



Evaluación de la remoción de nitrógeno total en humedales con *Typha domingensis* y grava compacta

Evaluation of total nitrogen removal in wetlands with *Typha domingensis* and compact gravel

Alondra Camargo Almaraz, Roberto García Acevedo*, Jesús Alberto Rodríguez Castro, Ricardo Ruíz Chávez, Ezequiel García Rodríguez, Juan Pablo Molina Aguilar, Hugo Luis Chávez García

Facultad de Ingeniería Civil, Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Av. Francisco J. Mújica S/N Morelia, Michoacán, México.

Historial

Manuscrito recibido: 14 de mayo de 2024
Manuscrito aceptado: 25 de octubre de 2024
Manuscrito publicado: diciembre 2024

*Autor para correspondencia

Roberto García Acevedo
e-mail: roberto.garcia@umich.mx

Resumen

Los humedales artificiales son relevantes para el tratamiento de aguas residuales siendo eficaces en la remoción de nutrientes como el nitrógeno mediante la actividad de bacterias, protozoarios y hongos. En esta investigación se utilizó un humedal de flujo subsuperficial horizontal experimental ubicado en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), construido con grava compacta y utilizando como vegetación *Typha domingensis*, el cual recibe aguas residuales del Centro de Información, Arte y Cultura (CIAC). Se observó que las plantas remueven en la etapa inicial un 77.28% del nitrógeno total, en la etapa intermedia un 69.78% y en la etapa adulta un 77.37%, indicando una capacidad efectiva para la remoción de este contaminante orgánico, lo que permite concluir que es viable la implementación de este sistema en el tratamiento de las aguas residuales.

Palabras clave: Humedal artificial, agua residual, nitrógeno total, planta macrófita, límites permisibles.

Introducción

Los principales factores de la contaminación del suelo y agua, además de fuentes naturales como los eventos meteorológicos, sísmicos, erupciones volcánicas, son de origen antropocéntrico, incluyendo los relacionados con desarrollos habitacionales, las industrias, agricultura, ganadería, y minería (Delgadillo *et al.*, 2010). El crecimiento poblacional también es un factor importante para la contaminación del agua, y en las últimas décadas

Abstract

Artificial wetlands are relevant for wastewater treatment and are effective in removing nutrients such as nitrogen through the activity of bacteria, protozoa and fungi. In this research, an experimental horizontal subsurface flow wetland located at the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) was used, built with compact gravel and using *Typha domingensis* as vegetation, which receives wastewater from the Centro de Información, Arte y Cultura (CIAC). It was observed that the plants remove 77.28% of the total nitrogen in the initial stage, 69.78% in the intermediate stage and 77.37% in the adult stage, indicating an effective capacity for the removal of this organic pollutant, which allows us to conclude that the implementation of this system in wastewater treatment is viable.

Keywords: Artificial wetland, residual water, total nitrogen, macrophyte plant, permissible limits.

se ha observado una gran dificultad para garantizar los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento (CONAGUA, 2015).

Las aguas residuales son consecuencia de las actividades humanas que se desarrollan todos los días. Estas aguas al ser vertidas en cuerpos de agua naturales y suelos, sin un previo tratamiento, pueden ocasionar graves daños al ambiente, a los ecosistemas acuáticos y a la salud pública, siendo un aspecto que se debe de resolver de

forma efectiva para disminuir la contaminación.

El tratamiento del agua residual se define como el conjunto de procesos que elimina la mayor cantidad de contaminantes, con el objetivo de alcanzar una calidad que cumpla con lo establecido en la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021.

Existen tres tipos de procesos de tratamiento los cuales son físicos, químicos y biológicos. Dentro de los procesos biológicos se encuentran los humedales artificiales, que comúnmente se utilizan en localidades rurales (menores de 2500 habitantes) o poblaciones pequeñas, bastando con una persona para implementar un humedal a nivel doméstico, mientras que para el ámbito urbano pueden implementarse en ciudades de hasta 120 mil habitantes o incluso para mayores donde el límite está determinado por la disponibilidad del terreno (IMTA, 2022).

