



(<https://www.globalseafood.org>).



Especies de plantas utilizadas en humedales artificiales para la biorremediación de aguas residuales acuícolas

13 October 2025

By Erick A. Betanzo-Torres , Gastón Ballut-Dajud , Graciano Aguilar-Cortés , Elizabeth Delfín-Portela and Luis C. Sandoval-Herazo

Los resultados muestran que el uso de plantas para el tratamiento de aguas residuales en sistemas de humedales construidos es factible, pero la aplicación sigue siendo en gran medida a escala experimental a pesar del potencial



Este estudio revisó las especies de plantas utilizadas en humedales artificiales (CW) para la biorremediación de aguas residuales acuícolas. Los resultados muestran que el uso de plantas para el tratamiento de aguas residuales en sistemas CW es viable, pero su aplicación se mantiene principalmente a escala experimental a pesar de su potencial. El jacinto de agua común (*Eichhornia crassipes*) es reconocido como una de las especies acuáticas más eficaces para la purificación de aguas residuales, capaz de eliminar una amplia gama de contaminantes. Foto de NickLubushko (CC BY-SA 4.0, https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0, via Wikimedia Commons).

Los humedales artificiales – una ecotecnología que imita las funciones de los humedales naturales en un entorno controlado – pueden desempeñar un papel vital en la acuicultura, ofreciendo una alternativa económica para el tratamiento de aguas residuales acuícolas en comparación con otras tecnologías. Sin embargo, su estudio ha sido poco explorado y, a menudo, limitado a unas pocas especies acuícolas (<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.034>). Algunos estudios han reportado eficiencias de eliminación notables (<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111955>), con tasas de eliminación de nitrógeno amoniaco del 86-98 por ciento, tasas de eliminación de nitrito superiores al 99 por ciento, tasas de eliminación de nitrato entre el 82 y el 99 por ciento, tasas de eliminación de nitrógeno total del 95 al 98 por ciento, tasas de eliminación de fosfato del 55 al 71,2 por ciento, reducciones de la demanda bioquímica de oxígeno del 25 al 55 por ciento y tasas de eliminación de sólidos suspendidos (SS) del 47 al 86 por ciento.

Los mecanismos para eliminar compuestos orgánicos e inorgánicos, así como el nitrógeno y el fósforo presentes en el agua de acuacultura, son llevados a cabo por las plantas. A través de sus raíces, tallos y hojas, las plantas pueden absorber directamente las formas inorgánicas de nitrógeno presentes en el estanque. Además, las raíces sustentan a las comunidades microbianas y ayudan a capturar partículas suspendidas y contaminantes, transportando nutrientes a otras partes de la planta, como tallos y

hojas, para promover el crecimiento. La eficacia de la eliminación de contaminantes mejora cuando las plantas tienen sistemas radiculares más desarrollados. Otros procesos clave para la purificación del agua ocurren dentro del sustrato, donde los microorganismos desempeñan un papel crucial en la eliminación de nitrógeno, metabolizando los nutrientes y transformándolos en compuestos menos dañinos en un proceso conocido como desnitrificación microbiana.

Un diseño, una selección de vegetación y un tipo de sustrato adecuados son esenciales para mejorar el tratamiento de las aguas residuales de la acuicultura y favorecer la actividad microbiana en el entorno controlado del humedal. La selección adecuada de las especies de plantas que se utilizarán en los sistemas de tratamiento de aguas residuales (CWS) es un criterio esencial. No todas las especies toleran las condiciones de las aguas residuales de la acuacultura; algunas podrían no sobrevivir o no realizar sus funciones adecuadamente. En consecuencia, la eficiencia del tratamiento de los sistemas CWS podría verse directamente afectada por las especies vegetales seleccionadas.

Este artículo – [resumido](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) de la [publicación original](https://doi.org/10.3390/su17146298) (<https://doi.org/10.3390/su17146298>) (Sandoval-Herazo, L.C. et al. 2025. Plants Used in Constructed Wetlands for Aquaculture: A Systematic Review. *Sustainability* 2025, 17(14), 6298) – analiza una revisión de las especies de plantas emergentes y flotantes utilizadas en humedales artificiales (CW) para la biorremediación de aguas residuales acuícolas, con el fin de identificar especies acuícolas cuyas aguas residuales han sido tratadas con CW y explorar la integración de los CW con los sistemas de recirculación acuícola (RASs) para la reutilización del agua en la producción de alimentos y el uso eficiente de los recursos hídricos superficiales y subterráneos.



(<https://www.globalseafood.org/membership/>)

Configuración del estudio

En este estudio se realizó una revisión sistemática de la literatura para identificar y analizar el estado actual del conocimiento sobre el uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales de la acuicultura, así como las especies vegetales empleadas en estos sistemas. La revisión siguió las [directrices PRISMA 2020](https://bit.ly/4jvcxbm) (<https://bit.ly/4jvcxbm>), que proporcionan un marco estructurado y transparente para la selección y el análisis de la literatura, y se seleccionaron 70 artículos científicos publicados entre 2003 y 2023.

