

Humedales Flotantes de Tratamiento con Vetiver: Implementación en un Río Urbano en Nogales, Veracruz, México

Luis Alfredo Hernández Vásquez ^{1,*}, Mauricio Rojas Ascensión ¹, Rubén Daniel Hernández Cruz ¹, Francisco Javier Mejía Ochoa ¹, Sergio Reyes Rosas ¹, Matilde Itzel Aquino Aguilar ², Laura Hernández Sánchez ³ y Eric Guillermo Echeverría Pérez ³

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

² Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Perote, Perote, Veracruz, México.

³ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle de Etla, Santiago Suchilquitongo, Oaxaca, México.

* Autor de correspondencia: alfredohv_basicas@zongolica.tecnm.mx

Desarrollo sustentable (Humedales naturales y construidos)

Recibido: 2 de julio de 2026

Aceptado: 2 de septiembre de 2026

Publicado: 19 de septiembre de 2026

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v5i2.729>

Resumen: La degradación de los ríos urbanos requiere alternativas que complementen el control de las descargas y las acciones convencionales de saneamiento. En este contexto, los humedales flotantes constituyen una ecotecnología basada en procesos naturales que puede integrarse a estrategias de recuperación de cuerpos de agua. Este trabajo documenta la implementación de tres módulos de humedales flotantes con vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en el río Paseo de Los Ahuehuetes en Nogales, Veracruz, México. Los módulos se instalaron en septiembre de 2025 y se observaron durante 270 días. Cada módulo contó con nueve plantas, una plataforma de 1.20 × 1.00 × 0.13 m y un sistema de soporte con malla plástica y fibra de yute. Las 27 plantas se establecieron y alcanzaron una altura media de 85.5 ± 15 cm, con raíces de 55 ± 6.5 cm. Durante el periodo de lluvias, el nivel del cauce aumentó de aproximadamente 1 a 2.2 m, sin ocasionar daños en los módulos. El seguimiento incluyó mediciones de pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales. Los resultados muestran la viabilidad de implementar y mantener los módulos bajo condiciones reales de un río urbano; sin embargo, las variaciones observadas en los parámetros fisicoquímicos no permiten atribuir efectos sobre la calidad del agua, debido a la ausencia de una línea base y muestreos comparativos. La experiencia aporta elementos técnicos para futuras intervenciones y evaluaciones de esta ecotecnología en ríos urbanos.

Palabras clave: ecosistemas urbanos, fitorremediación, humedales flotantes, soluciones basadas en la naturaleza, vetiver

Floating Vetiver Treatment Wetlands: Implementation in an Urban River in Nogales, Veracruz, Mexico

Abstract: The degradation of urban rivers requires alternatives that complement discharge control and conventional sanitation measures. In this context, floating treatment wetlands are a nature-based ecotechnology that can be integrated into strategies for the recovery of aquatic ecosystems. This study documents the implementation of three floating treatment wetland modules planted with vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) in the Paseo de Los Ahuehuetes River in Nogales, Veracruz, Mexico. The modules were installed in September 2025 and monitored for 270 days. Each module contained nine plants, a 1.20 × 1.00 × 0.13 m platform, and a support system consisting of plastic mesh and jute fiber. All 27 plants became established, reaching a mean height of 85.5 ± 15 cm and root lengths of 55 ± 6.5 cm. During the rainy season, water depth increased from approximately 1 to 2.2 m without causing damage to the modules. Monitoring included measurements of pH, electrical conductivity, and total dissolved solids. The results demonstrate the feasibility of implementing and maintaining the modules under real urban river conditions; however, the observed variations in physicochemical parameters cannot be attributed to changes in water quality because no baseline or comparative sampling was conducted. This experience provides technical information to support future implementation and evaluation of this ecotechnology in urban rivers.

