Assessment and Management Strategic Plan for Drinking Water. Available online: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/algal-toxin-risk-assessment-and-management-strategic-plan-drinking>.
- Wantzen, K., Alves, C., Badiane, S., Bala, R., Blettler, M., Callisto, M., Cao, Y., Kolb, M., Kondolf, G., Leite, M. (2019). Urban stream and wetland restoration in the global south—A DPSIR analysis. *Sustainability*, 11, 4975, <https://doi.org/10.3390/su11184975>.
- Wang, H., Bouwman, A.F., Van Gils, J., Vilmiñ, L., Beusen, A.H.W., Wang, J., Liu, X., Yu, Z., Ran, X. (2023). Hindcasting harmful algal bloom risk due to land-based nutrient pollution in the Eastern Chinese coastal seas. *Water Res.*, 231, 119669. <https://doi.org/10.1016/j.waters.2023.119669>.