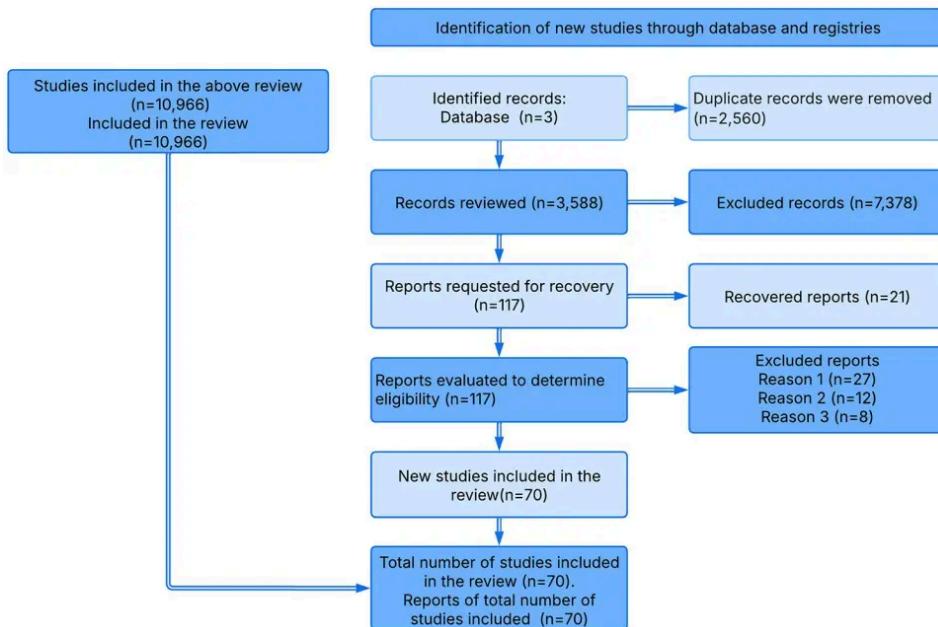


Fig. 1: Diagrama de flujo del proceso PRISMA utilizado en este estudio.

Para obtener información detallada sobre la revisión de la literatura, los criterios de inclusión y exclusión utilizados, y la recopilación, revisión y análisis de datos, consulte la publicación original.

Resultados y discusión

En cuanto a las especies de plantas utilizadas en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales de la acuacultura, las revisiones bibliográficas que recopilan información amplia sobre su uso son escasas. Los datos estadísticos iniciales indican que el 10,06 por ciento de los estudios no informan sobre el tipo de especie vegetal utilizada. Esto es destacable, ya que representa un componente esencial de los estudios sobre humedales artificiales. Nuestro análisis de plantas emergentes y flotantes utilizadas en humedales artificiales y acuacultura reveló un total de 169 especies vegetales en 70 estudios, de las cuales el 58,97 por ciento eran flotantes y el 41 por ciento emergentes. Los hallazgos sugieren que los investigadores en este campo se han centrado principalmente en otros tipos de aguas residuales, como las industriales, municipales y rurales.

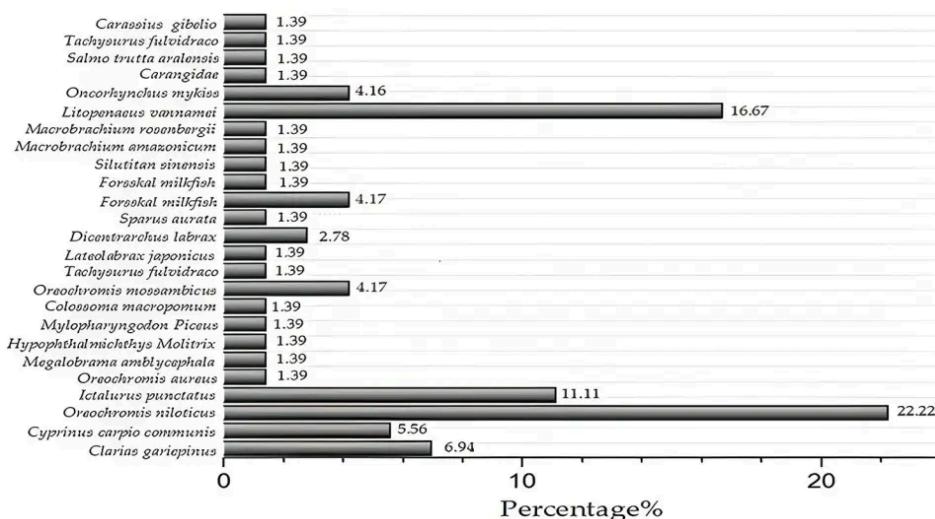


Fig. 2: Especies acuícolas en humedales artificiales. Adaptado del original.

