

Humedales construidos como jardineras florales para limpiar el agua residual a nivel domiciliario. Una solución biomimética para apoyar al ambiente

José Luis Marín-Muñiz ^{1,*}, Sergio Aurelio Zamora Castro ², Juan Antonio Triana-Tello ³, José C. Zamora-Castro ⁴, Neira Sánchez Zarate ¹, Joaquín Sangabriel Lomelí ⁵

¹ Departamento de Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Km. 1.8 Carretera a la Loma del Cojolite, Misantla 93821, Veracruz, México

² Facultad de Ingeniería, construcción y hábitat, Universidad Veracruzana, Bv. Adolfo Ruiz Cortines 455, Costa Verde, Boca del Rio 94294, Veracruz, México

³ Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias Navales. Universidad Veracruzana. Veracruz, México

⁴ Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Ciudad Universitaria, en la intersección de la Av. de las Américas y el Blvd. Universitarios, sin número, en Culiacán, Sinaloa, México. 80040

⁵ Departamento de Ingeniería Civil. Instituto Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Km. 1.8 Carretera a la Loma del Cojolite, Misantla 93821, Veracruz, México

* Autor de correspondencia: jmarinm@itsm.edu.mx; Tel.: +52 2281624680

Artículo de divulgación científica

Recibido: 22 de abril de 2025

Aceptado: 5 de junio de 2025

Publicado: 3 de enero de 2026

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v4i3.656>

Resumen: El tratamiento del agua es una necesidad mundial, pero desde cada hogar se pueden implementar acciones que apoyen a mitigar la problemática por descarga de aguas residuales. Los humedales construidos son un ejemplo de esas estrategias, son una solución basada en la naturaleza que mediante procesos físicos, químicos y biológicos degradan contaminantes. Su aplicabilidad en traspatio para limpiar las aguas grises del hogar es una opción que aquí se plantea, donde se sugiere el uso de plantas ornamentales para convertir el sistema en jardineras florales de tratamiento. Se describen aplicaciones, condiciones y características a considerar, así como la descripción de plantas ornamentales a implementar. Entre las plantas ornamentales más comunes en zonas tropicales se encuentran *Zantedeschia aethiopica*, *Heliconia latispata*, y el uso de la especie común de humedales *Typha angustifolia*. La replicabilidad de estas alternativas apoya en avanzar hacia el alcance de los objetivos del desarrollo sostenible (ODS), principalmente los ODS 6, 11 y 15.

Palabras clave: tratamiento de agua, ecotecnologías, sustentabilidad, economía circular, soluciones basadas en la naturaleza

Introducción

Los problemas sociales y ambientales son una preocupación común entre la sociedad y el campo científico. Ante ello, diversas investigaciones han dado pie a buscar soluciones a las problemáticas de cambio climático y contaminación, tanto en aire, suelo y agua. Al respecto del recurso hídrico, aunque se reconocen alternativas convencionales para su tratamiento (sistemas de lodos activados, reactores anaerobios, etc), estas suelen ser muy costosas de implementar y de sostener, dado los requerimientos de personal especializado y de gastos operativos, entre ellos de energía eléctrica, requeridos para el funcionamiento de estos (Gorgoglione y Toretta, 2018).

Dicha situación ha desfavorecido la réplica masiva de dichos sistemas de tratamiento y hasta el abandono de sistemas ya instalados., dejando a la vez avanzar la problemática de contaminación por aguas residuales a otros cuerpos de agua como lagos, ríos, océanos o incluso descargados a cielo abierto, infiltrándose hacia el subsuelo. Todo ello provocando vulnerabilidad a la salud tanto de los diferentes ecosistemas, como de la sociedad.

