

Humedales construidos:

Un aliado para la conservación
y el **desarrollo sostenible**

Marco Armando Pérez Zacarias, Mayerlin
Sandoval-Herazo, Jacel Adame-García,
Saúl Rivera



Introducción

Los humedales naturales son ecosistemas vitales para el funcionamiento ecológico y proporcionan enormes servicios, incluida la provisión de hábitat de especies endémicas, el secuestro de carbono, así como contribuyen a la adaptación al cambio climático, promueven la biodiversidad y ayudan a las comunidades a lidiar con problemas de abastecimiento y purificación de agua. Sin embargo, a pesar de que los humedales naturales son ecosistemas únicos y altamente productivos, considerados “riñones del planeta” por su capacidad de filtrar agua y retener sedimentos y representar entre el 5 y el 8 % de la superficie terrestre, las actividades humanas como agricultura (25 %), la urbanización (16,8 %), la acuicultura (10,7 %) y la industria (7,6 %) están disminuyendo drásticamente la superficie de los humedales naturales (Ballut-Dajud *et al.*, 2024).

Los humedales construidos surgen entonces como una alternativa de ingeniería ecológica y económica para el tratamiento de aguas residuales, donde los microorganismos y plantas descomponen y eliminan contaminantes como nitrógeno, fósforo y metales pesados.

¿Qué son los humedales naturales y qué tipos existen?

Según la convención RAMSAR (Astrálaga, 2006) los humedales son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio ambiente, la flora y la fauna asociada

a él (Figura 1). Dependiendo de sus características y ubicación, los humedales pueden dividirse en varios tipos.

- Marinos (humedales costeros, inclusive lagunas costeras, costas rocosas y arrecifes de coral);
- Estuarinos (incluidos deltas, marismas de marea y manglares);
- Lacustres (humedales asociados con lagos);
- Ribereños (humedales adyacentes a ríos y arroyos); y
- Palustres (es decir, “pantanosos” - marismas, pantanos y ciénagas)



Figura 1. Fotografía de vegetación típica de zona de humedales en Nautla, Veracruz

Además, “la Convención de Ramsar ha adoptado un Sistema de Clasificación de Tipos de Humedales que incluye 42 tipos, agrupados en tres categorías: humedales marinos y costeros, humedales continentales y humedales artificiales (como estanques de cría de peces, tierras agrícolas de riego, depresiones inundadas salinas, embalses, estanques de grava, piletas de aguas residuales y canales)”.

¿Qué son los humedales construidos y qué tipos existen?

Los humedales construidos o de tratamiento son una opción sostenible para limpiar las aguas residuales ante los problemas de contaminación del agua. Estos humedales son sistemas de ingeniería que aprovechan recursos de la naturaleza para limpiar distintos tipos de agua residual, simulando los procesos que suceden en un humedal natural (Marín-Muñiz *et al.*, 2023).

De acuerdo con el flujo de agua, los humedales construidos se pueden clasificar de la siguiente manera (Figura 2):

- **De flujo superficial o flujo libre:** son aguas abiertas poco profundas, donde las plantas están enraizadas en una capa de suelo en el fondo; Estos sistemas están fuertemente relacionados con los humedales naturales debido a que utilizan normalmente vegetación típica: flotante, sumergida y emergente.

