



Evaluación vegetativa para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales “vinaza” por medio de humedales construidos

Vegetative evaluation for the treatment of agroindustrial wastewater “vinaza” through constructed wetlands

José Antonio Fernández Viveros¹, Félix David Murillo Cuevas¹, Jacel Adame García^{1*}

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Carr. Cardel-Chachalacas km 4.5, CP 91680, Úrsulo Galván, Veracruz

*jacel.ag@ugalvan.tecnm.mx

Recibido 01 de abril 2024; recibido en forma revisada 05 de junio 2024; aceptado 13 de noviembre 2024

RESUMEN

En este trabajo se evaluó el uso de cuatro variedades de plantas: *Canna indica*, *Heliconia latispatha*, *Canna discolor* y *Arundo donax*, en la depuración de vinaza proveniente de la industria alcoholera durante 10 meses de estudio, se establecieron por duplicado de unidades de humedales híbridos, cuatro tratamientos diluyendo la vinaza con agua a concentraciones del 10%, 20%, 30% y 50%. Se sembraron cuatro individuos de cada especie por humedal en sustrato de graba volcánica roja, se evaluó el desarrollo mediante la altura (cm), hojas e hijuelos y sobrevivencia por conteo (□). La vegetación de *Canna indica* fue la única que pudo adaptarse y sobrevivir, se desarrolló alrededor de 110 cm, sin embargo tuvo una mortandad casi del 40% que fue necesaria para ir la remplazando, las que sobrevivieron presentaron hijuelos adaptados y en desarrollo. La *Canna indica* puede ser utilizada en el tratamiento de la vinaza pero requiere proceso de adaptación.

Palabras Clave: Contaminación hídrica, Saneamiento, fitorremediación.

ABSTRACT

In this work, the use of four varieties of plants was evaluated: *Canna indica*, *Heliconia latispatha*, *Canna discolor* and *Arundo donax*, in the purification of vinasse from the alcohol industry during 10 months of study, hybrid wetland units were established in duplicate, four treatments diluting the vinasse with water at concentrations of 10%, 20%, 30% and 50%. Four individuals of each species were planted per wetland in a red volcanic gravel substrate. Development was evaluated by height (cm), leaves and shoots, and survival by counting (□). The *Canna indica* vegetation was the only one that could adapt and survive, it developed around 110 cm, however it had a mortality of almost 40% that had to be replaced, those that survived had adapted and developing offspring. *Canna indica* can be used in the treatment of vinasse but requires an adaptation process.

Keywords: Water pollution, Sanitation, phytoremediation.

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas junto con la Organización Mundial de la Salud (ONU-Hábitat y OMS, 2021) estima que únicamente el 20% de las aguas residuales a nivel mundial reciben algún tratamiento. En México se trata solo el 43.1 % de las aguas residuales (CONAGUA 2018) más de la mitad, sin ningún tipo de tratamiento contaminan mantos acuíferos sobre todo en países en desarrollo, (Hernández-Salazar, et al., 2018). En nuestro país, existe poco apoyo económico gubernamental (De Dios, et al., 2017) para instalar y operar un sistema de tratamiento de sus aguas residuales.

El tratamiento de las aguas residuales es indispensable para el cuidado del medio ambiente, la salud pública, el uso racional y sostenible de recursos hídricos (Huertas et al., 2013).

En las últimas décadas se están utilizando humedales artificiales o contruidos (HC) que son sistemas de tratamiento económicos y ecológicos capaces de degradar contaminantes presentes en aguas residuales domésticas, municipales y agroindustriales (Gorito et al., 2017; Sandoval et al., 2019), entre otros tipos de aguas contaminadas. En

los HC el agua residual confinada es tratada, con vegetación resistente a los contaminantes (Shen et al., 2019) generalmente arraigada a un sustrato (medio filtrante) que junto con los microorganismos coadyuvan en la remoción mediante procesos físicos, químicos y biológicos, todos interactuando de manera simultánea, contribuyendo a depuración (Zhang et al., 2014); estas tecnologías de tratamiento son atractivas debido a que son simples, fáciles de construir, operar y mantener con bajos costos comparados con los métodos tradicionales (Jamieson et. al., 2007) y que su reutilización puede servir para diferentes fines o servicios donde no se requiere que la calidad del agua sea potable; por ejemplo, el uso agrícola mejorando la producción económica (Jaramillo y Restrepo, 2017).