En la búsqueda de opciones para atender la problemática del agua contaminada, una alternativa ecológica y económicamente viable son los humedales construidos, también llamados humedales de tratamiento, los cuales son sistemas originados a partir de la ingeniería ecológica, ciencia en la que se diseñan ecosistemas sustentables, consistentes con los principios ecológicos, integrando a la sociedad con su ambiente para beneficio de ambos (Mitsch *et al.*, 2023). Dichos sistemas son diseñados con el fin de imitar la función de mejorar la calidad del agua que ocurren en los humedales naturales. Los humedales construidos, consisten en celdas impermeables con un sustrato, y vegetación, donde se hace pasar el agua contaminada (Marín-Muñiz 2017).

Entre el sustrato y las raíces de las plantas se desarrollan familias o grupos de microorganismos que apoyan en la degradación de contaminantes presentes en el agua. Así mismo, la presencia de las plantas hidrófitas (plantas que

resisten altas condiciones de humedad) absorben (las moléculas se infiltran en el interior de un material) o adsorben (las moléculas se adhieren a la superficie de un material) también otros elementos contaminantes del agua. En el caso del sustrato, que puede ser suelo u otro material filtrante granular o poroso (grava, tezontle, zeolita, tepezil, plásticos rugosos, etc), este también juega un papel importante como filtro o colador de los contaminantes, así como medio de anclaje de las raíces de las plantas (Zamora *et al.*, 2025). Con todo esto entonces quedan claros los componentes de un humedal construido, los cuales incluyen a la vegetación, el sustrato y los microorganismos, en conjunto con el agua, que es el medio que tratar.

El tratamiento en los humedales ocurre a través de procesos físicos, químicos y biológicos, y su diseño ingenieril es el resultado de imitar la función destoxificadora que realizan los humedales naturales. De allí que considerando que la biomimética es una disciplina que estudia los modelos, sistemas, procesos y elementos naturales para imitarlos y así encontrar soluciones innovadoras y sostenibles a problemas humanos en diversos campos (Rocha Rangel *et al.*, 2012), como la ingeniería, como en este caso, haciendo uso de la ingeniería ecológica, es que los humedales construidos son entonces una solución biomimética para paliar la contaminación del recurso hídrico.

Existen diferentes tipos de humedales construidos, y aunque su uso ha sido principalmente para el tratamiento de aguas residuales tanto comunitarias, municipales e industriales, estos deberían ser instalados en cada hogar, para limpiar las aguas residuales particulares, lo cual apoyaría a la reutilización del líquido en otras actividades del hogar y a evitar menos descargas de aguas residuales a otros cuerpos de agua, cuando no existen sistemas de tratamiento de mayor escala. En este estudio se abordan los tipos de humedales construidos que pueden aplicarse en el hogar como jardineras florales y se describen las principales plantas ornamentales utilizadas para dicho propósito, así como algunas consideraciones importantes.

Desarrollo

¿Qué tipo de humedales construidos existen?

De acuerdo con el tipo de flujo, los sistemas de humedales construidos pueden ser de flujo superficial; canales donde el agua está en contacto directo con la atmósfera, por lo que puede haber especies de plantas flotantes, sumergidas (dentro de la columna de agua, pero arraigadas en el suelo o sustrato) y plantas emergentes (arraigadas en el suelo/sustrato, pero salen de la columna de agua).

El otro tipo de humedales son los sistemas subsuperficiales (celdas donde el agua fluye entre el sustrato), en los que solo puede haber plantas emergentes, dado que la celda está llena del sustrato. Los humedales construidos de flujo subsuperficial pueden tener una dirección de entrada de flujo de agua que pueda ser de manera horizontal o vertical. En el caso de los de flujo horizontal, estos son diseñados para que el agua entre y salga por gravedad en dicha dirección, no se requieren gastos de energía eléctrica.

Para el caso de los humedales construidos de flujo subsuperficial verticales, estos liberan el agua de arriba hacia abajo, mediante una tubería perforada, pero las dosis de rociado si deben ser manipuladas de manera controlada, por lo que, para dicho rociado, comúnmente requieren operación con energía eléctrica (Vymazal, 2022). Por lo cual, son más los sistemas subsuperficiales de flujo horizontal los instalados en México, en comparación con los de flujo vertical (Marín-Muñiz *et al.*, 2023).