Para garantizar que los humedales artificiales representen una ventaja por su bajo costo de construcción, operación y mantenimiento se recomienda que sean construidos en poblaciones rurales, ya que, además en comparación con otros métodos convencionales que requieren de energía eléctrica para su funcionamiento, los humedales suelen ser de menor costo (CONAGUA, 2015).

La construcción de un humedal se realiza de preferencia, en un área de terreno extensa que consiste en una membrana impermeabilizante, para evitar infiltraciones en el subsuelo (Delgadillo *et al.*, 2010), sobre la que se cultivan plantas en un medio de soporte (CONAGUA, 2015). Los humedales se utilizan para eliminar el nitrógeno total y otros contaminantes, cuya tasa de remoción está relacionada con el crecimiento de la planta (Lara, 1999).

Los humedales artificiales se clasifican en humedales de flujo superficial y humedales de flujo subsuperficial. En este caso se trabajó con un humedal experimental de flujo subsuperficial horizontal, utilizando grava compacta como medio de soporte y la especie vegetal *Typha domingensis*, ubicado en los terrenos de la planta de tratamiento de aguas residuales del Centro de Información, Arte y Cultura (CIAC) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), lo anterior con la finalidad de realizar una comparativa en las diferentes etapas de crecimiento.

Materiales y métodos

En el presente trabajo se utilizó un humedal experimental construido por tesis de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental, ubicado a un costado del clarificador de la planta de tratamiento de aguas residuales del

Centro de Información, Arte y Cultura (CIAC) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Es un humedal experimental de flujo subsuperficial horizontal diseñado con la planta macrófita *Typha domingensis* y como material de soporte utiliza grava compacta. El humedal fue diseñado y construido con un largo de 2.10 m, un ancho de 0.70 m y una profundidad 0.70 m, ingresando un gasto de diseño de 58.79 l/d (Ferreya, 2020).

Para el diseño del humedal experimental se tomó en cuenta los criterios de diseño y remoción en humedales de flujo subsuperficial proponiendo un valor de tiempo de retención hidráulico de 7 días (Quezada, 2019).

Material de soporte

Se utilizó como medio de soporte grava triturada, debido a su facilidad de obtención en los bancos de la ciudad de Morelia. En cuanto a las características físicas del material, Ferreyra (2020) menciona un coeficiente de uniformidad de 1.51, una absorción baja del 1.65%, mientras que su densidad es de 2.65 g/cm³, así como una porosidad del 0.40. De igual forma establece que la grava es el medio de soporte más aplicado en humedales artificiales seguido de la arena, además de que realizó un análisis granulométrico para conocer la distribución del tamaño de las partículas obteniendo los siguientes diámetros: D₁₀: 13.30 mm, D₆₀: 20.08 mm y un coeficiente de uniformidad de 1.51.

Análisis de parámetros de campo

Se mantuvo el suministro del agua residual del tanque de abastecimiento de manera constante en el humedal con un gasto de diseño de 58.79 l/s como lo indicó Ferreyra (2020), para el mantenimiento de *Typha domingensis*. El análisis de nitrógeno total, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura de la muestra y del ambiente, sólidos disueltos totales y salinidad se realizó en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Se realizaron tres muestreos, en tres etapas de crecimiento de *Typha domingensis* y así mismo, se obtuvieron dos muestras en frascos estériles, en el influente y efluente del humedal con el propósito de obtener parámetros de campo y posteriormente realizar la determinación de nitrógeno total.

Determinación de nitrógeno total

Se utilizó el Método de HACH TNT 827, que se caracteriza por la digestión de persulfato alcalino, las muestras analizadas se ingresan a un termoreactor DRB200 a una temperatura de 120 °C por treinta minutos y posterior-

mente, se toman las lecturas con un espectrofotómetro DR5000.

Dicha determinación está basada en los Métodos Estándar para análisis del agua y aguas residuales, aprobados por la Agencia de protección Ambiental de los E.E.U.U. (EPA) sobre las propiedades y calidad del agua.

