

**Diseño, construcción  
y desarrollo de un  
filtro biológico para las  
aguas contaminadas  
con cromo: estudio de  
caso**

**Biological filter  
design, construction  
and development  
for Chromium  
contaminated water  
(case study)**

**Projeto e construção de  
um filtro biológico para  
as águas contaminadas  
com Cromo (estudo de  
caso)**

Para citar este artículo / To reference this article  
/ Para citar este artigo: Carreño Sayago, U. F.  
(2016). Diseño, construcción y desarrollo de un  
filtro biológico para las aguas contaminadas con  
cromo (estudio de caso) *Ingenio Magno*, 7(1), 22-30.

**Uriel Fernando Carreño-Sayago**

Fundación Universitaria los Libertadores

[ufcarrenos@libertadores.edu.co](mailto:ufcarrenos@libertadores.edu.co)

Fecha de recepción: 18 de agosto de 2015

Fecha de aprobación: 9 de abril de 2016

## Resumen

En la remoción de contaminantes presentes en el agua, como los metales pesados, se requieren tecnologías efectivas; por ello, en las últimas décadas se han desarrollado técnicas de limpieza que tratan esta problemática. Actualmente se cree que la absorción es el mecanismo más simple y efectivo para el tratamiento de las aguas residuales; pero el éxito de este proceso depende del desarrollo de absorbentes eficientes. En el presente estudio se diseñó, desarrolló y se puso en marcha un filtro biológico con *Eichhornia crassipes* triturada y con material de soporte como las zeolitas. La *Eichhornia crassipes* es una planta acuática abundante en humedales, lagunas y ríos, que genera muchos problemas ambientales y ecológicos. Las zeolitas también son abundantes y fáciles y económicas de conseguir. Se comprobó la eficacia de este filtro como estudio de caso a la hora de remover cromo; por ende, se constituye en un sistema de tratamiento posiblemente viable para muchos sectores industriales, debido a su bajo costo y la facilidad en el montaje.

**Palabras clave:** biorremediación, *Eichhornia crassipes* (buchón de agua), zeolitas.

## Abstract

Effective technology is required to remove contaminants present in water, which has caused the development of removal techniques over the past decades. Currently, absorption is believed to be the most simple and effective method for wastewater treatment, in which its success is dependent on the development of efficient absorbents. In the following case study, a crushed biological filter, containing *Eichhornia crassipes* and zeolites as supporting materials, was designed, developed, and put into practice. *Eichhornia crassipes* is an abundant aquatic plant in wetlands, lakes and river, causing it to create many environmental and ecological issues. Zeolites are also abundant and easy to obtain. The effectiveness of this filter in chromium removal was proven in this case study, making it a probable wastewater treatment technique due to its low cost and easy assembly.

**Keywords:** bioremediation, *Eichhornia crassipes* (water hyacinth), zeolitas.

## Resumo

Na remoção de contaminantes presentes na água como os metais pesados, requerem-se tecnologias efetivas. Ao longo das últimas décadas foram desenvolvidas técnicas de limpeza para tentar resolver este problema. Atualmente considera-se que a absorção é o mecanismo mais simples e efetivo para o tratamento das águas residuais, aonde o êxito de tal operação depende do desenvolvimento dos absorbentes eficientes. No presente estudo foi desenhado, desenvolvido e lançado um filtro biológico com *Eichhornia crassipes* triturada e com Zeolites como material de suporte. A *Eichhornia crassipes* é uma planta aquática, abundante nas regiões alagadas, lagoas e rios, que devido a isso gera muitos problemas ambientais e ecológicos. As zeolitas também são abundantes, fáceis e económicas de se conseguir. Comprovou-se a eficácia do filtro utilizado no estudo de caso funcional para remover Cromo, sendo um sistema de tratamento possivelmente viável para muitos setores industriais devido ao seu baixo custo e a facilidade na montagem.

**Palavras Chave:** biorremediação, *Eichhornia Crassipes* (aguapé), zeolitas.

## 1. Introducción

En este estudio se explora la oportunidad de diseño y puesta en marcha de un sistema de tratamiento alterno y como estudio de caso en una curtiembre. Para ello se toman dos tipos de materiales naturales y económicos para la remoción y retención de metales pesados de aguas contaminadas por los residuos del proceso industrial.