Muchas veces para mejorar las condiciones de remoción de contaminantes es necesario combinar los tipos de humedales y direcciones de flujo, es decir, después de pasar por un tipo de humedal, el agua se hace pasar por otro tipo de humedales, cuando esto sucede, entonces se les llaman humedales híbridos (Figura 1).

Entonces, conociendo este tipo de alternativas para mejorar la calidad del agua, su implementación en los hogares sería de gran utilidad para limpiar al menos las aguas grises (aquellas aguas residuales que resultan de la lavadora, lavaderos, regadera, lavabos y de trapeado en el hogar), donde la instalación se integre a las áreas de traspatio como una jardinera con plantas que armonicen lo visual o estético y lo ecológico.

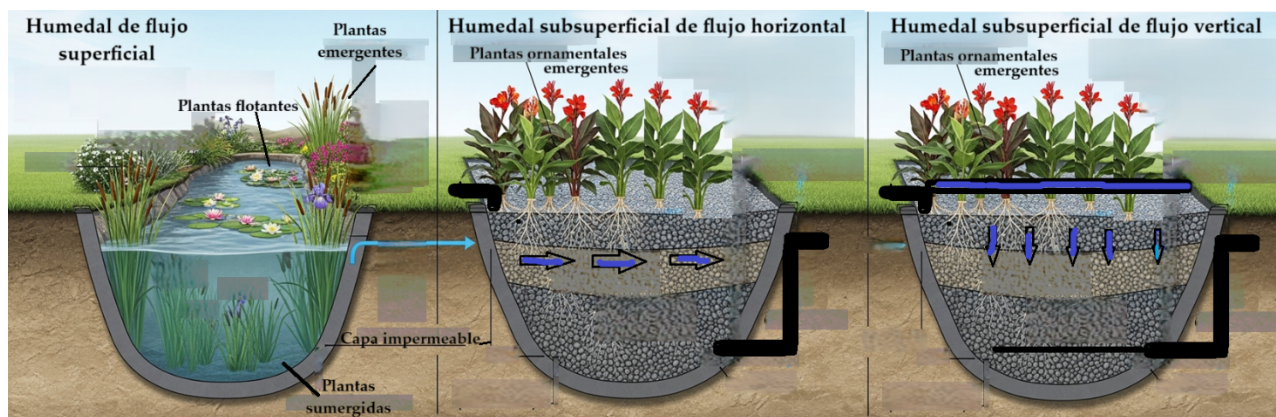


Figura 1. Esquema de los diferentes tipos de humedales de tratamiento de aguas residuales, de acuerdo con el tipo de flujo. (Elaboración propia)

¿Por qué es importante limpiar el agua desde los hogares?

Cuando hablamos de contaminación de agua, comúnmente se hace referencia al resultado del vertimiento de aguas negras a otros cuerpos de agua como ríos, lagunas, lagos u océanos, esto derivado de la falta de sistemas de tratamientos de dichas aguas, trayendo como consecuencia la afectación de la flora y fauna de los cuerpos receptores, así como también vulnerabilidad a la salud de los humanos que hacen uso de esas aguas no tratadas.

Entonces, antes de pensar en construir sistemas de tratamiento de aguas residuales a gran escala para toda una comunidad o municipio, considerando que pocas veces se invierte en ello por la falta de recursos económicos, es pertinente considerar la instalación de sistemas domiciliarios o casa o por casa, al menos para el tratamiento de las aguas grises. Estas aguas en conjunto integran una mezcla de contaminantes químicos de la cosmética, farmacéutica, lavandería y contaminantes biológicos de los residuos de comida en la cocina y hasta algunos virus o bacterias, así como material particulado. Todos estos contaminantes podrían degradarse, si antes de ser descargadas al drenaje o cielo abierto, pasan por un sistema de tratamiento, como los humedales construidos.

