

Tratamiento de aguas residuales domésticas por medio de humedales construidos híbridos en Yucatán

Hybrid constructed wetlands for domestic wastewater treatment in Yucatan, Mexico

Marco A. Hernández Cardona ^{1*}, Marisela I. Vega De Lille ¹, German Giácoman Vallejos ¹, Carlos A. Quintal Franco y María del Carmen Ponce Caballero¹

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Av. Industrias No Contaminantes por Anillo Periférico Norte, s/n, Mérida, Yucatán, México

*Tel. +52 (999)3223671 Email: marcohdzc92@hotmail.com

Palabras clave: Agua residual doméstica, Biorremediación, Humedales construidos híbridos, tanque séptico

Keywords: bioremediation, domestic wastewater, hybrid constructed wetlands, septic tank

INTRODUCCIÓN

En el estado de Yucatán, se obtiene el agua necesaria para realizar todo tipo de actividades del acuífero. Sin embargo, las características geológicas de la región (como el subsuelo cárstico y la alta permeabilidad) permiten que los contaminantes penetren fácilmente en el acuífero. Una de las mayores fuentes de contaminación de origen antropogénico ha sido el tratamiento inadecuado de las aguas residuales domésticas, ya que muy pocas viviendas cuentan con algún sistema de tratamiento pertinente, por lo que dichas descargas se hacen a través de sistemas como fosas sépticas (40% de las viviendas registradas) o pozos profundos (55.4%) directamente hacia el acuífero (SEDUMA, 2014). El sistema de fosas sépticas es insuficiente ya que representa solamente un tratamiento primario, aunado a un pobre diseño e ineficiente mantenimiento del mismo (Novelo, 2007).

De ahí surge la necesidad de buscar nuevos procesos de tratamiento de aguas residuales que causen un menor impacto ambiental, y que logren la eliminación de contaminantes de manera efectiva y económica. Los humedales construidos son sistemas de fitodepuración de aguas residuales que consisten en el desarrollo de un cultivo de plantas macrófitas enraizadas sobre un lecho de un sustrato impermeabilizado. La acción de estas plantas produce una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de los cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente (Delgadillo et al. 2010). Este método de

tratamiento se ha aplicado con éxito para distintos tipos de residuos como aguas residuales domésticas, industriales, lixiviados, metales pesados, hidrocarburos, entre otros.

Si bien se han estudiado humedales híbridos en el país (Torres et al., 2014) en Yucatán solo existen estudios de este tipo para humedales construidos de tipo horizontal y para aguas residuales porcícolas (Tapia et al., 2009) y no se ha aplicado algún sistema híbrido que combine dos tipos de humedales (horizontal y vertical) para alcanzar una mayor eficiencia. Para ello, en este estudio se implementó un sistema de humedales construidos híbridos como forma de tratamiento para aguas residuales domésticas, que complemente el proceso de disposición a través de fosas sépticas, y se evaluó su desempeño en la remoción de materia orgánica, nutrientes (fósforo y especies nitrogenadas), sólidos y patógenos.

METODOLOGÍA

El sistema se construyó en la antigua Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) San Carlos, propiedad de la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán (JAPAY), en la ciudad de Mérida, Yucatán. Se compone, como se muestra en la Fig.1, de un tanque séptico de 1100 L, que se alimenta con el agua residual cruda del cárcamo de la planta, y que a su vez alimenta 3 sistemas de humedales construidos híbridos, cada uno compuesto por un humedal horizontal (1.5 x 0.4 x 0.4m) con sustrato de grava (tamaño entre 5 y 20 mm) y rocas (tamaño entre 40 y 80 mm), un humedal vertical (0.6 x 0.4 x 0.7m) con sustrato de gravilla (tamaño entre 2 y 5 mm), grava (5 a 20 mm) y arena en distintos estratos y un contenedor de plástico de 200 L para recolectar el efluente. En cuanto a la vegetación utilizada, el primer sistema contiene la especie *Sagittaria lancifolia* (endémica de la región y que no ha sido utilizada en humedales construidos), el segundo sistema la especie *Typha dominguensis*, seleccionada por su probada eficiencia en sistemas de humedales construidos (Vymazal, 2013), y el último se mantuvo sin plantas para ser utilizado como control. Cada etapa de los 3 sistemas contó con válvulas para la toma de muestras para su análisis.

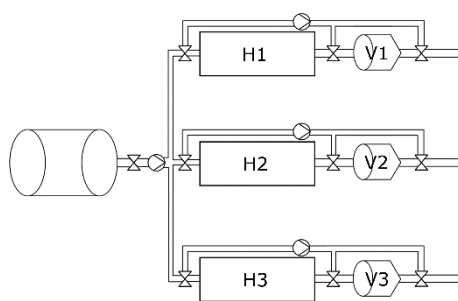


Fig. 1 Esquema del sistema de humedales construidos

En una primera etapa, en una campaña de 3 muestreos compuestos, se caracterizó el agua residual del fraccionamiento para analizar las concentraciones de entrada al sistema de los parámetros Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅), Nitrógeno Kjeldahl Total (NKT), Nitrógeno Amoniacal (N-NH₄), Nitratos (N-NO₃),

Fósforo Total (FT), Sólidos Suspendedos Totales (SST), Coliformes Totales (CT) y *E. coli*. A su vez, se realizó un proceso de aclimatación de las especies vegetales a los humedales durante un mes, el cual consistió en alimentar el sistema gradualmente de agua residual (comenzando con una mezcla de 25% agua residual y 75% agua potable, e incrementando 25% de agua residual cada semana hasta alcanzar el 100%).