Un componente esencial para este proceso son las zeolitas, que se han utilizado como material de soporte para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados. El uso de zeolitas naturales para aplicaciones medioambientales ha generado un gran interés investigativo, resultado de sus excelentes propiedades y de su abundancia en el ámbito global (Wang y Peng, 2010; Qiu y Zheng, 2009; Mejía, Valenzuela y Aguayo, 2010). Distintos estudios se han llevado a cabo sobre su utilización para la absorción y reducción de Cr(VI) en distintos ambientes (Covarrubias, García, Yáñez y Arriagada, 2008; Asgari, Ramavandi, Rasuli y Ahmadi, 2013; Kumar, Motohide y Miyake, 2008; Pitcher, Slade y Ward, 2004; Leyva, Azuara, Díaz y Guerrero, 2008; Guocheng *et al.*, 2014).

Otro componente importante para este filtro en el tratamiento de las aguas contaminadas con metales pesados son las plantas acuáticas, especialmente la *Eichhornia crassipes*, comúnmente llamada *buchón de agua*. En diferentes investigaciones también se ha encontrado que las plantas son agentes bioacumuladores de metales pesados.

Es el caso de las hojas de café, según el estudio de Higuera, Arroyave y Flórez (2008), donde establecen una metodología práctica a la hora de retener metales pesados presentes en las aguas. Para ello se diseña e implementa un filtro rápido de arena, compuesto por una capa de grava y unas capas trituradas de hojas de café que se situaron en tres posiciones diferentes

(inferior, media y superior). Los autores concluyen que este sistema de tratamiento a escala piloto es eficiente, pues remueve el 90% de los metales pesados.

Pero de las plantas acuáticas encontradas en la literatura actual se debe hacer especial referencia a la *Eichhornia crassipes*, debido a su alta capacidad de retención de metales pesados presentes en el agua y a la generación de energía (Gopal, 1987; Velarde, Zavaleta y Aguilar, 2013; Kasturiarachchi, 2014).

Esta planta acuática es invasora de ecosistemas acuáticos y se encuentra en grandes cantidades en humedales, lagunas, ríos, etc. (Epstein, 2012; Gómez y Pinzón, 2012; Xiaosen *et al.*, 2013; Poddar, Mandal y Benerjee, 1991). También está presente en sistemas de tratamiento con humedales o minipiscinas, donde entra en contacto con el agua contaminada y retiene los metales pesados presentes en ella (Carreño y Perdomo, 2015).

Atehortúa y Gartner (2003) tamizaron la *Eichhornia crassipes* con el fin de construir un filtro biológico para el tratamiento de aguas industriales contaminadas con cromo y plomo. El tiempo de retención fue de 6 horas y se removió un 60% de estos metales. Por su parte, Chisutía y Mmari (2014) y Lin Wang y Shongyuan (2012) tamizaron la *Eichhornia crassipes* para tratar efluentes de industrias; los resultados arrojaron eficiencias por encima del 90%.

Carreño y Perdomo (2015) comprobaron en un sistema de tratamiento a escala piloto las propiedades de la *Eichhornia crassipes* en la retención de cromo presente en las aguas de curtiembres.

Wenbing *et al.* (2011), Balasubramanian, Arunachalam, Dasb y Arunachalama (2012) y Tan *et al.* (2008) extrajeron la celulosa *xanthogenates* de la *Eichhornia crassipes* para crear un filtro biológico capaz de retener metales pesados.

En estos estudios caracterizaron la celulosa y determinaron la manera de extraer este polisacárido. Aunque su investigación arrojó resultados interesantes, este procedimiento es difícil, debido a la complejidad de los equipos y la infraestructura que se necesitan para la preparación de la celulosa *xanthogenates*.

El objetivo principal de este estudio fue diseñar un sistema de tratamiento y probarlo con aguas contaminadas con cromo, para posteriormente optimizarlo en el tratamiento de diferentes aguas contaminadas con metales pesados.

## 2. Materiales y métodos

Se procedió a identificar el lugar donde se pueden encontrar las zeolitas. Así, fueron ubicadas en una fábrica de cemento a las afueras de Bogotá, que las donó de forma voluntaria ya trituradas. En la siguiente figura se pueden ver las zeolitas ya listas para usar.



Figura 1. Zeolitas trituradas

No se le realizó ningún procedimiento antes de usar; se determinó para este estudio utilizarlas sin ningún tipo de modificación química. La *Eichhornia crassipes* se identificó en las aguas contaminadas a las afueras del municipio de Mosquera. A continuación, en la figura 2, se muestra cómo se obtuvo el material. El agua donde estaba la planta de *Eichhornia crassipes* se encontraba con malos olores, debido a los vertimientos de aguas residuales sobre este humedal.