Resultados

En la **Tabla 1** se muestran los resultados de los tres muestreos obtenidos en las diferentes etapas de crecimiento de la planta en el efluente.

El primer muestreo se realizó en el mes de marzo cuando la planta se encontraba en su etapa inicial con una altura de 2.00 m, el segundo muestreo se realizó el 8 de mayo de 2023, la planta tenía una altura de 2.60 m y se encontraba en su etapa intermedia de crecimiento y el tercer muestreo se realizó el 5 de julio de 2023, la

planta tenía una altura de 3.55 m y se encontraba en su etapa adulta de crecimiento. En la **Tabla 2** se presentan los parámetros de campo obtenidos de cada muestreo durante el crecimiento de la planta *Typha domingensis*.

En la **Figura 1** se observa la remoción de nitrógeno total de los análisis del influente y efluente del humedal en los tres muestreos. Los porcentajes de remoción del nitrógeno total se presentan en la **Tabla 3**. En la **Figura 2** se observan el porcentaje de remoción del nitrógeno total en sus tres etapas de crecimiento de la *Typha domingensis*.

Discusión

Los resultados obtenidos del análisis de laboratorio se compararon con la norma oficial mexicana para descargas de aguas municipales (NOM-001-SEMARNAT-2021), con los límites permisibles para embalses, lagos y lagunas, debido a que estos son los más riguro-

Tabla 1. Resultados de nitrógeno total (mg/l).

Muestreo	Fecha	Etapa de crecimiento de <i>Typha domingensis</i>	Parámetro (mg/l)	Influente	Efluente	NOM-001-SEMARNAT-2021 (Límites permisibles)
					Humedal 2-grava compacta	
1	30-mar-23	Inicial	Nitrógeno total	103	23.40	30
2	08-may-23	Intermedia	Nitrógeno total	94.3	28.50	30
3	05-jul-23	Adulta	Nitrógeno total	118	26.70	30