Una vez aclimatado el sistema, se procedió a operar el sistema de manera secuencial (llenado, reacción y vaciado), en dos campañas: la primera con un tiempo de contacto de 2 días (10 ciclos aplicados) y la segunda de 4 días (13 ciclos aplicados). También se analizó la aclimatación de las plantas al humedal registrando su crecimiento (midiendo desde la base del humedal a la punta de la planta cada mes) y el porcentaje de cobertura con el software CobCal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ambas especies se aclimataron de manera satisfactoria al sistema, ya que la especie *Sagittaria lancifolia* incrementó su altura en un 81.21% y 187.67% y la *Typha dominguensis* en un 143.33% y 214.62% en los humedales horizontales y verticales respectivamente, con respecto a la altura inicial entre los meses de marzo y mayo. A su vez la especie *Sagittaria lancifolia* llegó a cubrir el 90.8% y 77% y la especie *Typha dominguensis* el 87.90% y 96% de los humedales horizontales y verticales respectivamente en el mismo período. La aclimatación de las plantas fue posible debido a las concentraciones adecuadas de materia orgánica y nutrientes presentes en el agua residual.

En cuanto al funcionamiento del tanque séptico del sistema, se comprobó su función de pretratamiento (como el de las fosas sépticas en los hogares), ya que se removió el 77% y 73% del DQO y DBO₅, pero sin lograr concentraciones adecuadas para descarga al acuífero. Los SST se removieron de manera satisfactoria (87% de la concentración de entrada) y no hubo remoción significativa de patógenos y nutrientes.

La materia orgánica (medida como DQO y DBO₅) fue efectivamente removida del agua residual en los 3 sistemas de humedales híbridos y para ambos tiempos de contacto, alcanzando porcentajes de remoción mayores al 90% para ambos parámetros. La degradación de materia orgánica en los sistemas de humedales híbridos se da por varios procesos como los fisicoquímicos (sedimentación, filtración), así como procesos biológicos (procesos microbiológicos aerobios y anaerobios, consumo de las plantas) (United Nations, 2008). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas para la remoción de DQO y DBO₅ entre humedales ni entre tiempos de contacto.

Para especies nitrogenadas, se encontró remoción mayor al 90% de NKT y N-NH₄ para los 3 sistemas humedales y en ambos tiempos de contacto. Sin embargo, hubo incremento de la concentración de Nitratos (N-NO₃) en los 3 humedales y ambos tiempos de contacto, teniendo concentraciones más altas en el humedal de control. El nitrógeno en los humedales se remueve de igual manera por procesos fisicoquímicos y biológicos, siendo el ciclo del nitrógeno el proceso de mayor influencia en la remoción de estos contaminantes del agua residual. El incremento en la concentración de nitratos se explica debido a que en el humedal vertical se da una nitrificación total (conversión del nitrógeno amoniacal a nitratos), pero

debido a las condiciones aeróbicas del mismo sólo se da una denitrificación parcial. También se logró una adecuada remoción de Fósforo Total (FT) con mejores resultados a 4 días para los humedales con plantas (87.65% y 87.85% para *Sagittaria lancifolia* y *Typha dominguensis*) que en el humedal de control (75.14%). El Fósforo se remueve en mayor medida en humedales por procesos fisicoquímicos como la sedimentación y filtración, así como la asimilación de sus compuestos por las especies vegetales para su crecimiento. Los SST se removieron de manera efectiva en los 3 sistemas y en ambos tiempos de contacto, con porcentajes mayores al 95%. En cuanto a los patógenos, se da una excelente desinfección ya que en los 3 sistemas y para ambos tiempos de contacto hubo remociones mayores a 4.2 log UFC/100mL de CT y 4.09 log UFC/100mL de *E. coli* (remoción de más del 99.99% de la concentración de entrada). Ambos resultados (sólidos y patógenos) se logran alcanzar debido a la capacidad filtrante del sustrato utilizado.

CONCLUSIONES

Los 3 sistemas de humedales construidos híbridos implementados fueron muy efectivos para remover materia orgánica (DQO y DBO5), nutrientes (NKT, N-NH4 y FT), sólidos (SST) y patógenos (CT y *E. coli*). No hubo diferencias significativas entre los humedales excepto en la concentración de N-NO3, la cual fue mayor en el humedal de control que en los plantados, lo que refleja la influencia de las plantas en la degradación de estos contaminantes y sugiere la futura implementación de estrategias para remover completamente este compuesto. La especie *Sagittaria lancifolia* no se había utilizado en humedales construidos y probó ser muy adecuada para su utilización dentro de estos sistemas.

REFERENCIAS

- Delgadillo, O., Camacho, A., Luis, P., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba, Bolivia: UMSS.
- Novelo, R. M. (2007). Determinación de la tasa de acumulación de lodos en fosas de la ciudad de Mérida, Yucatán. *Ingeniería*, 55-64.
- SEDUMA. (2014). Tipo de tratamiento de aguas negras. Mérida: Gobierno del Estado de Yucatán.
- Tapia González, F., Giacoman Vallejos, G., Herrera Silveira, J., Quintal Franco, C., García, J., & Puigagut, J. (2009). Treatment of swine wastewater with subsurface-flow constructed wetlands in Yucatán, México: Influence of Plant Species and Contact Time. *Water SA*, 1816-7950.
- Torres Bojorques, Á., Hernández Razo, N., Fausto Urquieta, A., & Zurita Martínez, F. (2014). Evaluación de tres sistemas de humedales híbridos a escala piloto para la remoción de nitrógeno. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 37-47.
- Vymazal, Jan (2013) Emergent plants used in free water surface constructed wetlands: A review, *Ecological Engineering*, Volume 61, Part B, Pages 582-59