Había también muchas plantas acuáticas flotando. La *Eichhornia crassipes* es consecuencia del fenómeno de la eutrofización que presentan los humedales contaminados por nutrientes. Además, crea una grave crisis ecológica en estos sistemas acuáticos, ya que es muy abundante en las láminas de agua y no deja pasar la luz solar, al tiempo que deja sin oxígeno a macroinvertebrados, peces, etc.



Figura 2. Aislamiento de la *Eichhornia*

Se obtuvieron 55 plantas de *Eichhornia crassipes* de este humedal y se procedió a lavarlas con abundante agua, para quitarles la tierra y otras impurezas. Después se llevaron a los laboratorios de la Fundación Universitaria Los Libertadores, donde fueron secadas en un horno a 100 °C, durante 24 horas. Después se trituraron las hojas, los tallos y las raíces, tras lo cual se obtuvieron casi 300 gr de muestra triturada de la *Eichhornia crassipes*.

Para desarrollar un diseño óptimo de un sistema de tratamiento de aguas contaminadas con cromo, se debe

realizar una caracterización de las aguas, en función de establecer los criterios ideales para el tratamiento. La cantidad de agua por utilizar fue de menos de 25 L/día (esto es lo que produce una curtiembre normalmente en San Benito, al sur de Bogotá).

Las composiciones en el diseño propuesto se muestran en la figura 3; se trata de un sistema propuesto por el autor y de acuerdo con las recomendaciones de cada uno de los referentes.



Figura 3. Filtro biológico

La altura es de 1,2 m y se usa un material de soporte de 20 cm. Las zeolitas sin modificar fueron de 70 cm, debido a su diámetro. Luego se molió gran cantidad de *Eichhornia crassipes*, pero debido a su gran humedad hubo poca biomasa, a la que se suman 10 cm de carbón activado.

Estas combinaciones se realizaron a través de prueba y error. El diseño se estableció de esta manera como resultado de diferentes combinaciones; además, debe

ser optimizado con más investigación para establecer la mejor combinación de estos materiales.

### 3. Resultados

Se realizaron diferentes pruebas para medir la efectividad del filtro biológico, con un total de 15 pruebas para determinar la confiabilidad de los datos. En tabla 1 se muestran los datos reportados por el laboratorio Hidronálisis, S. A.

Tabla 1. Datos del cromo (mg/L) de entrada y de salida durante 15 días de tratamiento

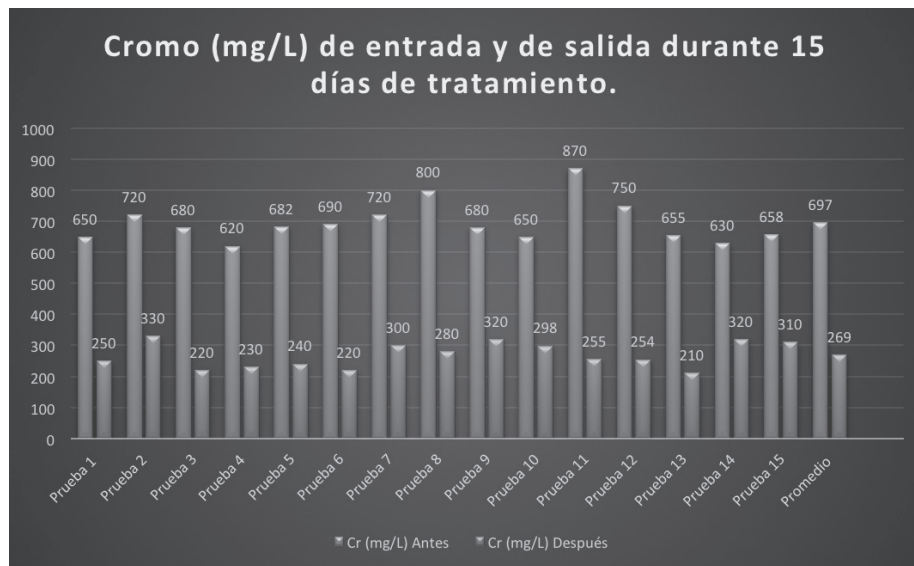
Prueba	Cr (mg/L) (antes)	Cr (mg/L) (después)	Remoción (%)
Prueba 1	650	250	62
Prueba 2	720	330	54
Prueba 3	680	220	68
Prueba 4	620	230	63
Prueba 5	682	240	65
Prueba 6	690	220	68
Prueba 7	720	300	58
Prueba 8	800	280	65
Prueba 9	680	320	53
Prueba 10	650	298	54
Prueba 11	870	255	71
Prueba 12	750	254	66
Prueba 13	655	210	68
Prueba 14	630	320	49
Prueba 15	658	310	53
Promedio	697	269	61
Desviación estándar	65	40	6,7

Fuente: autor a partir de datos del Laboratorio de Hidroanálisis.

