

Hot science

La desnitrificación en los humedales construidos

Georgina Martínez-Reséndiz*
Brenda Lizeth Monzón Reyes
Luis Carlos Sandoval Herazo

Laboratorio De Humedales y Sustentabilidad Ambiental,
División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Misantla.

*Autor para la correspondencia:
georgina.martinez.tecm@gmail.com

Resumen

Los humedales construidos son sistemas eficientes para la remoción de nutrientes (como el nitrógeno) en aguas residuales. La combinación de diferentes mecanismos biológicos, físicos y químicos contribuye a la reducción de los niveles de nitrógeno. La selección de plantas adecuadas, la combinación de diferentes tipos de humedales, el control de la carga de nitrógeno y el monitoreo regular son estrategias clave para prevenir la contaminación por nitrógeno en los humedales construidos.

Palabras clave: desnitrificación, humedales construidos, nutrientes.

¿Qué son los humedales construidos?

Los humedales construidos son sistemas que replican las funciones naturales de los humedales (Figura 1). Su objetivo principal es tratar aguas residuales y mejorar su calidad antes de ser liberadas al medio ambiente. Estos sistemas utilizan diferentes diseños y medios filtrantes para eliminar contaminantes y nutrientes del agua, reduciendo así el impacto ambiental de las descargas de aguas residuales, además, representan una opción económica y sostenible para el tratamiento de aguas residuales, su estudio y aplicación han sido difundidos en diferentes partes del mundo.

Cuando se hace referencia a los humedales construidos, debemos destacar los diferentes tipos que existen, entre ellos, están los humedales de flujo libre superficial, en estos, el agua está expuesta a la atmósfera y a la luz solar, y fluye libremente sobre la superficie del sustrato. Estos sistemas son adecuados para tratar aguas residuales municipales y aguas pluviales [1], otro tipo de humedales son los de flujo subsuperficial, los cuales, son sistemas en los que el agua fluye por debajo de la superficie del sustrato y son adecuados para tratar aguas residuales municipales, aguas pluviales y aguas residuales industriales [2].

Actualmente la preocupación por tener agua de calidad, así como el impacto ambiental de las actividades humanas ha llevado a la búsqueda de soluciones eficaces y sostenibles para el tratamiento óptimo de agua residual. Uno de los contaminantes característicos presentes en agua residual, es el nitrógeno, este se encuentra en forma de nitrato y amonio; y proviene de los desechos industriales, agrícolas y urbanos. Se sabe que, cuando hay niveles elevados de nitrógeno en el agua existe un riesgo potencial de ocasionar eutrofización en los cuerpos de agua, así como afectar negativamente los ecosistemas acuáticos y además poner en riesgo la salud humana. En este sentido, los humedales construidos han surgido como una alternativa promisoriosa para la eliminación del nitrógeno en aguas residuales, aprovechando los procesos naturales de filtración y biodegradación.



Figura 1. Humedal construido para el tratamiento de agua residual.

Mecanismos de remoción de nitrógeno en los humedales construidos

Como se mencionó anteriormente, uno de los contaminantes presentes en las aguas residuales es el nitrógeno, si bien, está documentado que los humedales construidos son capaces de remover nitrógeno (y otros contaminantes) de las aguas residuales, el exceso de este puede afectar la eficiencia de los humedales para tratar aguas residuales, es por ello que es importante tomar medidas para reducir la contaminación por nitrógeno y proteger los ecosistemas acuáticos y los humedales cons-

truidos. La transformación del nitrógeno, es inducida por microorganismos y ostentan un papel predominante en los humedales, la absorción y la adsorción por parte de las plantas también están presentes en cierta medida. Los procesos de eliminación de nitrógeno podrían experimentar variaciones debido al tipo de humedal empleado en el proceso, la carga aplicada, el periodo de retención hidráulica, la temperatura, la especie de planta utilizada y las características del sustrato [3], así los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en los humedales construidos son los que en conjunto remueven los contaminantes presen-

tes en las aguas residuales. A continuación, se describen estos procesos.