Cabe recalcar que la ecotecnología de humedales son alternativas que deben utilizarse como sistemas secundarios o terciarios. Algunos sistemas previos a un humedal incluyen desarenadores, sedimentadores, separadores de grasas o cribas. Para el caso de los hogares, si el agua es inicialmente almacenada en algún tanque contenedor, este podría funcionar como un sedimentador, cuya salida de agua hacia los humedales debe estar al menos 20 cm más arriba de la base del contenedor, y debe lavarse al menos anualmente para retirar los sedimentos acumulados. Otra opción que apoyaría en la disminución de residuos de mayor tamaño y lodos en la entrada del humedal, sería colocar alguna malla que sirva como colador, antes de que esta entre al tanque contenedor, la cual debería revisarse al menos semanalmente en cuanto a lo que se acumule, para retirarlo. Cabe mencionar que derivado de diversos estudios se propone el considerar que el área del sistema por persona que habita el hogar sea al menos de 2.8-3 m² (Rivas, 2020).

Las plantas ornamentales en los humedales construidos como jardineras florales ¿Cuáles son idóneas?

Como previamente se describió, la vegetación en los humedales es un componente primordial, ya que estas absorben nutrientes (por ejemplo, nitrógeno y fósforo), y también sus raíces adhieren contaminantes, y funcionan para el desarrollo de películas microbianas o formación de grupos de microorganismos, así como también son las responsables del transporte de oxígeno de la atmósfera hasta la rizósfera (zona adyacente de la raíz con el suelo o sustrato). Sumado a lo anterior, las raíces de las plantas liberan exudados de carbono que apoyan en los procesos con ausencia de oxígeno (anaerobio) para la descomposición de otros contaminantes.

Cabe mencionar que inicialmente la vegetación en los humedales construidos fueron plantas de humedales naturales como el tule o junco (*Typha angustifolia*), o el carrizo (*Phragmites australis*) (Vymazal, 2022). En las últimas décadas y principalmente en México, se han utilizado plantas ornamentales florales, la mayoría comunes en áreas terrestres y no en áreas de saturación de agua. Pero diversos han sido los estudios que han comprobado su capacidad de adaptación

a ambientes de humedales y su capacidad de remover contaminantes (Zurita *et al.*, 2025). Además, al ser plantas con producción de flores, estas proveen una mejor estética a la ecotecnología y pueden ser aprovechadas para arreglos florales o dar una mejor vista cuando se implementan como jardineras de tratamiento en los hogares. Las cuales proporcionan pequeñas áreas o ecosistemas que a la par, atraen a los colibrís, mariposas, libélulas y aves. Por lo cual, se aportan ventajas ecológicas y estéticas al entorno, lo cual ayuda en la aceptación y réplica de estas alternativas.

Entre las plantas ornamentales más comunes utilizadas en los humedales construidos, tomando en cuenta siempre el clima donde se instalen los humedales, se encuentran los alcatraces (*Zantedeschia aethiopica*), anturios (*Anturium andraeanum*), cuna de moisés (*Spathiphyllum wallisii*), aves de paraíso (*Strilizia reginae*), heliconias (*Heliconia latispata*, *Heliconia bourgaeana*) y maracas (*Zingiber spectabile*) (Figura 2).



Figura 2. Plantas ornamentales comunes en humedales construidos. 1. *Anturium andraeanum*, 2. *Heliconia latispata*, 3. *Heliconia vaginalis*, 4. *Zingiber spectabile*, 5. *Heliconia bourgaeana*, 6. *Alpinia purpurata*, 7. *Sansevieria trifasciata*, 8. *Typha angustifolia*, 9. *Strilizia reginae*, 10. *Zantedeschia aethiopica*, 11. *Hedychium coronarium*, 12. *Spathiphyllum wallisii*. (Elaboración propia)

¿Qué consideraciones se deben tomar en cuenta para la selección y sembrado de las plantas ornamentales en humedales?