En la tabla anterior se pueden apreciar unas remociones importantes por encima del 60%. Por su parte, en la figura 4 se muestra el promedio 697 mg/L de cromo) y la parte inferior (270 mg/L de cromo). En promedio hay una

remoción de 61%, lo cual muestra la eficiencia de este sistema, si se tienen en cuenta las altas concentraciones de cromo inicial.





**Figura 4. Cromo de entrada y salida al sistema (mg/L)**

Se realizaron estas pruebas iniciales de cromo en una curtiembre ubicada en el sur de Bogotá. Para siguientes investigaciones se recomienda tratar las aguas de una forma escalonada y con otras pruebas, de manera tal que el agua del efluente del filtro pase a otro, para así obtener mejores resultados. En esta investigación se realizaron algunas pruebas con el mismo filtro, pero no dieron buenos resultados debido a las bajas concentraciones de cromo.

Además, se recomienda un sistema de tratamiento acuático con la *Eichhornia crassipes* mientras flota viva, debido a que esta remueve el cromo por debajo de 200 mg/L en el agua. Este filtro sirve para quitarle al agua altas concentraciones de cromo.

#### 4. Conclusiones

- Las zeolitas son materiales adecuados para el tratamiento de agua con metales pesados, dada su gran capacidad de intercambio catiónico, así como su gran afinidad por este tipo de metales. Son económicas, fáciles de conseguir y se podrían adaptar a otros sistemas de tratamiento, como la construcción de filtros de zeolitas y biológicos.
- Debido al alto crecimiento y la abundancia del buchón del agua, se propone una tecnología de fácil acceso y económica para tratar las aguas contaminadas con metales pesados. Esta planta retiene en su organismo grandes contenidos de metales pesados.
- Desarrollar tecnologías de tratamiento a través de zeolitas y plantas acuáticas se vuelve una opción ejecutable en las industrias que vierten metales pesados a los cuerpos de agua y causan graves daños al ecosistema. Un sistema de tratamiento con zeolitas y después con *Eichhornia crassipes* es económico y fácil de conseguir, al tiempo que se obtienen resultados eficientes.
- No se estableció en este estudio cuál de los materiales fue más eficaz a la hora de retener cromo. En la optimización de este filtro se estudiará material por material; la investigación continúa.
- Se recomienda un sistema de tratamiento acuático con la *Eichhornia crassipes* mientras flota viva, debido a que esta remueve el cromo por debajo de 200 mg/L en el agua. Este filtro sirve para quitarle al agua altas concentraciones de cromo.

