

HUMEDALES HÍBRIDOS PARA EL TRATAMIENTO FINAL DE EFLUENTES LÁCTEOS: DINÁMICA DE COMPUESTOS NITROGENADOS

Nocetti, Emanuel¹.

¹Instituto de Química Aplicada del Litoral (IQAL, CONICET-UNL)

Directora: Maine, M. Alejandra.
Codirector: Hadad, Hernán R.

Área: Ingeniería

Palabras claves: Humedales construidos, nitrificación, desnitrificación.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Santa Fe se sitúa en la región denominada cuenca lechera, la cual se caracteriza por presentar una gran concentración de industrias lácteas. Por esta razón, llevar a cabo un tratamiento adecuado de sus efluentes adquiere interés. Típicamente, los efluentes lácteos muestran en su composición elevadas concentraciones de compuestos nitrogenados, además de materia orgánica y fósforo (Wood et al., 2007).

Los métodos de tratamiento convencionales, a menudo son poco eficientes en la remoción de nutrientes y conducen a la descarga descontrolada, fomentando la eutrofización del cuerpo de agua receptor. Se propone a los Humedales Construidos (HC) como una alternativa de tratamiento secundario o terciario. Los HC son sistemas de ingeniería basados en procesos que ocurren en los humedales naturales para llevar a cabo el tratamiento de diversos efluentes (Kadlec y Wallace, 2009). Los sistemas de Humedales Híbridos (HH) combinan diferentes tipos de HC, logrando que las ventajas de cada uno se complementen entre sí, para maximizar la eficiencia del tratamiento (Vymazal, 2013; Maine et al., 2019). Los sistemas de HH compuestos por Humedales de Flujo subsuperficial Vertical (HFV) y Humedales de Flujo subsuperficial Horizontal (HFH) han demostrado ser eficientes, especialmente para la eliminación de compuestos nitrogenados. En un sistema de HH compuesto por HFV y un HFH, el primero proporciona las condiciones requeridas para la nitrificación, mientras que el segundo las condiciones para la desnitrificación (Vymazal y Kröpfelová, 2015).

La eficiencia de los HC para la depuración del efluente de una industria láctea local fue comprobada en un estudio de invernadero a escala microcosmos (Nocetti et al., 2020). Recientemente, se realizó un cambio de escala construyendo un sistema de HH en el predio de la industria para evaluar el rendimiento del sistema en condiciones de operación reales en cuanto a régimen de flujo y variación de la calidad del efluente. Este trabajo se enfocó en la eliminación de compuestos nitrogenados.

Título del proyecto: DINAMICA DE CONTAMINANTES EN WETLANDS CONSTRUIDOS PARA TRATAMIENTO DE EFLUENTES

Instrumento: PICT

Año convocatoria: 2015

Organismo financiador: Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica

Director/a: Maine, María Alejandra.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de un sistema de HH construido a escala piloto para la eliminación de compuestos nitrogenados de un efluente lácteo.

METODOLOGÍA

Se construyó un sistema de HH a escala piloto para tratar los efluentes de una industria láctea. El caudal medio de diseño es de $0,170 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ con un tiempo de residencia hidráulico de 7 días. El sistema HH se encuentra formado por una etapa de 3 unidades de HFVs seguida de una etapa de HFH (Figura 1). De acuerdo a un estudio previo (Nocetti et al., 2020), los HFVs y el HFH se rellenaron con arena gruesa y canto rodado como sustrato, respectivamente, y se plantaron con ejemplares de *Typha domingensis* (6 individuos m^{-2}).

El sistema HH es alimentado con efluente previamente tratado por un DAF y una laguna aireada por lo que presenta bajo contenido de sólidos, grasas y una reducción en la materia orgánica. A partir de este punto, los compuestos nitrogenados mayoritarios son nitrógeno orgánico y NH_4^+ . Los HFVs son alimentados alternadamente por pulsos y drenados lentamente por gravedad. El efluente es conducido a la segunda etapa de HFH, donde ingresan con un régimen continuo con caudal medio de diseño.