Keywords: urban ecosystems, phytoremediation, floating treatment wetlands, nature-based solutions, vetiver

Introducción

Los ríos urbanos enfrentan diversos impactos asociados con la modificación de sus cauces, los escurrimientos superficiales, la disposición inadecuada de residuos y la descarga de aguas residuales con diferentes cargas contaminantes. Estas alteraciones afectan los procesos ecológicos, deterioran la calidad del agua y reducen los servicios ecosistémicos que proporcionan los corredores fluviales. Este conjunto de efectos ha sido descrito en la literatura como

el síndrome del arroyo urbano, una problemática compleja que requiere acciones integrales de saneamiento, restauración ecológica y gestión territorial (Walsh *et al.*, 2005; Richardson & Soloviev, 2021).

La infraestructura convencional de tratamiento conserva un papel insustituible en la interceptación y depuración de las descargas; sin embargo, su cobertura, operación y mantenimiento pueden rebasar las capacidades técnicas y financieras de algunos municipios. En este escenario, las soluciones basadas en la naturaleza aportan mecanismos ecológicos que complementan las medidas de control en la fuente y favorecen la recuperación funcional de los ecosistemas acuáticos (Vymazal, 2011; Cohen-Shacham *et al.*, 2016).

Entre estas alternativas se encuentran los humedales flotantes de tratamiento (Figura 1), estructuras que permanecen sobre la superficie del agua y permiten que las raíces de las plantas estén en contacto directo con la columna de agua. En ellas se desarrolla una comunidad de microorganismos adheridos a las raíces y a las superficies del sistema, conocida como biopelícula o biofilm. La interacción entre la plataforma, las raíces y estas comunidades microbianas genera zonas donde pueden retenerse partículas y ocurrir procesos naturales de transformación de materia orgánica y nutrientes (Headley & Tanner, 2012). Su funcionamiento depende de factores como la especie vegetal, el movimiento del agua, la cantidad de contaminantes, el tiempo de contacto y el mantenimiento del sistema (Borne *et al.*, 2014).

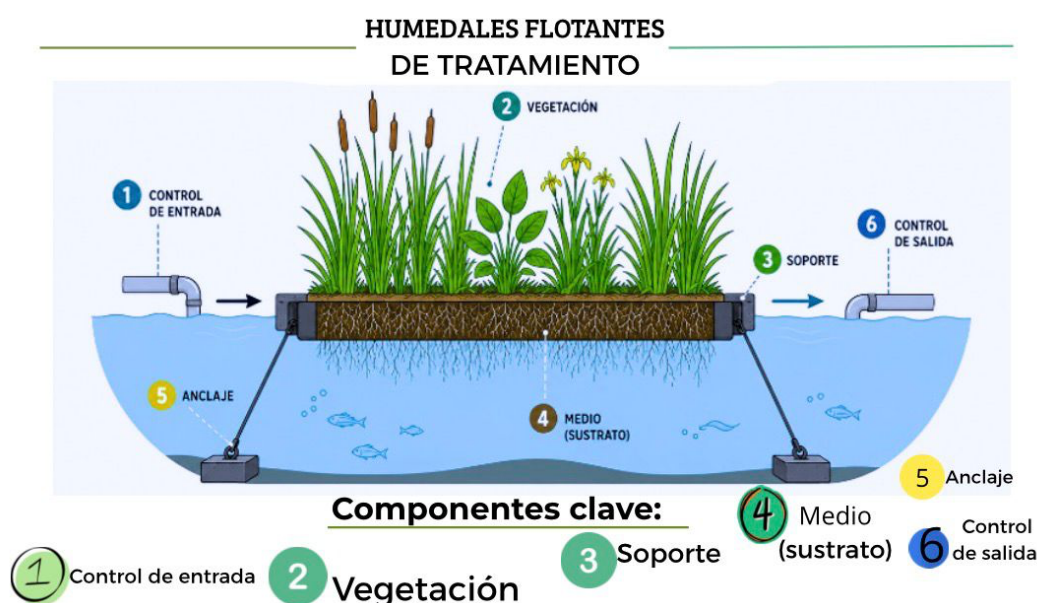


Figura 1. Componentes funcionales de un humedal flotante de tratamiento.

El vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) es una especie de interés para este tipo de aplicación debido a su vigor vegetativo, tolerancia a condiciones ambientales variables y a un sistema radical denso y fibroso (Figura 2).