## Referencias

- Atehortúa, E. y Gartner, C. (2003). Preliminary studies of *Eichhornia crassipes* dry biomass for lead and chromium removal from waters. *Revista Colombiana de Materiales*, 5.
- Asgari, G., Ramavandi, B., Rasuli, L. y Ahmadi, M. (2013). Adsorption from aqueous solution using a surfactant-modified Iranian zeolite: characterization, optimization, and kinetic approach. *Desalination and Water Treatment*, 51, 31-33.
- Balasubramaniana, K., Arunachalam, K., Dasb, A. K. y Arunachalam, A. (2012). Decomposition and nutrient release of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. Under different trophic conditions in wetlands of eastern Himalayan foothills. *Ecological Engineering*, 44, 111-122.
- Carreño, U. y Perdomo, F. (2015). Diseño, construcción y puesta en marcha de un sistema de tratamiento biológico con (*Eichhornia crassipes*) para la remediación de las aguas residuales procedentes de las curtiembres ubicadas en la cuenca alta del río Bogotá. *X Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo*. La Habana: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba.
- Chisutia, W. y Mmari, O. (2014). Adsorption of Congo Red Dye from aqueous solutions using roots of *Eichhornia crassipes*: kinetic and equilibrium studies. *Energy Procedia*, 50, 862-869.
- Covarrubias, C., García, R., Yáñez, J. y Arriagada, R. (2008). Preparation of CPB-modified FAU zeolite for the removal of tannery wastewater contaminants. *Journal of Porous Materials*, 15(4), 491-498.
- Epstein, P. (2012). Weeds bring disease to the east African waterways. *The Lancet*, 351(9102).
- Gómez, H. y Pinzón, G. (2012). *Análisis de la mitigación del impacto ambiental en el lago del parque La Florida, por fitorremediación usando buchón de agua* (tesis de especialización). Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Gopal, B. (1987). *Aquatic plant studies 1. Water Hyacinth*. Nueva York: Elsevier.
- Lv, G., Li, Z., Jiang, W-T., Fenske, N. y Demarco, N. (2014). Removal of Cr (VI) from water using Fe(II)-modified natural zeolite. *Chemical Engineering Research and Design*, 92(2), 384-390. Doi: 10.1016/j.cherd.2013.08.003
- Higuera, O., Escalante, H. y Laverde, D. (2005). Reducción del cromo contenido en efluentes líquidos de la industria del cuero, mediante un proceso adsorción – desorción con algas marinas. *Scientia et Technica*, 11(29).
- Higuera, O., Arroyave, J. y Flórez, L. (2008). Diseño de un biofiltro para reducir el índice de contaminación por cromo generado en las industrias del curtido de cueros. *Revista DYNA*, 160, 107-119.
- Leyva, R., Azuara, P., Díaz, F. y Guerrero, C. (2008). Adsorption of chromium(VI) from an aqueous solution on a surfactant-modified zeolite. *Colloids and Surfaces A. Physicochemical and Engineering Aspects*, 330(1), 35-41.
- Lin, S., Guoxing, W., Zhongyuan, N., Diannan, L. y Zheng, L. (2012). Long-root *Eichhornia crassipes* as a biodegradable adsorbent for aqueous As(III) and As(V). *Chemical Engineering Journal*, 183, 365-371.
- Tan, L., Zhu, D., Zhou, W., Mi, W., Ma, L. y He, W. (2008). Preferring cellulose of *Eichhornia crassipes* to prepare xanthogenate to other plant materials



and its adsorption properties on copper. *Bioresource Technology*, 99(10), 4460-4466

Kasturiarachchi, J. C. (2014). Removal of nutrients (N and P) and heavy metals (Fe, Al, Mn and Ni) from industrial wastewaters by phytoremediation using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) under different nutritional conditions. Recuperado de <http://dl.lib.mrt.ac.lk/handle/123/10239>

Kumar, V., Motohide, M. y Miyake, M. (2008). Sorption properties of the activated carbon-zeolite composite prepared from coal fly ash for Ni<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> and Pb<sup>2+</sup>. *Journal of Hazardous Materials*, 160(1), 148-153.

Martínez, C., Torres, M. y García, R. (2013). Evaluación de la cinética de adsorción de Zn<sup>2+</sup> y Cd<sup>2+</sup> a partir de soluciones unitarias y binarias por raíces de *Eichhornia crassipes* y *Typha latifolia*. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(2), 1-14.

Mejía, Z., Valenzuela, S. y Aguayo, S. (2010). Adsorción de arsénico en zeolita natural pretratada con óxidos de magnesio. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(4), 217-227.

Pitcher, S. K., Slade, R. C. T. y Ward, N. I. (2004). Heavy metal removal from motorway stormwater using zeolites. *The Science of the Total Environment*, 1(334-335), 161-166.

Poddar, K., Mandal, L. y Banerjee, G. C. (1991). Studies on water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) – chemical composition of the plant and water from different. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, 5(2).

Qiu, W. y Zheng, Y. (2009). Removal of lead, copper, nickel, cobalt, and zinc from water by a cancrinite-type zeolite synthesized from fly ash. *Chemical Engineering Journal*, 145(3), 483-488.

Velarde, H., Zavaleta, A. y Aguilar, Q. (2013). Estudio de la absorción del ion cromo VI con jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). *II Encuentro de Investigadores*. Trujillo: Universidad de Trujillo.

Wang, S. y Peng, Y. (2010). Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 11-24.

Zhou, W., Zhu, D., Lagdon, A., Li, L., Liao, S. y Tan, L. (2011). The structure characterization of cellulose xanthogenate derived from the straw of *Eichhornia crassipes*. *Bioresource Technology*, 100, 5366-5369.

Li, X., Liu, S., Na, Z. y Liu, Z. (2013). Adsorption, concentration, and recovery of aqueous heavy metal ions with the root powder of *Eichhornia crassipes*. *Ecological Engineering*, 60, 160-166.

Xia, H. y Ma, X. (2006). Phytoremediation of ethion by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) from water. *Bioresource Technology*, 97, 1050-1054.