Procesos biológicos: son una de las principales formas en que los humedales construidos remueven el nitrógeno. Los microorganismos presentes en el sustrato del humedal convierten el nitrógeno amoniacal en nitrato, que luego es utilizado por las plantas para su crecimiento. Además, las bacterias desnitrificantes presentes en el sustrato del humedal convierten el nitrato en nitrógeno gaseoso, que es liberado a la atmósfera.

Procesos físicos y químicos: también pueden contribuir a la remoción de nitrógeno en los humedales construidos. Por ejemplo, la adsorción y la precipitación pueden remover el nitrógeno del agua, mientras que la volatilización puede remover el nitrógeno en forma de gas [4].

Estrategia biológica para mejorar la remoción de nitrógeno

Seleccionar apropiadamente la vegetación es importante, ya que desempeña un papel esencial en la remoción de la contaminación de nitrógeno. Está comprobado que ciertas especies, como *Typha domingensis* Pers, conocida como tule o espadaña, poseen la capacidad de eliminar nitrógeno presente en las aguas residuales [5]. La absorción a través de las plantas y los procesos microbianos son actores fundamentales para la disminución de los niveles de nitrógeno. Los microorganismos desnitrificadores autótrofos emplean elementos o compuestos inorgánicos como fuentes de electrones durante el proceso de desnitrificación [5].

Otra estrategia, es la combinación de diferentes tipos de humedales, por ejemplo, se puede hacer pasar el agua residual primero por un humedal de flujo subsuperficial vertical (nitrificación) y después por un humedal de flujo subsuperficial horizontal (desnitrificación) [6].

También, controlar la carga de nitrógeno en las aguas residuales que ingresan a los humedales construidos puede ayudar a prevenir la contaminación por este elemento. Esto se

puede lograr mediante la implementación de medidas de conservación del suelo y el agua, la reducción del uso de fertilizantes y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles.

Operación, monitoreo y mantenimiento

La operación es fundamental para garantizar el rendimiento óptimo de un humedal construido. El monitoreo regular de los parámetros del efluente, como las concentraciones de nitrógeno y el pH, son esenciales para evaluar la eficiencia del sistema. Cualquier desviación de los objetivos de tratamiento puede indicar la necesidad de ajustes en el diseño o el funcionamiento del humedal.

El cuidado de las plantas es una tarea continua, la poda, el adelgazamiento y la eliminación de vegetación muerta son necesarios para el crecimiento saludable y asegurar una adecuada absorción de nutrientes. Además, es necesaria la limpieza periódica para eliminar los sedimentos acumulados y prevenir la obstrucción de los canales. El monitoreo regular de los humedales construidos puede ayudar a prevenir la contaminación por nitrógeno, detectar problemas y tomar medidas para corregirlos, mientras que el mantenimiento regular puede ayudar a garantizar que los humedales construidos funcionen de manera óptima [7].

Evaluación del rendimiento y optimización

La evaluación regular del rendimiento del humedal es esencial para determinar su eficiencia en la eliminación de nitrógeno y otros contaminantes. Analizar los datos de monitoreo para calcular la reducción de nitrógeno y otros parámetros de interés, es esencial. Si el rendimiento no cumple con los objetivos establecidos, se deben de considerar ajustes en el diseño, la operación o el mantenimiento del humedal.

La optimización continua es clave para mejorar la eficiencia y la efectividad del sistema. La exploración y la implementación de tecnologías y enfoques innovadores pueden contribuir a enfrentar desafíos particulares y mejorar la eficacia en la eliminación de nitrógeno en siste-



Figura 2. Sustrato (grava roja) empleado comúnmente en los humedales construidos.

mas de humedales construidos.


Otro aspecto relevante, es el sustrato que actúa como soporte para las plantas y puede propiciar el desarrollo de biopelículas microbianas. Algunos sustratos como las zeolitas, la clinoptilolita, el carbón activado y la ceramsita tienen la capacidad de eliminar el nitrógeno de las aguas residuales mediante procesos de adsorción. Además, estos sustratos pueden combinarse con la desnitrificación microbiana al proporcionar electrones para los procesos de desnitrificación autótrofa y heterótrofa (Figura 2).