Un componente crucial de los humedales es la vegetación debido a los aportes que esta tienen al generar microambientes para facilitar la proliferación de consorcios bacterianos, la retención de sólidos, la absorción de contaminantes y nutrimentos como el nitrógeno y fósforo ya que las plantas lo requieren para su desarrollo, por otro lado

las plantas ornamentales por su floración favorecen el paisaje (Sandoval et al., 2019).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar cuatro especies vegetativas en el tratamiento de aguas residuales de la fabricación de alcohol, específicamente vinaza.

METODOLOGÍA

Este estudio se llevó a cabo en las instalaciones del Tecnológico Nacional de México del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, en las coordenadas 19°24'43"N y 96°21'31"W, en el municipio y localidad de Úrsulo Galván, Veracruz, con un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura oscila entre 24 y 36 °C y una precipitación entre 1100 y 1300 mm (Sectur, 2024; Nuestro Mpio., 2024).

El Humedal Construido híbrido se elaboró a la intemperie a escala mesocosmo (Figura 1), el cual consta de una combinación de dos secciones correspondiente a un humedal vertical de flujo libre "A" conectada a un humedal horizontal parcialmente saturado y de flujo subsuperficial "B", ambos diseñados de cemento con dimensiones: a) 50 cm x 50 cm de ancho y 1 m de altura y b) 50 de ancho, 50

cm de alto y 3 m de largo. Se componen de: a) Sustrato de piedra volcánica roja; b) vegetación que corresponde a las especies de *Canna indica*, *Heliconia latispatha*, *Canna discolor* y *Arundo donax* y c) la vinaza como agua residual.

Se utilizó una planta de cada especie en la sección vertical de los humedales y cuatro individuos de cada especie por sección horizontal del humedal, las cuales fueron aclimatadas aplicando vinaza diluida con agua, al 2% posteriormente con incrementos al 5%, 8% y 10 % cada 15 días durante dos meses previos. Se evaluaron cuatro tratamientos de vinaza a concentraciones T1 10%, T2 20%, T3 30% y T4 50% todas diluidas con agua. Los tratamientos se montaron por duplicado todos conteniendo las mismas plantas. El estudio comprendió un total de 10 meses posteriores a la adaptación, aplicando 60 L de vinaza por cada tratamiento (T1 a T4) cada 24 h de manera manual a cada uno de los sistemas verticales que a su vez alimentan al humedal horizontal que cuenta con una salida.

Se evaluó la altura vegetativa (cm) con un flexómetro a partir de la base (grava), para las hojas,

hijuelos y sobrevivencia por conteo directo y se calculó promedio (\bar{X}).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el periodo de evaluación de septiembre 2023 a junio 2024 la temperatura ambiental fluctuó entre los 18°C y 34°C, sus valores máximos en junio, estas temperaturas son óptimas para el desarrollo de las plantas y de los microorganismos en humedales (Gorito et al., 2017; Wang et al., 2019; Avellán y Gremillion, 2019) y en zonas tropicales y subtropicales se presenta mayor tiempo de horas luz solar que provocan mayor estimulación (Sandoval, et al., 2019), que permite el uso de plantas ornamentales sin comprometer los procesos de bio-remediación (Zurita et al., 2008; Zurita et al., 2009; Marín-M. et al., 2018), a pesar de estas ventajas durante el proceso de adaptación debido a la acidez y agresividad de la vinaza las plantas *Heliconia latispatha*, *Canna discolor* y *Arundo donax* en la adaptación al 2% presentaron señales de estrés y al incremento al 8% de vinaza perecieron en su totalidad y la *Heliconia latispatha* al 10% también sucumbió en su totalidad manteniéndose la *Canna indica* saludable (Figura 1), por lo que se continuó

únicamente con esta especie resembrando hasta tener diez plantas por humedal horizontal y dos plantas por humedal vertical para todos los tratamientos.

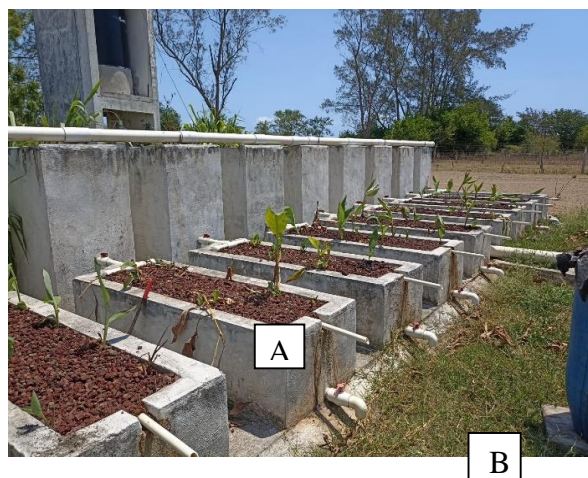


Figura 1. Humedal Construido

Durante el estudio, la *Canna indica* logró una altura máxima de 121 cm y promedio de 84.25 cm (Tabla 1), una producción promedio de hijuelos de 2-3 un total de 4 a 6 hojas. 7

