



II CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA AMBIENTAL EN SISTEMAS ACUÁTICOS, CChIASA

REMOCIÓN DE ARSÉNICO UTILIZANDO HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL. EFECTO DEL TIPO DE MEDIO Y LA PRESENCIA DE VEGETACIÓN

PABLO ECHEVERRÍA PARDO¹
KATHERINE LIZAMA ALLENDE²

RESUMEN EXTENDIDO

El arsénico es un metaloide altamente tóxico que se presenta de manera natural en el norte de Chile. La presencia de arsénico en aguas naturales constituye una amenaza a la salud humana. Los tratamientos convencionales utilizados actualmente remueven el contaminante de forma rápida y efectiva, sin embargo, generan elevados costos a las empresas sanitarias y un impacto negativo al medio ambiente, al ser poco sustentables. Los humedales construidos constituyen una alternativa ventajosa a los sistemas de tratamiento existentes, al presentar un bajo costo operacional y energético.

El objetivo de este trabajo es cuantificar la capacidad de remoción de arsénico y otros contaminantes en un sistema de humedales construidos. El sistema lo conforman doce celdas que operan de manera independiente. La mitad de esas celdas presentan piedra caliza como medio de soporte; la otra mitad se compone de zeolita. A su vez se vegetaron seis humedales, tres de zeolita y tres de caliza, con el fin de cuantificar el efecto de la vegetación en la remoción de contaminantes, para ello se utilizó la planta *Phragmites Australis*. En resumen se tienen cuatro configuraciones distintas: Caliza vegetada, zeolita vegetada, caliza sin vegetación y zeolita sin vegetación; la carga hidráulica promedio fue de 20 mm/día en cada unidad. Para cada configuración existen tres réplicas, las cuales presentan las dimensiones indicadas en la Ilustración 1.

¹ pep.echeverria.pardo@gmail.com

² klizama@ing.uchile.cl

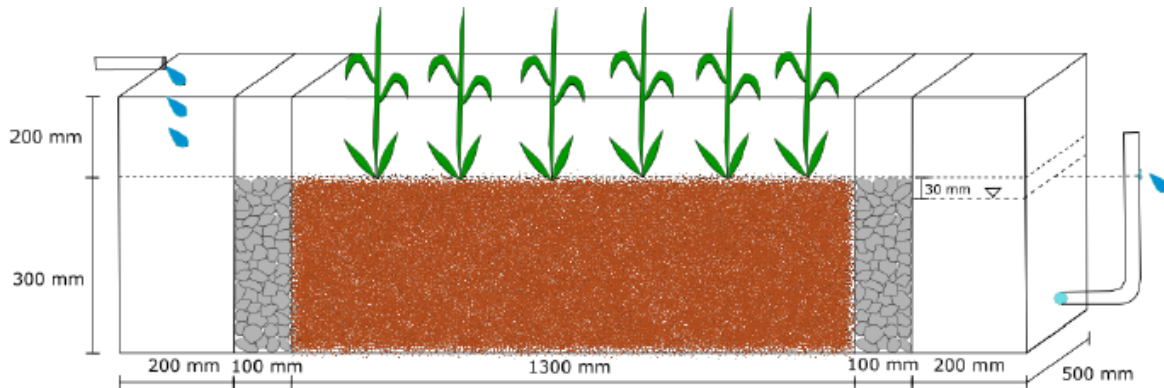


Ilustración 1: Esquema de humedal construido

La operación del sistema se divide en dos etapas, cuya diferencia radica principalmente en la concentración inicial de arsénico. El sistema de humedales empezó a funcionar en agosto de 2016, con una concentración de arsénico total de 2 mg/L, funcionando así hasta mediados de febrero de 2017. Posteriormente el sistema se reactivó a principios de abril de 2017, aumentando la concentración de arsénico total a 3.5 mg/L en el agua sintética. El sistema estuvo operativo hasta el día 9 de noviembre de 2017. Mientras el sistema operaba, se realizaban análisis a las muestras efluentes de las celdas, para medir la concentración de contaminantes (indicados en la Tabla 1) y otros parámetros in situ de calidad del agua: pH, turbiedad, dureza, alcalinidad, conductividad eléctrica, potencial redox, sólidos disueltos totales, sulfato y temperatura. Las muestras se tomaban con una frecuencia que variaba entre 2 a 4 semanas para los efluentes y semanalmente para el agua ácida.

La tabla 1 presenta el rendimiento general del sistema (todas las celdas promediadas), en términos de porcentaje de remoción. Se separaron ambos períodos para así realizar un mejor análisis.

