



I CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA AMBIENTAL EN SISTEMAS ACUÁTICOS, CChIASA

EFECTO DE LA CARGA HIDRÁULICA Y LA PRESENCIA DE VEGETACIÓN EN EL TIEMPO DE RETENCIÓN Y LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN HUMEDALES ARTIFICIALES

JAVIER FUENTEALBA G.¹
KATHERINE LIZAMA A.²

RESUMEN EXTENDIDO

Los humedales artificiales son sistemas de tratamiento de agua donde se replican los mecanismos de remoción de contaminantes presentes en los humedales naturales. Un humedal artificial es una alternativa de tratamiento natural, más sustentable y con menores costos que las tecnologías tradicionales. Se ha demostrado que humedales que utilizan piedra caliza o zeolita como sustrato tienen altas tasas de remoción de hierro y arsénico.

La remoción de contaminantes en los humedales es afectada por diversos factores como: tipo de flujo, tipo de vegetación, sustrato, factores geométricos y condiciones de operación. Particular importancia tiene el tiempo de retención hidráulico, parámetro por excelencia para diseñar sistemas de tratamiento, relevante también pues son muchos los contaminantes en que la cinética juega un rol fundamental en la remoción.

Este trabajo tiene como objetivo principal determinar experimentalmente el efecto que tienen, por separado, la carga hidráulica y la presencia de vegetación en la distribución de los tiempos de retención y la remoción de arsénico en un sistema de humedales de flujo horizontal sub superficial construidos a escala de laboratorio, con zeolita como medio de soporte (Figura 1). Los humedales cumplen con las relaciones de escala (Largo : Ancho) y profundidad de agua que permiten el desarrollo del flujo a estudiar (Kadlec & Wallace, 2009). Los caudales son determinados en base cargas de diseño ($q = Q/A_s$ mm/día), independizando el caudal con el tamaño del humedal. Además se verificó que se cumple con las hipótesis de flujo sea laminar ($Re = \frac{d\rho u}{(1-\varepsilon)\mu} < 1$) y que los rangos de dispersión sean razonables ($Pe = \frac{uL}{D} > 0.1$).

Se realizaron pruebas de trazador con tres cargas distintas en todos los humedales para obtener parámetros hidrodinámicos como coeficiente de dispersión, velocidad efectiva, número de Péclet, número de Reynolds y la distribución de tiempos de retención. Estos se

¹ Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile. Contacto: ja.fuentealba.g@gmail.com

² Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile. Contacto: klizama@ing.uchile.cl

obtienen usando el método de los momentos y otras herramientas sobre la curva de *breakthrough*.



Figura 1: Instalación Experimental. H1, H2 y H3 corresponden a humedales plantados. C1, C2, y C3 son celdas de control sin plantas. Las celdas de acrílico tienen dimensiones de 60 x 20 x 15 cm (largo, ancho, altura de sustrato). El caudal es regulado con una bomba peristáltica. Se cuenta con un vertedero de PVC a la salida con el cual se puede regular la altura de agua.

Siendo la zeolita un medio con una alta capacidad de intercambio iónico y de sorción, escoger un trazador conservativo no es trivial. Teniendo en cuenta esto, la complejidad de los experimentos y el presupuesto, los candidatos fueron los aniones cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}) y bromuro (Br^-). Mediante experiencias *batch* se demostró que todos estos son conservativos en zeolita, pero sólo el bromuro cumple con tener una baja concentración de *background* (concentración en agua potable $< 0.003 \text{ mg/l}$), lo que permite un correcto desarrollo de la prueba.

La concentración de Br^- como trazador es determinada de forma indirecta midiendo la conductividad eléctrica de la solución a la salida del humedal.

Resultados preliminares muestran que en todos los casos el tiempo de retención medido es mayor al nominal. La presencia de vegetación provoca que esta diferencia sea menor que en el caso sin plantas, lo que se constata para todas las cargas. Al analizar la carga hidráulica, se puede ver que a mayor carga, mayor es la diferencia en los tiempos, sin embargo, este efecto es tan claro en comparación al efecto de las plantas.