Estas características favorecen la formación de una matriz biológica capaz de alojar microorganismos y de participar en la asimilación de algunos nutrientes y contaminantes. La literatura también documenta su utilidad en procesos de fitorremediación de medios contaminados, aunque la magnitud de su respuesta depende de la naturaleza del contaminante y de las condiciones del sitio (Danh *et al.*, 2009; Roongtanakiat, 2009; Dorafshan *et al.*, 2023).

Materiales y Métodos

Sitio de estudio

El estudio se realizó en el río “Paseo de los Ahuehuetes”, ubicado en la región de las Altas Montañas de Veracruz, México, dentro del corredor ecológico del

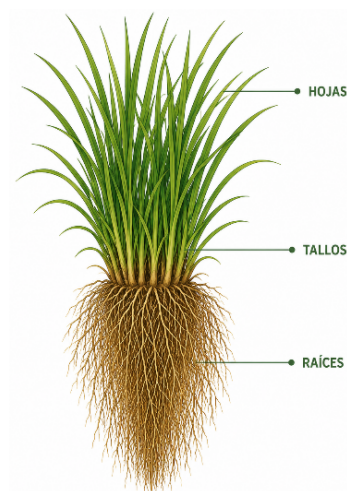


Figura 2. Morfología básica de *Chrysopogon zizanioides*, con énfasis en el sistema radical.

Cañón del Río Blanco. El tramo intervenido se localiza en las coordenadas 18°47'27.6"N y 97°11'56.9"W y corresponde a un cauce urbano que recibe descargas de aguas residuales sin tratamiento. El sitio fue seleccionado por la presencia de fuentes de contaminación identificables, su accesibilidad y las condiciones del cauce para la instalación de los módulos de humedales flotantes.

Diseño, fabricación e instalación de los módulos

Los módulos de humedales flotantes se instalaron el 7 de septiembre de 2025 y se observaron de septiembre de 2025 a junio de 2026. Se instalaron tres módulos, cada uno con una plataforma plástica de 1.20 × 1.00 × 0.13 m, equipada con malla plástica y fibra de yute como soporte para la vegetación, la configuración específica de los sistemas se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Configuración del sistema de humedales flotantes de tratamiento

Componente	Especificación
Número de módulos	3
Dimensiones por plataforma	1.20 m × 1.00 m × 0.13 m
Vegetación	9 plantas
Material de soporte	Malla plástica y malla de fibra de yute
Material vegetal	Plántulas jóvenes de vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>)
Sistema de anclaje	Anclaje a las orillas del cauce
Tipo de plataforma	Polietileno de alta densidad
Período de evaluación	270 días

Cada módulo contó con 9 plantas jóvenes de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), distribuidas en las aperturas de la plataforma (Figura 3). Los módulos se instalaron con una separación aproximada de 4 m y se anclaron a las orillas del río. La profundidad aproximada del río en el tramo intervenido fue de 1 m.

Seleccionaron plantas jóvenes, sanas y sin daño visible. Los módulos se anclaron de manera que la vegetación permaneciera estable y las raíces pudieran desarrollarse libremente en el agua. Esta configuración propició la formación progresiva de una zona radical suspendida, condición esencial para que el sistema funcione como interfaz de tratamiento biológico y físico.

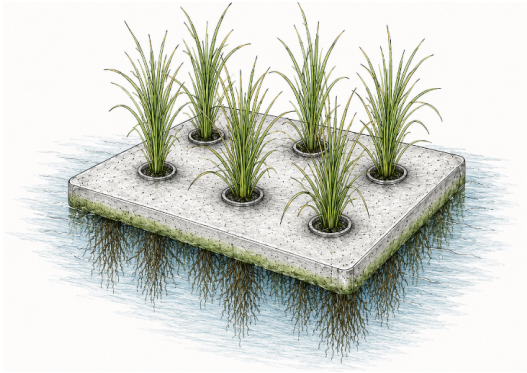


Figura 3. Configuración conceptual del módulo flotante vegetado con *Chrysopogon zizanioides*.