Tabla 1. Desarrollo Vegetativo de *Canna indica* por tratamiento

Planta	<i>Canna indica</i>			
	T1 10%	T2 20%	T3 30%	T4 50%
Número individuos por tratamiento				
Madre	10	10	10	10
Hijos □	3-5	3-5	1-3	0-2
Crecimiento Máximo □	100	112	83	42
No. Hojas □	4-6	3-5	1-4	1-2

Las plantas se adaptaron y desarrollaron vigorosamente en los primeros siete meses con floración e hijuelos (Figura 2). En los meses de abril a junio donde las temperaturas fueron más altas, en las concentraciones de T3 30% y T4 50% de vinaza que fueron las de mayor concentración, se presentaron decesos hasta del 60% mismas que se remplazaron con nueva vegetación.

A estas no se realizó el proceso de adaptación y también presentaron estrés excesivo y la muerte por lo nuevamente se resembró, repitiendo los mismos sucesos hasta finalizar el estudio, la vegetación que prevaleció no se desarrolló adecuadamente, pese a ello, algunas lograron descendencia con mayor tolerancia a la vinaza.

Esto debido a que se relacionan factores como la concentración de vinaza en el tratamiento T3 y T4 que fueron los más altos, por ende, afectó el pH ya que la vinaza presenta 4.8 sin diluir, aunado a los meses de mayo y junio que fueron los más calurosos, las vinazas de la destilería presentaron fluctuaciones (concentrada y espesas) conteniendo mayor materia orgánica y sólidos. Otro estudio similar por López et al., (2015) bajo un sistema controlado ajustaron el

pH de la vinaza a valores neutros, con vegetación de *Canna Indica* que desarrolló un tamaño promedio de 31.5 cm mucho menor al de este trabajo y en la entrada del humedal la vegetación con mayor estrés, el cual coincide por las altas concentraciones de materia orgánica en el suministro de agua que afectaron su desarrollo y crecimiento.

Otro estudio realizado donde evaluaron la resistencia de cuatro especies *Canna indica*, *Cyperus papyrus*, *Iris sibirica* y *Typha latifolia* en vinaza tequilera diluidas con aguas residuales domésticas en microcosmos de humedal (Tejeda et al., 2022), mostraron síntomas de estrés y su máxima concentración fue al 15%; en nuestro caso al 50%. Otro estudio también de vinaza tequilera, Zurita et al., (2023) demostró comparando sistemas con y sin vegetación que éstos últimos son efectivos en la remoción de los diferentes contaminantes y en algunos casos esta diferencia fue significativa por lo que la vegetación aún con las dificultades de adaptación o sobrevivencia sigue siendo un potencial para la remediación.



Figura 2. Desarrollo Vegetativo

CONCLUSIONES

Los sistemas de humedales construidos han demostrado ser eficientes en muchos tipos de aguas residuales donde la vegetación es fundamental para que se realicen los procesos de depuración gracias a la interacción de planta con el sustrato y el consorcio microbiológico.

La vinaza debido a su complejidad debe ser diluida a concentración máxima del 50% y la vegetación se debe adaptar con tiempo y con incrementos paulatinos de la vinaza para que pueda sobrevivir en el humedal construido.

De las cuatro especies vegetales evaluadas la *Canna indica*, fue la única que logró establecerse en distintas concentraciones de vinaza con una

sobrevivencia del 60% en la concentración más alta (50%).

BIBLIOGRAFÍA

Avellán, T., & Gremillion, P. (2019). Constructed wetlands for resource recovery in developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 99, 42-57.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118306725>

Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2018). Aguas residuales y contaminación en México. <https://agua.org.mx/actualidad/aguas-residuales-contaminacion-en-mexico/>

De Dios, M. A. T., & Sanginés, M. L. G. (2017). Estrategias empresariales en un micronegocio del giro mecánico-automotriz en Guanajuato. *Jóvenes en la Ciencia*, 3(2), 1354-1359. <http://www.repositorio.ugto.mx/bitstream/20.500.12059/4567/1/Estrategias%20empresarial%20es%20un%20micronegocio%20del%20giro%20mec%C3%A1nicos-automotriz%20en%20Guanajuato.pdf>