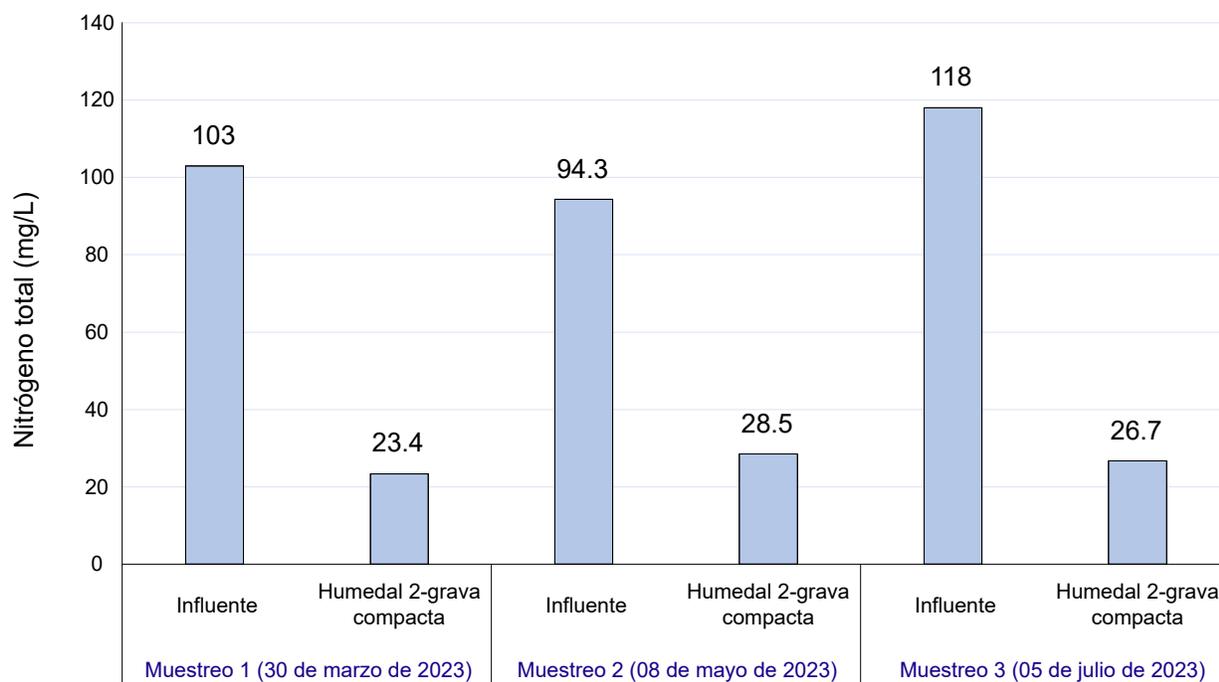


Figura 1. Remoción de nitrógeno total (mg/l).

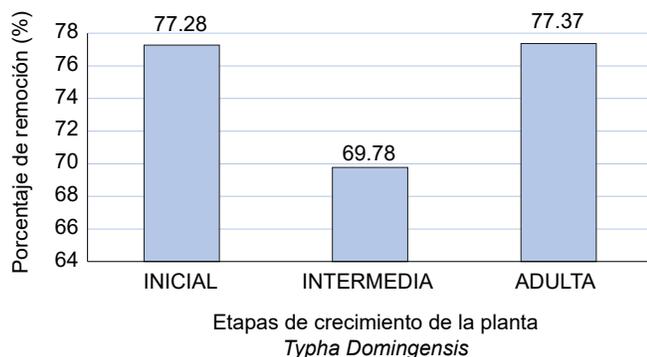
Tabla 2. Parámetros de campo.

Parámetros de campo y análisis de laboratorio	Muestreo 1 (30 de marzo de 2023)		Muestreo 2 (8 de mayo de 2023)		Muestreo 3 (5 de julio de 2023)	
	Influyente	Humedal 2-grava compacta	Influyente	Humedal 2-grava compacta	Influyente	Humedal 2-grava compacta
pH	7.80	7.20	7.20	6.30	8.30	7.20
Conductividad eléctrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	1540	1210	1817	2.01	1865	4.35
Sólidos disueltos totales (mg/l)	766	597	909	1009	934	2.27
Salinidad (%)	0.80	0.60	0.90	1.0	0.90	2.30
Temperatura de la muestra ($^{\circ}\text{C}$)	22	20	21.5	21	23	22
Temperatura del ambiente ($^{\circ}\text{C}$)	24.6	24.60	21	21	27.50	27.50
Oxígeno disuelto (mg/l)	2.20	0.10	0.20	0.10	0.20	0.20
Nitrógeno total (mg/l)	103	23.40	94.30	28.50	118.00	26.70

Tabla 3. Porcentaje de remoción de nitrógeno total de los muestreos

Análisis de laboratorio	Muestreo 1 (30 de marzo de 2023)		Muestreo 2 (8 de mayo de 2023)		Muestreo 3 (5 de julio de 2023)	
	Influyente	Humedal 2-grava compacta	Influyente	Humedal 2-grava compacta	Influyente	Humedal 2-grava compacta
Porcentaje de remoción de nitrógeno total (%)	100	77.28	100	69.78	100	77.37

sos en comparación con las otras opciones que presenta la norma. Cabe mencionar que se utilizó el valor instantáneo debido a que sólo se realizó un muestreo simple en cada una de las tres etapas de crecimiento de la *Typha domingensis*. Comparando los resultados con la norma mencionada anteriormente, se observó que los tres muestreos obtenidos en las diferentes etapas de crecimiento de la planta en el efluente cumplen con el límite

**Figura 2.** Porcentaje de remoción de nitrógeno total.

permisible de la norma.

Con relación a la remoción del nitrógeno total se observa que las plantas remueven en la etapa inicial un 77.28%, en la etapa intermedia un 69.78% y en la etapa adulta un 77.37%, indicando una capacidad efectiva para la remoción del nitrógeno total, lo que permite concluir que es viable su implementación en el tratamiento de las aguas residuales.