El carrizo común (*Phragmites australis*) fue la especie vegetal más estudiada, representando el 11,2 por ciento de los casos revisados relacionados con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales de la acuicultura. Esta especie perenne destaca por su tolerancia a una amplia gama de condiciones ambientales, principalmente debido a su extenso sistema rizomático, que puede alcanzar profundidades de 60 cm a 1 metro.

En segundo lugar se encuentra la espadaña (*Typha spp.*), ampliamente utilizada en aguas residuales y que representa el 9,47 por ciento de los estudios analizados. Presenta un extenso sistema rizomático y sus hojas son aplanadas o ligeramente redondeadas en el envés, con porciones basales esponjosas. La espadaña de hoja ancha (*T. latifolia*) es la especie más utilizada en aguas residuales debido a su eficacia bien documentada en el tratamiento de aguas residuales acuícolas. Su adaptabilidad a entornos con alto contenido de materia orgánica y las profundidades adecuadas de los sistemas de aguas residuales respaldan su amplia aplicación.



La producción actual, desafíos y el futuro del cultivo del camarón

En el Simposio de Acuacultura de Guatemala en Antigua, el enfoque fue el cultivo de camarón en la región: producción, nutrición, gestión de la salud y mercados.



Global Seafood Alliance

La tercera especie más utilizada fue la canna indica (*Canna indica*), presente en el 5,92 por ciento de los estudios revisados. Produce flores ornamentales y tiene aplicaciones en paisajismo, clarificación de aguas residuales, medicina y consumo humano. Se considera una planta ornamental con valiosas propiedades fitorremediadoras, como su rápido crecimiento, tolerancia a condiciones climáticas adversas, alta capacidad de acumulación de contaminantes y un extenso sistema radicular fibroso. Además, esta especie mejora las condiciones aeróbicas del agua de lluvia, mejorando así la eficiencia del tratamiento.

En cuarto lugar, el jacinto de agua común (*Eichhornia crassipes*) se utilizó en el 5,3 por ciento de los estudios. Esta planta acuática perenne, que flota libremente, forma densas esteras sobre superficies de agua o sustratos fangosos. Prospera en estanques de agua dulce, canales, pantanos y lagos, y se propaga principalmente mediante reproducción vegetativa, lo que le permite colonizar rápidamente grandes extensiones. Es una de las plantas acuáticas más eficientes para la depuración de aguas residuales, ya que puede eliminar una amplia gama de contaminantes, incluyendo metales pesados, sustancias orgánicas y nutrientes como nitrato, amonio y fósforo. También es eficaz en la reducción de sólidos totales en aguas residuales municipales, industriales (p. ej., textiles, metalúrgicas, farmacéuticas y papeleras), domésticas y cloacales.

Fig. 3: Clasificación de humedales artificiales o construidos según caudal y elementos constituyentes.
Adaptado del original.

Finalmente, el carrizo gigante (*Arundo donax*) se reportó en varios estudios. Esta especie de gramínea es una de las plantas herbáceas más grandes del mundo. Sus tallos pueden alcanzar alturas de 8 a 10 metros con un diámetro de 3 a 4 cm, mientras que sus raíces pueden extenderse hasta 5 metros de profundidad. Sus fragmentos de rizoma mantienen una viabilidad del 100 por ciento incluso después de tratamientos de inmersión prolongados. Además, estos tratamientos de inundación se han asociado con la mayor producción de biomasa tanto en brotes como en raíces, lo que destaca la excepcional tolerancia del juncos gigante al encharcamiento. Estas características lo hacen especialmente adecuado para la biorremediación de aguas residuales.

Estas y otras, de un total de 43 especies de plantas, se han utilizado para tratar las aguas residuales generadas por los sistemas de producción de 25 especies acuícolas, siendo la tilapia del Nilo, el camarón blanco del Pacífico, el bagre de canal, el bagre amarillo y la carpa común las más frecuentemente reportadas.

Este estudio identificó investigaciones que han integrado sistemas de recirculación acuícola (RAS) con agua residual por país. Entre los estudios analizados, el 40 por ciento señaló la reutilización del agua como un objetivo clave, un aspecto esencial para la acuacultura sostenible. Sin embargo, una limitación importante de los sistemas integrados RAS-CW reside en la necesidad de un funcionamiento continuo. A pesar de algunos desafíos operativos, algunos estudios de caso han demostrado con éxito la aplicación de sistemas integrados RAS-CW.

