

EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE HUMEDALES CONSTRUIDOS VERTICALES A ESCALA PILOTO: INNOVACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA UNA GESTIÓN URBANA SOSTENIBLE

Saveika C.⁽¹⁾, Gomez B. M.⁽¹⁾, Larrandart S.⁽¹⁾, Quinteros M.⁽¹⁾, Cherny F.⁽¹⁾, Sinistro R.⁽²⁾ y Graziano M.⁽²⁾

(1) Laboratorio Experimental de Tecnologías Sustentables, Subgerencia Centro de Tecnología del Uso del Agua, Instituto Nacional del Agua, Argentina.

(2) Laboratorio de Limnología, Instituto de Ecología, Genética y Evolución de Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina

E-mail: bmgoz.ina@gmail.com

Introducción

Las ciudades enfrentan grandes desafíos en cuanto a la gestión del agua, especialmente en barrios donde la infraestructura sanitaria es deficiente o nula. En estos, las aguas pluviales se mezclan con las aguas grises de las viviendas. En el caso del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), se estima que las aguas residuales de más de cinco millones de personas se vierten en ríos y arroyos sin ningún tipo de tratamiento (Cirelli y Ojeda 2008; Öberg et al. 2014). Como resultado, los arroyos urbanos de las cuencas del AMBA tienen una mala calidad de agua, con alto contenido de materia orgánica, nutrientes y contaminación microbiológica evidenciando la necesidad de abordajes alternativos como el de Infraestructura Verde (IV). Un ejemplo de IV son los Humedales Construidos (HC), que representan una opción consolidada para la gestión del agua y el tratamiento de las aguas residuales, con numerosas aplicaciones y múltiples ventajas medioambientales y económicas (Stefanakis, 2019).

El objetivo de este trabajo consistió en evaluar dos configuraciones diferentes de HC vertical, mediante el Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) y la eficiencia de remoción de materia orgánica, nitrógeno y fósforo.

Palabras claves: Tiempo de Retención Hidráulico, Infraestructura Verde, Biofiltros.

Materiales y métodos

Configuración de los humedales construidos verticales

La estructura de los HC estuvo constituida por una maceta de tela geotextil de 150 L con dos arreglos de capas y sistema de aireación diferente:

Configuración I

Se dispuso, de arriba abajo, el siguiente arreglo de sustrato: arena, grava fina, LECA (arcilla expandida), pometina y grava gruesa. Como sistema de aireación, en cada dispositivo se colocaron cuatro tubos independientes PVC perforados de 10 mm de diámetro. Se colocó un caño de descarga en la parte inferior del humedal.

Configuración II

En este caso, el arreglo de material utilizado, de arriba abajo fue: arena, grava fina, LECA. Como sistema de aireación, en cada dispositivo se colocaron cuatro tubos PVC perforados de 3/4", interconectados entre sí y con un caño de descarga en la parte inferior del humedal.

Se realizaron 3 réplicas para cada configuración y en ambos diseños se empleó *Typha latifolia* como especie vegetal, comúnmente conocida como totora.

Sistema de alimentación

El sistema de alimentación de los 6 HC (**Figura 1**) constó de un tanque de 500 L de capacidad para el almacenamiento y un tanque elevado de 1000L para la alimentación, ambos con sensores de nivel que permiten la recarga del tanque de alimentación cuando su nivel es bajo e impiden el encendido de la bomba centrífuga cuando el nivel del tanque de almacenamiento no es suficiente.

El sistema cuenta con una autonomía de una semana y es recargado semanalmente con el efluente cloacal del Instituto Nacional del Agua (Ezeiza).

El riego de los dispositivos fue automatizado empleando un temporizador eléctrico conectado a una electroválvula solenoide y programado para regar los HC dos veces por día con un caudal de 10 L min⁻¹ durante 7 minutos.



Figura 1.- Sistema de alimentación de 6 Humedales Construidos, sistema de riego y tablero de control.

Determinación del tiempo de retención hidráulico

Para la determinación del TRH se empleó la curva de distribución de tiempos de residencia (DTR) (Levenspiel, 2002). Se utilizó como trazador una solución de cloruro de sodio al 0.2% inyectada al sistema como pulso a caudal constante (2.9 L min⁻¹) midiendo de forma continua en intervalos de 10 segundos la concentración del ion cloruro con un electrodo de ion selectivo (modelo HQ 4300) hasta que la concentración vuelva al basal.

El tiempo de retención hidráulico medio se calculó empleando la Ec. 1 (Alasino, 2015):

$$t_M = \frac{\sum(t_i \Delta t_i C_i)}{\sum(\Delta t_i C_i)} \quad [1]$$

donde: t_M es el tiempo de retención hidráulico medio y t_i y C_i son los tiempos y concentraciones.

El TRH fue determinado para cada dispositivo en ambas configuraciones.