El seguimiento se realizó semanalmente y cada dos semanas se efectuaron registros y actividades de mantenimiento, que incluyeron la revisión de la estructura, el sistema de anclaje, la estabilidad de los módulos y la condición de las plantas. Durante el periodo de observación se mantuvo el contacto de las raíces con la columna de agua.

Monitoreo de parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos del agua se determinaron in situ cada cuatro semanas. Se midieron pH, conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos totales (SDT) mediante un medidor de bolsillo Combo de Hanna Instruments (HI98129). Las mediciones se realizaron a una profundidad aproximada de 30 cm, en la zona de influencia de los módulos de humedales flotantes.

Alcance analítico y criterios para la evaluación

El seguimiento permitió documentar el establecimiento de los módulos, la adaptación y desarrollo del vetiver, así como las variaciones observadas en algunos parámetros fisicoquímicos del agua. Sin embargo, estos resultados no permiten

atribuir cambios en la calidad del agua a la intervención, debido a la ausencia de una línea base, sitio de referencia y muestreos comparativos. La experiencia aporta información sobre la implementación de los módulos en condiciones reales de un río urbano. Evaluaciones posteriores deberán incorporar sitios de referencia, muestreos aguas arriba y abajo, seguimiento estacional y variables de desarrollo vegetal.

Resultados y Discusión

Los sistemas flotantes se implementaron antes del periodo de lluvias, cuando la profundidad del cauce era de aproximadamente 1 m. Durante la temporada de lluvias, el nivel del agua aumentó hasta 2.2 m. Los módulos no presentaron daños ni desprendimientos, y el sistema de anclaje permitió mantenerlos en su posición y recuperarlos después del periodo de mayor caudal. Se establecieron 27 plantas de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), de las cuales todas lograron adaptarse al sitio (Figura 4). Durante las primeras semanas algunas plantas presentaron estrés y marchitamiento, pero se recuperaron después de aproximadamente 90 días. Al finalizar los 270 días de observación, las plantas alcanzaron una altura media de 85.5 ± 15 cm y las raíces una longitud promedio de 55 ± 6.5 cm.



Figura 4. Módulos de humedales flotantes con vetiver instalados en el río “Paseo de los Ahuehuetes”, Veracruz, México, durante el periodo de seguimiento.

Las raíces incrementan la superficie disponible para la adhesión microbiana y pueden retener partículas transportadas por el flujo (Hernández-Vásquez *et al.*, 2026). A su vez, la vegetación participa en la asimilación de nutrientes y aporta complejidad estructural al sistema. Estos procesos se han descrito en humedales flotantes para el tratamiento de escurrimientos y cuerpos de agua, pero su intensidad varía según la carga hidráulica, la concentración de contaminantes, el tamaño del humedal y las condiciones climáticas locales (Headley & Tanner, 2012; Borne *et al.*, 2013).

El mantenimiento de los sistemas flotantes se realizó cada tres semanas y consistió principalmente en retirar residuos sólidos que ocasionalmente quedaban atrapados en los módulos. Durante el periodo de seguimiento no fue necesario reemplazar plantas ni realizar reparaciones en las plataformas. En general, los módulos permanecieron instalados y las plantas se mantuvieron establecidas durante el periodo de observación, aun con las variaciones en el nivel del cauce.

Comportamiento de parámetros fisicoquímicos

Durante el periodo de observación se midieron pH, conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos totales (SDT) para dar seguimiento a las condiciones fisicoquímicas del agua. El pH se mantuvo ligeramente alcalino, con valores de 7.9 a

8.2. La CE presentó un promedio de $355 \pm 11.5 \mu\text{S cm}^{-1}$ y disminuyó 7.9 % entre el inicio y el final del periodo de observación. Los SDT registraron un promedio de $160 \pm 15 \text{ mg L}^{-1}$, con una disminución de 4.6 % durante el mismo periodo. Estas variaciones corresponden a las condiciones observadas durante el seguimiento y no permiten atribuir un efecto directo de los módulos sobre la calidad del agua. La ausencia de una línea base, un sitio control y muestreos comparativos limita la interpretación de estos cambios como efectos de remoción. Por ello, los datos se presentan como parte del seguimiento de las condiciones del sitio y del comportamiento de la intervención.