- Gorito, A. M., Ribeiro, A. R., Almeida, C. M. R., & Silva, A. M. (2017). A review on the application of constructed wetlands for the removal of priority substances and contaminants of emerging concern listed in recently launched EU legislation. *Environmental Pollution*, 227. 428-443. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749116320383>
- Hernández-Salazar, A. B., Moreno-Seceña, J. C., & Sandoval-Herazo, L. C. (2018). Tratamiento de aguas residuales industriales en México: Una aproximación a su situación actual y retos por atender. *RINDERESU*, 2(1-2), 75-87.
- Huertas, R., Marcos, C., Ibarguren, N., & Ordás, S. (2013). *Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. <https://www.diputaciondepalencia.es/system/files/generico/archivos/20190709/guiapractica-depuracionaguas-chd.pdf>
- Jamieson, R., Gordon, R., Wheeler, N., Smith, E., Stratton, G., & Madani, A. (2007). Determination of first order rate constants for wetlands treating livestock wastewater in cold climates. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 6(1), 65-72.
- Jaramillo, M. F., & Restrepo, I. (2017). Wastewater reuse in agriculture: A review about its limitations and benefits. *Sustainability*, 9(10), 1734. <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/10/1734>
- López, A., López, A., & León, E. (2015). Assessment of organic matter removal during the treatment of stillage in a constructed wetland using *Canna indica*, 118-120. Guadalajara, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Marín-Muñiz, J. L., García-González, M. C., Ruelas-Monjardín, L. C., & Moreno-Casasola, P. (2018). Influence of different porous media and ornamental vegetation on wastewater pollutant removal in vertical subsurface flow wetland microcosms. *Environmental Engineering Science*, 35(2), 88-94. <https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/ees.2017.0061>

Nuestro Municipio. (2024). *H. Ayuntamiento de Úrsulo Galván*. <http://ursulogalvan.gob.mx/nuestro-municipio/>

ONU-Hábitat & OMS. (2021). Progresos en el tratamiento de las aguas residuales. Estado mundial y necesidades de aceleración del indicador 6.3.1. de los ODS. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) y Organización Mundial de la Salud (OMS), Ginebra. https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/10/sdg6_indicator_report_631_progress-on-wastewater-treatment_2021_es.pdf

Sandoval, L., Marín-Muñiz, J. L., Zamora-Castro, S. A., Sandoval-Salas, F., & Alvarado-Lassman, A. (2019). Evaluation of wastewater treatment by microcosms of vertical subsurface wetlands in partially saturated conditions planted with ornamental plants and filled with mineral and plastic substrates. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(2), 167. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30634405/>

Secretaría de Turismo y Cultura (SECTUR) del Gobierno del Estado de Veracruz. (2020). <https://veracruz.mx/destino.php?Municipio=191>

Shen, Y., Zhuang, L., Zhang, J., Fan, J., Yang, T., & Sun, S. (2019). A study of ferric-carbon micro-electrolysis process to enhance nitrogen and phosphorus removal efficiency in subsurface flow constructed wetlands. *Chemical Engineering Journal*, *359*, 706-712.

Tejeda, A., Valencia-Botín, A. J., & Zurita, F. (2022). Resistance evaluation of *Canna indica*, *Cyperus papyrus*, *Iris sibirica*, and *Typha latifolia* to phytotoxic characteristics of diluted tequila vinasses in wetland microcosms. *International Journal of Phytoremediation*, *25*(10), 1259-1268.

Wang, Y., Yin, T., Kelly, B. C., & Gin, K. Y. H. (2019). Bioaccumulation behaviour of pharmaceuticals and personal care products in a constructed wetland. *Chemosphere*.

Zhang, D., Gersberg, R. M., Ng, W. J., & Tan, S. K. (2014). Removal of pharmaceuticals and personal care products in aquatic plant-based

- systems: A review. *Environmental Pollution*, 184, 620-639.
- Zurita, F., Belmont, M. A., De Anda, J., & Cervantes-Martínez, J. (2008). Stress detection by laser-induced fluorescence in *Zantedeschia aethiopica* planted in subsurface-flow treatment wetlands. *Ecological Engineering*, 33(2), 110-118.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857408000347>
- Zurita, F., De Anda, J., & Belmont, M. A. (2009). Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 35(5), 861-869.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857409000111>
- Zurita, F., Ramírez-Ramírez, A., & Tejeda, A. (2023). Tratamiento de vinazas tequileras en humedales verticales de flujo descendente a escala piloto. In *VI Conferencia Panamericana. Sistemas de humedales para el tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua*. Universidad del Cauca.
https://hupanam.com/wp-content/uploads/2024/02/Memorias-Conf-Hupanam-2023_compressed.pdf