Determinación de parámetros fisicoquímicos para evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes

Se determinó, tanto en el efluente, así como a la salida de cada dispositivo: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Carbono Orgánico Disuelto (DOC), Fósforo Total (PT) y Nitrógeno Total por Kjeldahl (NTK), empleando metodologías estandarizadas (APHA, 2018). Para el cálculo de la eficiencia de remoción se utilizó la Ec. 2.

$$\% \text{ Remoción} = \left(1 - \frac{C_0}{C_i}\right) \quad [2]$$

donde C_0 : concentración del efluente del HC (mgL^{-1}) y C_i : concentración del efluente cloacal (mgL^{-1})

Resultados y discusión

Se obtuvieron TRH con poca variabilidad entre las réplicas de una misma configuración, pero con diferencias significativas entre estas ($p=0.05$) donde la configuración II (22 ± 5 min) presentó un TRH mayor que la configuración I (10 ± 1 min) (Tabla 1).

Tabla 1.- Tiempo de retención hidráulico (TRH) obtenido para cada configuración

Humedal	TRH [min]	Promedio	Desv std
I _A	9.76	10	1
I _B	10.95		
I _C	9.56		
II _A	23.10	22	5
II _B	27.18		
II _C	16.94		

Con respecto a las eficiencias de remoción, la configuración II presentó eficiencia de remoción significativamente mayores ($p<0.001$) con respecto a la configuración I para todos los parámetros evaluados (DQO, DOC, NTK y PT) (Figura 2).

La configuración I presentó eficiencias moderadas (33-58%) para DQO, NTK y DOC y una baja eficiencia para el PT (13%). En cambio, en la configuración II se observaron remociones elevadas en todos los parámetros (73-92%) incluyendo el PT. Los resultados obtenidos están en consonancia con los TRH calculados donde las mayores eficiencias se obtuvieron en aquella configuración cuyo TRH fue mayor. En este sentido, la duración del contacto entre las aguas residuales y el sistema de HC es fundamental para la eficiencia del tratamiento (Kadlec, 1994; Toet et al., 2005).

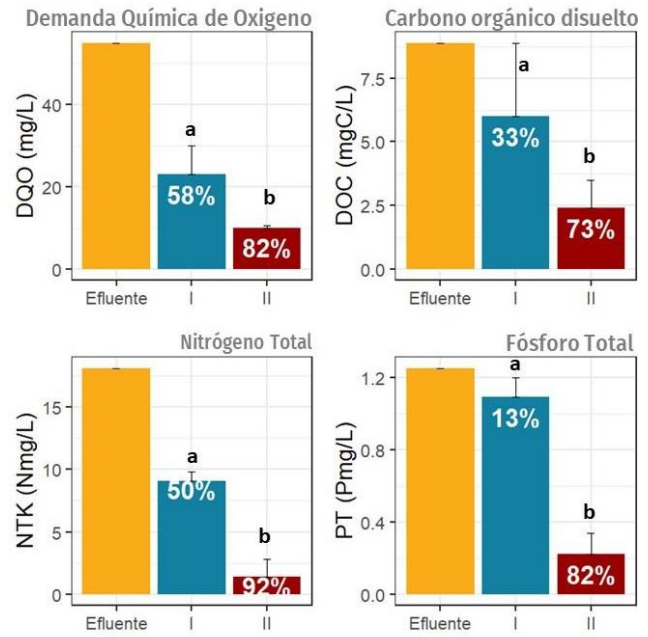


Figura 2.- Concentraciones obtenidas y porcentajes de remoción para los distintos parámetros evaluados en cada configuración y en el efluente de alimentación. Las barras de error representan el desvío estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Conclusiones

El sistema de alimentación automatizado permitió poder tener operativo de forma simultánea 6 HC con 2 configuraciones diferentes. De esta forma se pudo calcular el TRH y evaluar las eficiencias de remoción para cada configuración en condiciones controladas. Se observaron TRH mayores en la configuración II lo que repercutió positivamente en las eficiencias de remoción obtenidas para todos los parámetros evaluados. Una mayor revancha combinada con una mayor capa de arena y sustrato reactivo (en este caso la LECA) sumado a un sistema de aireación interconectado, presentó ser, de forma preliminar, una alternativa de HC más eficiente aún para el PT, elemento de difícil eliminación en los HC. Aun así, hay que seguir evaluando estos dispositivos a lo largo del tiempo para comprender mejor el tiempo óptimo de operación, así como también de saturación.

Referencias

APHA (American Public Health Association). (2018). *Standard methods for examination of water and wastewater*. 23th Ed. Washington DC, USA.

Alasino, N., Nadal, F., Primo, L., Bollo, P., & Larrosa, N. (2015). Comportamiento cinético e hidráulico de un humedal construido a escala real. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(3), 93-104.

Cirelli, A. Fernández, and C. Ojeda. 2008. "Wastewater Management in Greater Buenos Aires, Argentina." *Desalination* 218 (1): 52-61.

Kadlec, R. H. (1994). "Detention and mixing in free water wetlands". *Ecological Engineering*, 3(4), 345-380.

Levenspiel, O. (2002). *Modeling in chemical engineering*. Chemical Engineering Science, 57(22-23), 4691-4696.

Stefanakis, A. I. (2019). "The role of constructed wetlands as green infrastructure for sustainable urban water management". *Sustainability*, 11(24), 6981.

Toet, S., Van Logtestijn, R. S., Schreijer, M., Kampf, R., & Verhoeven, J. T. (2005). "The functioning of a wetland system used for polishing effluent from a sewage treatment plant". *Ecological Engineering*, 25(1), 101-124.