Tendencias y líneas de investigación

Los resultados obtenidos permiten plantear nuevas líneas de investigación para evaluar el desempeño de los humedales flotantes en ríos urbanos. Estudios posteriores deberán incorporar monitoreos comparativos aguas arriba y aguas abajo, sitios de referencia y seguimiento durante diferentes periodos hidrológicos. También será importante evaluar el crecimiento y la biomasa del vetiver, el desarrollo radical y otros parámetros de calidad del agua. Esta información permitirá determinar con mayor precisión la contribución de los módulos al mejoramiento de las condiciones ambientales del cauce y orientar su aplicación en otros sitios con características similares.

Conclusiones

La implementación de tres módulos de humedales flotantes con vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en el río Paseo de los Ahuehuetes mostró su viabilidad operativa bajo condiciones reales de un cauce urbano. Los módulos se mantuvieron estables durante el periodo de observación y las 27 plantas lograron establecerse y desarrollar su sistema radical. Sin embargo, las observaciones realizadas no permiten determinar efectos sobre la calidad del agua ni atribuir eficiencias de remoción a la intervención, debido a la ausencia de una línea base y muestreos comparativos. La evaluación de su contribución al saneamiento requiere estudios posteriores con diseños de monitoreo que permitan establecer comparaciones y considerar las variaciones hidrológicas del sitio.

Agradecimientos y financiamiento: Agradecemos al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado al proyecto con clave 25495.26-PD, así como a las autoridades del municipio de Nogales, Veracruz, por las facilidades brindadas para la instalación de los módulos de humedales flotantes de tratamiento.

Bibliografía

- Borne, K. E., Fassman-Beck, E. A., & Tanner, C. C. (2014). Floating treatment wetland influences on the fate of metals in road runoff retention ponds. *Water Research*, 48, 430–442. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.09.056>
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (Eds.). (2016). *Nature-based solutions to address global societal challenges*. International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>
- Danh, L. T., Truong, P., Mammucari, R., Tran, T., & Foster, N. (2009). Vetiver grass, *Vetiveria zizanioides*: A choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes. *International Journal of Phytoremediation*, 11(8), 664–691. <https://doi.org/10.1080/15226510902787302>
- Dorafshan, M. M., Abedi-Koupai, J., Eslamian, S., & Amiri, M. J. (2023). Vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* L.): A hyper-accumulator crop for bioremediation of unconventional water. *Sustainability*, 15(4), 3529. <https://doi.org/10.3390/su15043529>
- Headley, T. R., & Tanner, C. C. (2012). Constructed wetlands with floating emergent macrophytes: An innovative stormwater treatment technology. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(21), 2261–2310. <https://doi.org/10.1080/10643389.2011.574108>
- Hernández-Vásquez, L. A., Rojas-Ascensión, M., Reyes Rosas, S., Hernández Cruz, R. D., Vega-Ortega, M. Á., Hernández-Salinas, G., Benítez-Espíndola, M. A., & Sandoval Herazo, L. C. (2026). Growth of *Chrysopogon zizanioides* in floating treatment wetlands with different substrates for the remediation of an urban river. *Limnological Review*, 26(1), 7. <https://doi.org/10.3390/limnolrev26010007>
- Richardson, M., & Soloviev, M. (2021). The urban river syndrome: Achieving sustainability against a backdrop of accelerating change. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12), 6406. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126406>
- Roongtanakiat, N. (2009). *Vetiver phytoremediation for heavy metal decontamination* (Pacific Rim Vetiver Network Technical Bulletin No. 2009/1). Office of the Royal Development Projects Board.
- Vymazal, J. (2011). Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: A review. *Hydrobiologia*, 674(1), 133–156. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0738-9>
- Walsh, C. J., Roy, A. H., Feminella, J. W., Cottingham, P. D., Groffman, P. M., & Morgan, R. P., II. (2005). The urban stream syndrome: Current knowledge and the search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3), 706–723. <https://doi.org/10.1899/04-028.1>