En cuanto al impacto de las plantas en la productividad acuícola, estas desempeñan múltiples funciones dentro del complejo sistema sustrato-raíz-microorganismo, lo que facilita el desarrollo de biopelículas responsables de la transformación bioquímica de contaminantes. Además, las plantas absorben nutrientes de las aguas residuales necesarios para su crecimiento y desarrollo. Se han estudiado numerosas especies por su papel en la fitorremediación mediante humedales artificiales, como se presenta en esta investigación. Sin embargo, existe una amplia variedad de especies vegetales, especialmente en regiones tropicales con una alta diversidad de plantas acuáticas, cuyo potencial para la eliminación de contaminantes aún se desconoce.

El impacto de la integración de humedales artificiales en los sistemas acuícolas reside en la reducción del uso de agua, lo que también se traduce en un menor consumo de energía para el bombeo y, en consecuencia, en una reducción de los costes de producción. Los sistemas de humedales artificiales ofrecen importantes ventajas ambientales y económicas. Nuestros resultados indican que su construcción es económicamente viable para la producción acuícola, especialmente en regiones con disponibilidad limitada de agua. Estos sistemas proporcionan un tratamiento de agua eficaz con costes operativos muy bajos. Sin embargo, los costos de implementación de estos sistemas varían, dependiendo en gran medida de los recursos económicos disponibles y del tamaño de la granja. Es evidente que a medida que los sistemas acuícolas evolucionan hacia operaciones de circuito cerrado técnicamente más avanzadas, los costos aumentan.

Fig. 4: Factores que afectan a los humedales artificiales en la acuicultura. Adaptado del original.

Diversas especies de manglares también pueden utilizarse como humedales artificiales para apoyar la operación responsable de granjas camaroneras y otras operaciones de producción acuícola.

Foto de Darryl Jory.

La principal limitación para una implementación a gran escala es la falta de difusión de experiencias prácticas exitosas. Además, no se han explorado ni adaptado todas las opciones de diseño posibles a las diferentes regiones climáticas donde se practica la acuacultura. Si bien los humedales artificiales tienen potencial para una aplicación a gran escala, la industria acuícola aún enfrenta varios desafíos, y la investigación futura debe centrarse en varios aspectos clave, como el diseño y la optimización adecuados de humedales de tratamiento para la acuacultura; la salud de los animales acuáticos y el control de enfermedades; el aumento de la recuperación de nutrientes y recursos; las emisiones de gases de efecto invernadero y el secuestro de carbono; la integración de humedales artificiales en la economía circular; y el monitoreo y la evaluación del rendimiento de los humedales artificiales.

Perspectivas

Este estudio destaca una importante brecha de conocimiento en la aplicación de humedales artificiales o construidos en el sector acuícola. La limitada información actual sobre plantas y especies acuícolas analizadas confirma la necesidad de mayor investigación, en particular explorando especies vegetales infrautilizadas para evaluar su adaptación a los sistemas de agua de riego. Además, se requiere mayor investigación sobre especies acuícolas clave y plantas con valor comercial para que los sistemas de agua de riego no solo reciclen el agua, sino que también contribuyan a la producción agrícola, haciendo así la tecnología más atractiva.

También es necesario determinar qué tipos de humedales a gran escala son los más apropiados para mitigar la contaminación de los efluentes acuícolas antes de que lleguen a los cuerpos de agua receptores. Asimismo, se debe ampliar la investigación sobre los tipos de humedales utilizados en la acuicultura, las eficiencias de eliminación de contaminantes reportadas y su integración en los

sistemas de recirculación acuícola (RAS). Esto ayudará a proporcionar soluciones útiles para diversas prácticas acuícolas en las diferentes regiones del país. El campo de investigación sigue siendo amplio y en gran parte inexplorado.

Finalmente, es esencial centrarse en la reducción de los tiempos de retención hidráulica (TRH) para la purificación del agua. Por lo tanto, estudios futuros deberían investigar la adición de fuentes de carbono, microorganismos beneficiosos y sistemas de aireación artificial que podrían ayudar a reducir los tiempos de tratamiento y mejorar la eficiencia de los sistemas integrados RAS-CW.

Authors



ERICK A. BETANZO-TORRES

Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Tecnológico Nacional de México, Misantla 93821, CP, México



GASTÓN BALLUT-DAJUD

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Sucre, Carrera 28 No 5-267, Puerta Roja, Sincelejo 700003, Colombia



GRACIANO AGUILAR-CORTÉS

Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Tecnológico Nacional de México, Misantla 93821, CP, México



ELIZABETH DELFÍN-PORTELA

Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Tecnológico Nacional de México, Misantla 93821, CP,
México



LUIS C. SANDOVAL-HERAZO

Corresponding author

Facultad de Ingeniería, Universidad de Sucre, Carrera 28 No 5-267, Puerta Roja, Sincelejo 700003,
Colombia

lcsandovalh@gmail.com (<mailto:lcsandovalh@gmail.com>)

Copyright © 2025 Global Seafood Alliance

All rights reserved.