Las plantas por utilizar en humedales se sugieren que sean especies de la región, y que puedan encontrarse a orillas de ríos u otras zonas acuáticas, para que sea vegetación mejor adaptada a las condiciones climáticas de la zona y por lo tanto su desarrollo sea óptimo. Respecto al sembrado de las plantas en las celdas, este puede ser mínimo de una planta por metro cuadrado o hasta de tres especies de plantas, algo que se debe tomar en cuenta para ello es saber si es una planta que genera mucha raíz durante su desarrollo como para que saturé el área. Especies como el tule (*Typha angustifolia*) o bandera (*Canna hybrids*, *Canna indica*) crecen muy rápido y generan rizomas (tallos subterráneos que crecen horizontalmente con nuevas raíces y brotes), por lo que una planta por metro cuadrado es adecuada. También se debe considerar si hay plantas que puedan dañarse o quemarse por el sol, entonces para estas se debe colocar malla sombra sobre ellas, ejemplo de estas plantas son el anturio (*Anturium andraeanum*,) y la cuna de moisés (*Spathiphyllum wallisii*).

Por otro lado, para asegurar el cuidado y buen desarrollo de las plantas se debe revisar mensualmente la vegetación para retirar hojas o plantas secas, o para evitar que alguna especie sature las celdas de raíces y plantas. Por ello se sugiere buscar opciones de aprovechamiento de las plantas, por ejemplo, el tule (*Typha angustifolia*) se puede usar para realizar tejido de sillas, sombreros, tapetes, canastos, etc., o en el caso de plantas con flores ornamentales, estas se utilizan para realizar arreglos florales (Zamora *et al.*, 2025). La vegetación en el humedal debe verificarse periódicamente en cuanto a posible presencia de plagas o insectos que afecten el desarrollo de estas en el sistema, y si lo hay, utilizar algunos insecticidas ecológicos.

Ejemplo de humedal domiciliario como jardinera con plantas ornamentales

En san José Pastorías, Actopan, Veracruz se ha instalado un sistema de humedal de tratamiento de aguas grises, este funciona desde 2015, su construcción es a partir de celdas que se construyeron junto a la pared de una barda, lo cual disminuyó los gastos (cerca de \$4000) (figura 3). El sustrato utilizado incluye una base de 30 cm de piedra porosa de río de aproximadamente 10-14 cm de diámetro. Arriba de dicha base hay una capa de taparrosas, residuos rugosos plásticos. Posteriormente una capa de grava tezontle. En este sistema se han desarrollado investigaciones que demuestran la eficiencia de remoción de contaminantes y donde se detallan los cambios de materiales, o de plantas que se han utilizado analizando diferentes variables de diseño. Estos sistemas han corroborado remociones de materia orgánica que van del 50% al 90%, así como de otros contaminantes inorgánicos de compuesto nitrogenados, fosforados y de otros iones con remociones de hasta el 92% (Marín-Muñiz *et al.*, 2024a; 2024b).



Figura 3. Humedal construido domiciliario en San José Pastorías, Actopan, Veracruz. (Elaboración propia)

Los humedales construidos demuestran el potencial de uso de soluciones basadas en la naturaleza para atender los desafíos del tratamiento hídrico. El fomentar la replicabilidad de los humedales para mejorar la calidad del agua, y que proveen diferentes propósitos, son una tarea vital para un presente y futuro sostenible. Además, con este tipo de aplicaciones se apoya en caminar hacia el alcance los objetivos de desarrollo sostenible, específicamente en el ODS 6 (agua limpia y saneamiento), 11 (ciudades y comunidades sostenibles), y objetivo 15 (vida de ecosistemas terrestres). Con esto también se resalta que pequeñas acciones desde el hogar guiarán un mejor camino para un mejor planeta presente y futuro.