Tabla 1: Porcentajes de remoción general del sistema

Contaminante	Período 1	Período 2	Total
Fe	99.1	95.4	97.7
B	-8.3	14.1	0.0
Al	69.0	7.4	36.6
Mn	32.9	29.0	27.4
Zn	64.8	29.1	46.4
As	99.4	99.0	99.2
Pb	98.3	98.2	98.3
Mg ⁺²	32.5	-	32.5
Na ⁺	53.7	-	53.7
Ca ⁺²	-215.7	-	-215.7



K ⁺	-18.1	-	-18.1
Cl ⁻	12.0	-	12.0
SO ₄ ⁻²	38.7	-	38.7

El agua a tratar presentó concentraciones similares a las del río Azufre, tributario del Lluta, ubicado en la XV Región de Arica y Parinacota, de acuerdo a mediciones de Leiva et al. (2014), para ello se realizó periódicamente, con ayuda del software Phreec v3.3.7, una fórmula con la cantidad exacta de reactivos a mezclar con agua potable para emular la calidad de agua del río Azufre. El proyecto espera encontrar una potencial solución a la contaminación natural de aguas por arsénico en dicha zona.

El sistema presenta una alta remoción de arsénico y otros contaminantes. La caliza fue muy efectiva removiendo As, Fe, Al y Pb, con tasas de remoción superiores al 98%. Por su parte la zeolita removió As, Fe y Pb de muy buena manera, superando el 97% de efectividad. Los principales mecanismos de remoción de As fueron la precipitación con hidróxidos de hierro en la caliza y la adsorción al medio y coprecipitación en el caso de la zeolita.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen el financiamiento de Fondecyt a través del proyecto regular número 11150401.

Referencias

- ATSDR (2007). Resumen de Salud Pública: Arsénico CAS: 7440-38-2. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, División de Toxicología y Medicina Ambiental.
- Bissen, M. & Frimmel, F. H. (2003). Arsenic- a review. Part ii: oxidation of arsenic and its removal in water treatment. *Acta hydrochimica et hydrobiologica* 31(2), 97-107.
- Buddhawong, S., Kuschik, P., Mattusch, J., Wiessner, A. & Stottmeister, U. (2005). Removal of arsenic and zinc using different laboratory model wetland systems, *Engineering in Life Sciences* 5(3), 247-252.
- Carotenuto, M., Lofrano, G. & Sharma, S. K. (2014) Arsenic contamination: An overview. *Heavy Metals In Water: Presence, Removal and Safety*, 86.
- DGA (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Río Lluta. Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile.
- DGA (2008). Evaluación preliminar de alternativas de mitigación de contaminantes en el río Lluta a partir de una caracterización de las fuentes de contaminación. Ministerio de Obras Públicas & DICTUC S.A., Santiago, Chile.



Engloner, A. (2009). Structure, growth dynamics and biomass of reed (*Phragmites australis*) – A review. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 204(2009). 331-346

Guerra, P., González, C., Escauriza, C., Pizarro, G. & Pastén, P. (2016). Incomplete mixing in the fate and transport of arsenic at a river affected by acid drainage. *Water, Air & Soil Pollution* 227(3), 1-20.

Henke, K. (2009) *Arsenic: environmental chemistry, health threats and waste treatment*. John Wiley & Sons.

Henry, D. (2015). Remoción de arsénico de agua contaminada utilizando zeolita y piedra caliza: Evaluación experimental de la capacidad de remoción y su potencial aplicación como medios de soporte en humedales artificiales. Universidad de Chile.

Jaque, I. (2017). Cuantificación de la capacidad de remoción de arsénico y otros contaminantes utilizando humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal. Universidad de Chile.

Kadlec, R. & Wallace, S. (2008). *Treatment wetlands*, 2nd. Edition. Boca Raton. CRC Press.
Leiva, E. D., dP Rámila, C., Vargas, I. T., Escauriza, C. R., Bonilla, C.A., Pizarro, G. E., Regan, J. M. & Pastén, P. A. (2014). Natural attenuation process via microbial oxidation of arsenic in a high andean watershed. *Science of the Total Environment* 466, 490-502.

Lizama, K., Fletcher, T. & Sun G. (2011b). Removal processes for arsenic in constructed wetlands. *Chemosphere* 84(8), 1032-1043.

Lizama, K., Fletcher, T. & Sun G. (2012). The effect of substrate media on the removal of arsenic, boron and iron from an acidic wastewater in planted column reactors. *Chemical Engineering Journal* 179, 119-130.

Lizama, K., McCarthy, D. & Fletcher, T. (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.

Smedley, P & Kinniburgh, D. (2002). A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters. *Applied geochemistry* 17(5), 517-568.

WHO (2011). *Guidelines for drinking-water quality*. World Health Organization, 4 ed.