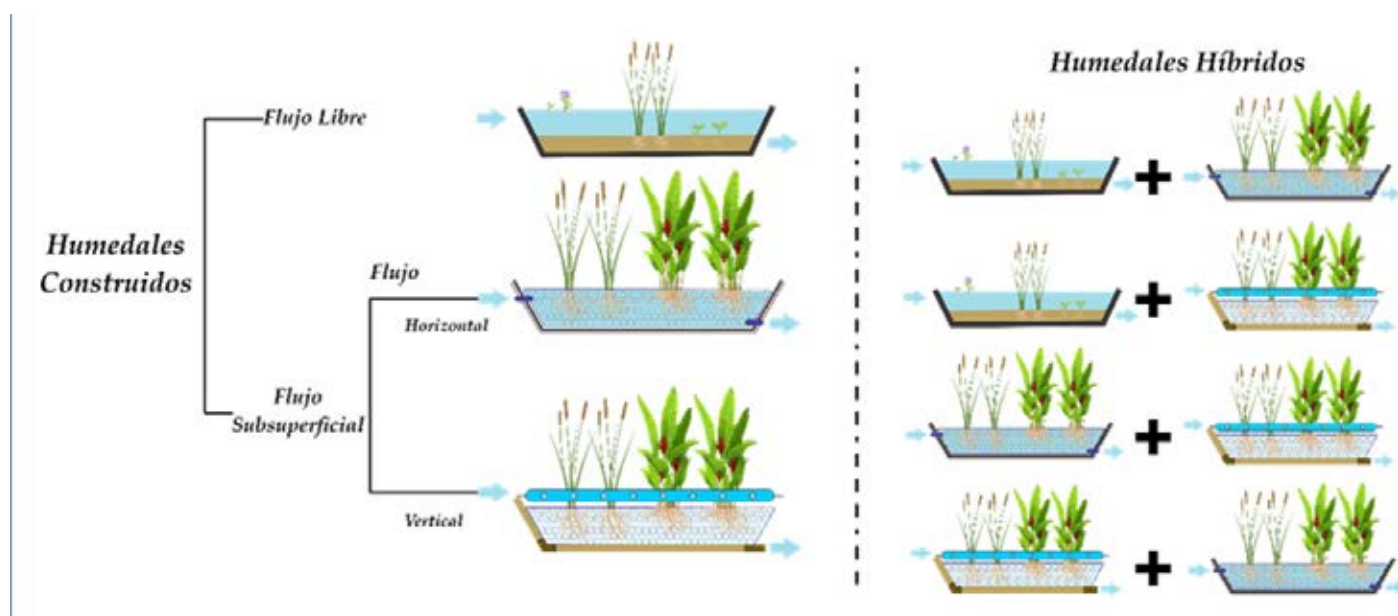


Figura 2. Clasificación de los Humedales Construidos por tipología y flujo hídrico. Fuente: Modificado de Marín-Muñiz *et al.* (2023).

- **De flujo subsuperficial horizontal:** son lechos poco profundos (60 cm), rellenos de medios porosos/filtrantes o sustratos. Las plantas se enraízan en los lechos saturados de agua y el agua se carga en la entrada del lecho; fluye por debajo de la superficie en un patrón horizontal, en contacto con el medio y las raíces de las plantas, y se recoge en el otro extremo del lecho.
- **De flujo subsuperficial:** Típicamente insaturados, con un lecho de un metro de profundidad relleno de un medio filtrante poroso (arena, grava, conchas, pet, etc.). El agua se trata a medida que gotea a través del medio y está en contacto con las raíces de las plantas. Las plantas apoyan el proceso de drenaje vertical. El agua se distribuye homogéneamente a través de una red de tuberías presurizadas en la superficie del lecho, gotea hacia abajo y se recoge en el fondo del lecho o celda a través de tuberías de drenaje perforadas.
- **Humedales contruidos híbridos:** se pueden combinar varios tipos de humedales contruidos para lograr mayores efectos de tratamiento, especialmente para el nitrógeno. Los sistemas de flujo horizontal tienen una capacidad de transporte de oxígeno mucho mayor y, por lo tanto, proporcionan condiciones mucho mejores para la nitrificación. Sin embargo, se produce una desnitrificación muy limitada o nula en los sistemas de flujo vertical. Generalmente, los

estudios que utilizan sistemas híbridos combinan sistemas de flujo horizontal y de flujo vertical, sin embargo, se podrían combinar todos los tipos de humedales contruidos para hacer eficiente el tren de tratamiento del agua residual.