El sistema HH fue operado durante tres meses (02/2021 - 04/2021). Se tomaron muestras semanalmente con un total de 12 muestreos realizados. En cada muestreo se recolectaron muestras del efluente en tres puntos del sistema: ingreso HFV, salida HFV y salida HFH. En todas las muestras se determinó demanda química de oxígeno (DQO), fósforo total (PT), nitrógeno total Kjeldahl (NTK), NH_4^+ y NO_3^- (APHA, 2012). Las concentraciones de nitrógeno orgánico (N-Org) y nitrógeno total (NT) fueron estimadas como $\text{N-Org} = \text{NTK} - \text{N-NH}_4^+$ y $\text{NT} = \text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^- + \text{N-Org}$. Para evaluar el rendimiento del sistema se determinó la eficiencia de remoción de N-NH_4^+ , N-NO_3^- , N-Org y NT en cada etapa del tratamiento utilizando la ecuación 1:

$$R = \frac{C_i - C_s}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

donde R es la eficiencia de remoción (%), y C_i y C_s indican las concentraciones del contaminante en el ingreso y la salida de cada etapa del HH (mg L^{-1}), respectivamente. Se realizó análisis de la varianza para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de los contaminantes entre los diferentes puntos muestreados en el sistema HH.

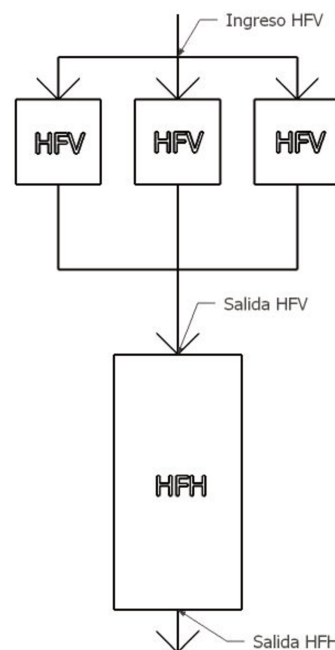


Figura 1: Sistema de humedales híbrido. HFV: humedal de flujo vertical. HFH: humedal de flujo horizontal.

RESULTADOS

La DQO y la concentración media de PT en ingreso HFV/salida HFV/salida HFH fueron de 618,5/301,1/102,5 mg O₂ L⁻¹ y 30,0/17,9/9,8 mg P L⁻¹, respectivamente, mostrando una disminución significativa en ambas etapas del sistema HH.

La Figura 2 muestra las concentraciones medias (mg N L⁻¹) de N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N-Org y NT en ingreso HFV, salida HFV y salida HFH. La concentración de N-NH₄⁺ a la salida del HFV fue significativamente inferior a la concentración de ingreso, con una remoción del 52,6 %. La concentración media de N-NO₃⁻ a la salida del HFV mostró un incremento significativo respecto a la concentración al ingreso del HFV. La disminución de N-NH₄⁺ junto con el incremento de N-NO₃⁻ a la salida del HFV sugieren la ocurrencia del proceso de nitrificación en la etapa HFV (Lee et al., 2009). En la segunda etapa (HFH) se observa una disminución significativa de N-NO₃⁻, con una remoción del 91,1 %, lo cual indica la ocurrencia del proceso de desnitrificación. Adicionalmente, las concentraciones de N-Org y NT disminuyeron significativamente en la segunda etapa del sistema, no así la concentración de N-NH₄⁺. La concentración de N-Org disminuye por mineralización, siendo la misma el proceso en el que el N-Org es convertido biológicamente en amonio y luego es removido por los procesos de nitrificación-desnitrificación (Lee et al., 2009). Las eficiencias de remoción de N-Org y NT en la etapa HFH fueron de 78,4 % y 63,1 %, respectivamente.

La eficiencia de remoción de NT del sistema híbrido fue de 69,2 %. En términos generales, la concentración de NT no tuvo una disminución significativa en los HFVs pero si luego de atravesar el HFH. Estos resultados reflejan la importancia de la presencia de la primera etapa de HFV en el sistema HH para el tratamiento de los efluentes lácteos. A pesar de que la etapa HFV no disminuye significativamente la concentración de NT, incrementa la concentración de N-NO₃⁻ por nitrificación que luego es factible de ser removido por desnitrificación en la etapa subsecuente de HFH. En concordancia con nuestros resultados, Comino et al. (2011) y Pelissari et al. (2014), quienes evaluaron sistemas HH para el tratamiento de efluentes de queserías, concluyeron que la nitrificación es el principal mecanismo de remoción de NH₄⁺ en HFV por su condición aeróbica, y que la desnitrificación producida en el HFH mejora la remoción de NT en el sistema.