De acuerdo a los resultados, se concluye que se cumple con los límites permisibles establecidos en la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021. Es importante mencionar que en México no se encuentra información específica de la remoción de nitrógeno total utilizando *Typha domingensis* y como medio de soporte la grava compacta, por lo que es necesario continuar investigando al respecto.

Referencias

A. Vera MN (2007). Estudio de la relación entre el crecimiento de la macrófita *Typha dominguensis* y la remoción de nitrógeno, fósforo y materia orgánica en un humedal construido. *SciELO* 5.

Aguilera JS, García AR, Ruíz CR (2009). *Manual de Prácticas Plantas de Tratamiento de Aguas*. Morelia, Michoacán: UMSNH.

Carhuancho FM (2021). *Estudio de biomasa de distintas poblaciones de la especie Typha domingensis Pers. cultivadas en flotación*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Castro AB (2019). *Evaluación del desempeño de humedales artificiales a escala piloto en la remoción de nitrógeno y fósforo de lixiviados agrícolas*. Honduras. Recuperado el 2024, de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/67b581c2-1a93-4285-ac16-e95b40548146/content>

Castroviejo S (2007). *Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares (Vol. XVIII)*. (M. L. S. Castroviejo (Madrid), Ed.) Madrid: Real Jardín Botánico, CSIC.

CICEANA (2020). *Ciclo del Nitrógeno*. Obtenido de Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América, A. C. (CICEANA): <http://www.ciceana.org.mx>

CONAGUA (2015). *Libro 25. Introducción al tratamiento de aguas residuales municipales (Vol. 25)*. México, D.F.: SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 2022

CONAGUA (2015). *Libro 30. Diseño de PTARM: Humedales Artificiales (Vol. 30)*. México, D.F.: SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 2022, de CONAGUA.

Delgadillo O, Camacho A, Pérez LF, Andrade M (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochamba, Bolivia.

Ferreira JL (2020). *Medios de soporte alternativos para mejorar la eficiencia de los humedales artificiales de flujo subsuperficial, en el estado de Michoacán*. Morelia. Recuperado el 2023, de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/4638/FIC-M-2020-0500.pdf?sequence=1&isAllowed=y

HACH (1933). *Prueba en cubeta TNTplus para fósforo (reactivo y total), LR (0,15 - 4,50 mg/L PO₄), 25 pruebas*. Obtenido de Hach LATAM : <https://latam.hach.com/prueba-en-cubeta-tntplus-para-fosforo-reactivo-y-total-lr-0-15-4-50-mg-l-po-25-pruebas/product?id=54617177265>

HACH (1933). *Pruebas en cubeta TNTplus para nitrógeno (total), HR (5-40 mg/L N), 25 pruebas*. Obtenido de Hach LATAM: <https://latam.hach.com/pruebas-en-cubeta-tntplus-para-nitrogeno-total-hr-5-40-mg-l-n-25-pruebas/product-details?id=54617158883>

Hernández Batis JO (2016). *Las formas múltiples del nitrógeno*. Obtenido de MICROLAB INDUSTRIAL.

IMTA(2022). *¿Cómo construir un humedal para el tratamiento del agua residual en mi escuela?* México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Obtenido de <https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/ecoagua/ecoagua-humedal-tratamiento-del-agua-residual.pdf>

Lara JA (1999). *Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales, Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña-Instituto Catalán de Tecnología*. Barcelona.

Pérez NE (2021). *Colmatación de medios de soporte en humedales artificiales de flujo sub-superficial que emplean Typha Domingensis*. Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Obtenido de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/6380

Pichardo JM (13 de agosto de 2009). *CONABIO*. Obtenido de CONABIO: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/typhaceae/typha-domingensis/fichas/ficha.htm>

Quezada DV (2019). *Eficiencia de remoción de contaminantes en el agua, por medio de vegetación hidrófita disponible en el estado de Michoacán (Typha domingensis y Eleocharis densa)*. Recuperado el 2023, de http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/4635/FIC-R-M-2019-1653.pdf?sequence=1&isAllowed=y