Retos y el futuro de los humedales

A pesar de su importancia, los humedales naturales están en declive a nivel mundial. La pérdida de estos ecosistemas puede ser compensada parcialmente con la creación de humedales contruidos, pero no pueden sustituir por completo la complejidad y biodiversidad de los humedales naturales, sin embargo, ambos tipos de humedales pueden coexistir y complementarse.

La capacidad de los humedales de adaptarse a condiciones cada vez más dinámicas derivado del cambio climático, cambios del uso de suelo y la urbanización serán clave para que coexistan las comunidades humanas y las especies silvestres en todas sus interacciones.

Promover políticas de conservación de humedales, restauración de áreas degradadas y la construcción de humedales es esencial para mantener los servicios ecológicos que ofrecen estos ecosistemas. Desde las decisiones gubernamentales hasta las acciones comunitarias y educativas, todos podemos contribuir a su preservación y creación, garantizando que estos “riñones del planeta” sigan funcionando para futuras generaciones.

Referencias

Astrálaga, M. (2006). La Convención Ramsar y los ecosistemas de manglar. Secretaría de la Convención Ramsar. Suiza.

Ballut-Dajud, G., Sandoval Herazo, L. C., Osorio-Martínez, I. M., Báez-García, W., Marín-Muñiz, J. L., & Betanzo Torres, E. A. (2024). Comparison of Carbon Storage in Forested and Non-Forested Soils in Tropical Wetlands of Caimanera, Colombia, and Llano, Mexico. *Sustainability*, 16(12), 4966.

Marín-Muñiz, J. L., Sandoval Herazo, L. C., López-Méndez, M. C., Sandoval-Herazo, M., Meléndez-Armenta, R. Á., González-Moreno, H. 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(2), 359.

Marco Armando Pérez Zacarias. Ingeniero Ambiental egresado del Instituto Tecnológico Superior de Misantla, actualmente cursando el segundo semestre de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería con enfoque en el tratamiento de aguas residuales y su saneamiento utilizando humedales construidos a gran escala en climas tropicales con plantas ornamentales regionales para así promover su aceptación social y concientización ambiental.

Mayerlin Sandoval Herazo. Doctora en Ciencias de la Ingeniería por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla en México (PNPC-CONACYT). Maestra en ingeniería industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca en México (PNPC-CONACYT). Adscrita al Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico Superior de Misantla como profesora Investigadora del Programa Ingeniería en Gestión empresarial y miembro del laboratorio de Humedales y Sustentabilidad Ambiental de la Subdivisión de posgrado e investigación del ITSM. Ha publicado diversos artículos en calidad de primer autor derivados de resultados de investigaciones de sistemas de tratamiento en revistas JCR, así mismo ha

publicado capítulos de libro relacionados con temáticas de cuidado del agua y economía circular. Ha participado en proyectos financiados de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación del TecNM y entidades privadas.

Jacel Adame García. Dra en Ciencias en Ecología y Biotecnología por el INBIOTECA, UV. MC en Biotecnología Agropecuaria por el IT del Llano. Ing. Agrónoma por el Instituto Tecnológico No. 18. Presidenta de la Academia de Ingeniería en Agronomía e Ingeniería en Industrias Alimentarias y Representante Institucional ante el PRODEP (RIP). Miembro del SNI desde el 2014. Reconocimiento al Perfil Deseable PROMEP. Líder del cuerpo académico “Biodiversidad, Biotecnología y Medio Ambiente” ITUR-CA-1. Jefa del Laboratorio de Biología Molecular del ITUG desde el 2012 a la fecha.

Saúl Rivera. Egresado del Instituto Tecnológico Superior de Misantla en la carrera de Ingeniería Industrial, con una Maestría en Sistemas Computacionales. Actualmente cursando el Doctorado en Ciencias de la Ingeniería con enfoque en el tratamiento de aguas residuales utilizando Humedales de Tratamiento a Escala Real con plantas ornamentales en climas tropicales. Ha colaborado en diversos proyectos a favor del Medio Ambiente en colaboración con la Procuraduría Estatal de Protección al Medio Ambiente del estado de Veracruz.