Beneficios y desafíos de los humedales construidos para la eliminación de nitrógeno

Los humedales construidos surgen como una valiosa solución con una serie de beneficios, comenzado que son sistemas de bajo costo en comparación con las tecnologías con-

vencionales, al mismo tiempo requieren una menor demanda energética. Sin embargo, su mayor atractivo radica en su enfoque natural y estéticamente agradable para el tratamiento de aguas residuales, fusionando la ingeniería con la naturaleza de manera armoniosa. Es importante saber que además de la eliminación de nitrógeno, los humedales construidos también pueden contribuir a la eliminación de otros contaminantes y así mejorar la biodiversidad local. Sin embargo, existen retos asociados con la implementación de humedales construidos, por ejemplo, la variabilidad climática y la fluctuación de las cargas de contaminantes pueden afectar el rendimiento del sistema. Además, el mantenimiento adecuado y la gestión a largo plazo son esenciales para evitar la degradación del humedal y garantizar su eficacia a lo largo del tiempo.

Perspectivas futuras y aplicaciones adicionales de los humedales construidos

La optimización de la configuración y el diseño de los humedales construidos, así como la selección adecuada de las especies vegetales, podría aumentar significativamente el rendimiento de desnitrificación durante el tratamiento de aguas residuales. Los humedales construidos son un medio valioso para la gestión del agua y así contribuir a mejorar la salud del medio ambiente, ya que ofrecen una serie de ventajas sobre otros métodos de tratamiento de aguas residuales convencionales, incluyendo su eficiencia energética, respeto al medio ambiente y versatilidad al disminuir la carga de contaminantes como el nitrógeno. 

Glosario

Eutrofización: Es el incremento de sustancias nutritivas en aguas dulces de lagos y embalses, que provoca un exceso de fitoplancton [8].

Referencias

- [1] Vymazal, J., Zhao, Y., & Mander, Ü. (2021). Recent research challenges in constructed wetlands for wastewater treatment: A review. *Ecol Eng*, vol. 169, p. 106318, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106318>.
- [2] Hassan, I., Chowdhury, S. R., Prihartato, P. K., & Razzak, S. A. (2021). Wastewater Treatment Using Constructed Wetland: Current Trends and Future Potential, *Processes*, vol. 9, no. 11, p. 1917, <https://doi.org/10.3390/pr9111917>.
- [3] Masoud, A. M. N., Alfarra, A., & Sorlini, S. (2022). Constructed Wetlands as a Solution for Sustainable Sanitation: A Comprehensive Review on Integrating Climate Change Resilience and Circular Economy. *Water (Basel)*, vol. 14, no. 20, p. 3232, <https://doi.org/10.3390/w14203232>.
- [4] Arteaga-Cortez, V. M., Quevedo-Nolasco, A., del Valle-Paniagua, D. H., Castro-Popoca, M., Bravo-Vinaja, Á., & Ramírez-Zierold, J. A. (2019). Estado del arte: una revisión actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo. *Tecnología y ciencias del agua*, vol. 10, no. 5, pp. 319–342, <https://doi.org/10.24850/j-ty-ca-2019-05-12>.
- [5] Maharjan, A. K., Mori, K., & Toyama, T. (2020). Nitrogen Removal Ability and Characteristics of the Laboratory-Scale Tidal Flow Constructed Wetlands for Treating Ammonium-Nitrogen Contaminated Groundwater. *Water (Basel)*, vol. 12, no. 5, p. 1326, <https://doi.org/10.3390/w12051326>.
- [6] Van Cleemput, O., Boeckx, P., Lindgren, P.-E., & Tonderski, K. (2007). Denitrification in Wetlands, in *Biology of the Nitrogen Cycle*, Elsevier, pp. 359–367. <https://doi.org/10.1016/B978-044452857-5.50024-2>.
- [7] Luna-Pabello, V. M., & Aburto-Castañeda, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutrofización del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *TIP*, vol. 17, no. 1, pp. 32–55, [https://doi.org/10.1016/S1405-888X\(14\)70318-3](https://doi.org/10.1016/S1405-888X(14)70318-3).
- [8] Real Academia Española. (2014). Eutrofización, en *Diccionario de la lengua española*. Recuperado el 21 de septiembre, 2023, de <https://dle.rae.es/eutrofización>.