Conclusiones

El tratamiento de las aguas residuales con humedales construidos, son una alternativa sustentable que ha sido probada de manera paulatina, principalmente a nivel comunitario, o hasta industrial. Cuando no hay sistemas de tratamiento del agua en las comunidades, colonias, o fraccionamientos, una opción es aplicar estas tecnologías a nivel domiciliario. Este estudio demuestra su utilidad considerando el uso de plantas ornamentales, para tener en traspatio jardineras florales tratadoras del agua. Se resalta el uso de plantas locales adaptadas a las condiciones de clima regional, así como condiciones de diseño y mantenimiento para favorecer la utilidad del sistema a largo plazo. La replicabilidad de estos sistemas provee múltiples beneficios como agua para reutilizar, la creación de un mini ecosistema para nuevas especies y áreas estéticas que provean confort y bienestar al hogar.

Bibliografía

- Gorgoglione, A., & Toretta, V. (2018). Sustainable management and successful application of constructed wetlands: A critical review. *Sustainability*, 10, 3910. <https://doi.org/10.3390/su10113910>
- Marín-Muñiz, J. L. (2017). Humedales construidos en México para el tratamiento de aguas residuales, producción de plantas ornamentales y reuso del agua. *Agroproductividad*, 10(5). <http://revistaagroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1028/879>
- Marín-Muñiz, J. L., Sandoval, L. C., López-Méndez, M. C., Sandoval-Herazo, M., Meléndez-Armenta, R., González-Moreno, R., & Zamora, S. (2023). Treatment wetlands in Mexico for control of wastewater contaminants: A review of experiences during the last twenty-two years. *Processes*, 11, 359. <https://doi.org/10.3390/pr11020359>
- Marín-Muñiz, J. L., Hernández, M. E., & Zamora Castro, S. (2024a). Ornamental plant growth in different culture conditions and fluoride and chloride removal with constructed wetlands. *Hydrology*, 11, 182. <https://doi.org/10.3390/hydrology11110182>
- Marín-Muñiz, J. L., Zamora, S., & González, D. (2024b). Depuración de aguas residuales de la industria láctea con humedales construidos sembrados con policultivos de diferentes densidades de plantas ornamentales. *Universita Ciencia*, 12(33), 32–44. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10955809>
- Mitsch, W. J., Gosselink, J., Anderson, C., & Fennessy, S. (2023). *Wetlands* (6th ed.). John Wiley & Sons.
- Rivas, A. (2020). Experiencias de deficiencias en el diseño de humedales de tratamiento. *Revista Latinoamericana, el Ambiente y las Ciencias*, 11(28), 278–281.
- Rocha Rangel, E., Rodríguez García, J., Martínez Peña, E., & López Hernández, J. (2012). Biomimética: Innovación sustentable inspirada por la naturaleza. *Investigación y Ciencia*, 54, 56–61. <https://www.redalyc.org/pdf/674/67424409007.pdf>
- Vymazal, J. (2022). The historical development of constructed wetlands for wastewater treatment. *Land*, 11, 174. <https://doi.org/10.3390/land11020174>
- Zamora-Castro, S. A., Hernández y Orduña, M. G., Moreno-Seceña, J. C., Martínez Escalante, G. A., Sangabriel Lomelí, J., Zitácuaro-Contreras, I., & Marín-Muñiz, J. L. (2025). Maximizing value in constructed wetlands: A review of ornamental plants for wastewater treatment and artisanal applications. *Earth*, 6, 126. <https://doi.org/10.3390/earth6040126>
- Zurita, F., Vera-Puerto, I., Maine, A., Arias, C., & Sandoval, L. C. (2025). Use of constructed wetlands in Latin America: Assessment of current status, opportunities and challenges in Mexico, Chile and Argentina. *Journal of Environmental Management*, 395, 127900. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127900>