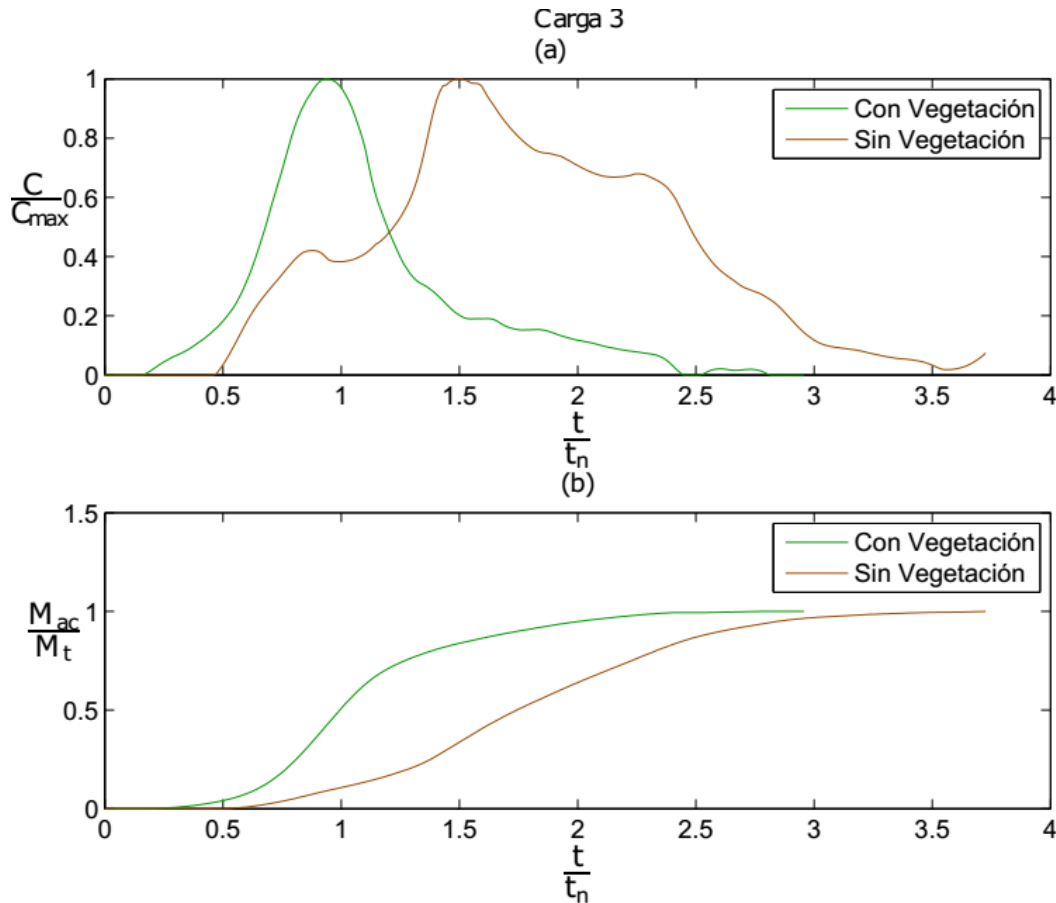


Figura 2: Resultados de la prueba de trazador con carga $q=80$ mm/día en humedales con y sin vegetación. (a) Curvas de *breakthrough* adimensional. (b) Curvas de masa acumulada. Se aprecia claramente el retraso del trazador y la mayor dispersión en el humedal sin vegetación.

Tabla 1: Principales resultados de las pruebas de trazador. Los colores indican la presencia de vegetación. Las cargas q tienen unidades de mm/día.

Parámetro	Unidad	q=20	q=20	q=50	q=50	q=80	q=80
$T_{nominal}$	hr	70.6	69.9	26.2	26.2	18.4	18.5
T_{real}	hr	71.5	92.1	32.9	35.3	20.2	33.4
t_{90}^*	hr	112.6	127.6	55.3	53.8	32.0	48.3
Velocidad	cm/h	1.08	0.84	2.34	2.18	3.82	2.3
Caudal medio	ml/min	1.78	1.74	4.65	4.65	6.63	6.59
Coef. de Dispersión	cm ² /h	6.33	2.36	17.42	9.65	23.16	10.44
Pe	-	7.99	16.63	6.32	10.61	7.74	10.39
Re	-	0.31	0.24	0.66	0.61	1.02	0.65

* t_{90} corresponde al tiempo para el cual ha pasado el 90% del trazador



Por otro lado, se realizaron pruebas para cuantificar la remoción de arsénico y hierro: se hizo pasar por los humedales un agua ácida contaminada sintética, la cual es representativa (en términos con contrataciones de contaminantes y pH) del Río Azufre, curso de agua ubicado en el norte de Chile (XV región), caracterizado por su pésima calidad del agua. Se emplean las mismas cargas medidas en las pruebas de trazador.

Se midieron por un lapso de cuatro semanas parámetros in situ (pH, conductividad eléctrica, potencial redox y oxígeno disuelto), dureza y concentración de sulfato, además, se enviaron muestras a un laboratorio externo para medir concentración de As total y Fe total (aún no se dispone de estos resultados).

Se observa una remoción importante de sólidos disueltos totales (en torno a 30%), un alza muy significativa en el pH (de 1.9 a 7, en promedio), disminución en el potencial redox y una pequeña baja en la concentración de oxígeno disuelto. Al comienzo del periodo de análisis se ve una pequeña remoción de sulfato, lo cual se estabiliza, manteniéndose constante al avanzar el tiempo. De las mediciones de dureza queda en evidencia el intercambio iónico realizado por la zeolita ya que esta aumenta un 100% en promedio, indicativo de intercambio entre los cationes de la solución de agua ácida por Ca^{+2} y Mg^{+2} , presentes en la estructura de la zeolita.

De momento no se puede concluir que exista alguna influencia de la carga hidráulica o la vegetación en alguno de estos parámetros.

Referencias

Lizama Allende, K. L., McCarthy, D. T., & Fletcher, T. D. (2014). The influence of media type on removal of arsenic, iron and boron from acidic wastewater in horizontal flow wetland microcosms planted with *Phragmites australis*. *Chemical Engineering Journal*, 246, 217-228.

United States Environmental Protection Agency. (1993). Subsurface Flow Constructed Wetlands For WasteWater Treatment. A Technology Assessment. United States Office Of Water EPA 832-R-93-008.

Kadlec, R. H. & Wallace, S. (2008). *Treatment wetlands*. Second edition.