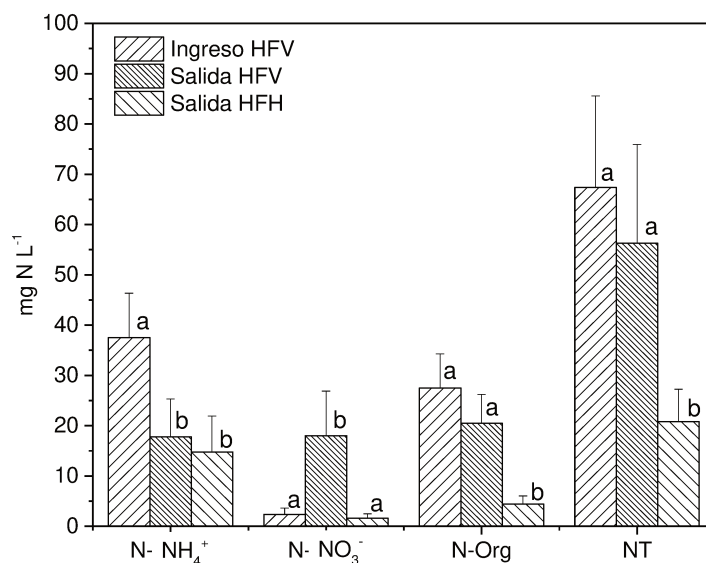


Figura 2: Concentraciones medias de NH₄⁺, NO₃⁻, N-Org y NT (mg N L⁻¹) en ingreso HFV, salida HFV y salida HFH. Diferentes letras representan diferencias estadísticamente significativas para la concentración de los compuestos nitrogenados en cada etapa del sistema HH.

CONCLUSIONES

El sistema HH construido a escala piloto en el predio de una industria láctea mostró eficiencia y robustez en la depuración del efluente. Tanto la DQO como la concentración de PT disminuyeron significativamente en cada etapa del sistema. Los compuestos nitrogenados tuvieron una disminución satisfactoria en el sistema HH. Si bien la remoción de NT no fue significativa en la etapa HFV, se produjo la nitrificación del efluente debido a las condiciones imperantes en el sistema. La etapa HFH mostró una disminución significativa de la concentración de nitrógeno orgánico debido a la mineralización y de la concentración de NT, por desnitrificación. La eficiencia de remoción de NT del sistema híbrido fue próxima al 70 %. Las eficiencias de remoción alcanzadas por el sistema permiten concluir que es factible aplicar un HH para el tratamiento de efluentes de estas características. Se espera continuar con las investigaciones para aplicar medidas de manejo con el fin de mantener estos valores a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- APHA**, 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. New York: American Public Health Association.
- Comino, E., Riggio, V., y Rosso, M.**, 2011. Mountain cheese factory wastewater treatment with the use of a hybrid constructed wetland. *Ecol. Eng.*, 37, 1673–1680.
- Kadlec, R.H. y Wallace, S.D.**, 2009. Treatment wetlands. 2nd edn. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Lee, C. G., Fletcher, T. D. y Sun, G.**, 2009. Nitrogen removal in constructed wetland systems. *Eng. Life Sci*, 9(1), 11–22.
- Maine, M. A., Sanchez, G. C., Hadad, H. R., Caffaratti, S. E., Pedro, M. C., Mufarrege, M. M. y Di Luca, G. A.**, 2019. Hybrid constructed wetlands for the treatment of wastewater from a fertilizer manufacturing plant: Microcosms and field scale experiments. *Sci. Total Environ.*, 650, 297–302.
- Nocetti, E., Maine, M. A., Hadad, H. R., Mufarrege, M. M., Di Luca, G. A. y Sanchez, G. C.**, 2020. Selection of macrophytes and substrates to be used in horizontal subsurface flow wetlands for the treatment of a cheese factory wastewater. *Sci. Tot. Environ.*, 745, 141100.
- Pelissari, C., Sezerino, P. H., Decezaro, S. T., Wolff, D. B., Bento, A. P., Junior, O. de C. y Philippi, L. S.**, 2014. Nitrogen transformation in horizontal and vertical flow constructed wetlands applied for dairy cattle wastewater treatment in southern Brazil. *Ecol. Eng.*, 73, 307–310.
- Vymazal, J. y Kröpfelová, L.**, 2015. Multistage hybrid constructed wetland for enhanced removal of nitrogen. *Ecol. Eng.*, 84, 202–208.
- Vymazal, J.**, 2013. The use of the hybrid constructed wetland for wastewater treatment with special attention to nitrogen removal: a review of a recent development. *Water Res.*, 47, 4795-4811.
- Wood, J., Fernandez, G., Barker, A., Gregory, J. y Cumby, T.**, 2007. Efficiency of reed beds in treating dairy wastewater. *Biosyst. Eng.*, 98, 455 – 469.