



**Remoción de  $\text{Cr}^{+6}$  mediante una planta macrófita (*Azolla caroliniana*) en un proceso in situ offside de fitorremediación**

Avilés Martínez, Areli; López Almanza, Erick Rodolfo  
Instituto Tecnológico Superior de Abasolo.  
areli.aviles45@gmail.com, erick.almanza@tecabasolo.edu.mx

## Resumen

De acuerdo con el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes del Estado de Guanajuato (SMAOT, 2011), en nuestro estado las fábricas de alimentos, bebidas, tabacos, ropa y zapatos representan la principal fuente de contaminación de agua y aire. La industria textil contamina el 38% del agua, la industria alimenticia contamina el 34.1%, la industria de bebidas y tabaco el 21.7%, el curtido el 5.1%, la producción de aparatos eléctricos y vehículos el 0.2 %; en cada caso, los principales contaminantes emitidos por estas industrias son Pb, Ni, Cr, Cd, cianuro, As y Hg. El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad de utilizar *Azolla caroliniana* en un proceso de fitorremediación para remover ( $\text{Cr}^{+6}$ ) mediante un proceso *in situ offside*. El proceso de fitorremediación se llevó a cabo en sistemas de contención en las instalaciones de la empresa Textil Puerta de Palo Dulce de Abasolo, Gto., durante un periodo de tres meses, la concentración inicial de  $\text{Cr}^{+6}$  fue de 1.7027 mg/L; después del tratamiento con *A. caroliniana*, se obtuvo una reducción promedio de 83.54% del  $\text{Cr}^{+6}$ . También se determinaron algunos parámetros de calidad del agua como sólidos sedimentables, cloro total, demanda bioquímica de oxígeno, pH, nitritos y nitratos. En el caso del pH se inició con un valor de 6.75 y al final del proceso el pH fue de

Vol. 6 (2019) 7º Encuentro de Jóvenes Investigadores



6.69, para el DBO se inició con un valor 128.50-119.50 mg/L y al final fue de 47.69-29.62 mg/L, para SS la concentración inicial fue 1.5-1 mL/L y al final de 0.1 mL/L, para nitratos las concentraciones iniciales y finales fueron de 0 mg/L, para nitritos la concentración inicial fue de 0.35-0.15 mg/L y al final de 0 mg/L y para cloro total se obtuvo una concentración inicial de 5 mL/L y final de 0 mL/L. Los resultados demuestran que *Azolla caroliniana* puede usarse como una planta hiperacumuladora de  $\text{Cr}^{+6}$  en un proceso *in situ offside* y que también se puede aplicar para la depuración de contaminantes presentes en el agua.

## Introducción

Durante las últimas décadas la rápida industrialización ha incrementado el uso de sustancias químicas para los diferentes procesos productivos, estas actividades industriales generan una gran variedad de contaminantes como por ejemplo los metales pesados, entre ellos el cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{+6}$ ) un metal ampliamente difundido en el medio ambiente proveniente de industrias metalúrgicas, minería, curtidumbres, cromados y agricultura. Entre las principales actividades de generación de metales pesados están la industria minera, además de las industrias de curtiduría, manufactureras entre otras. Los metales pesados presentes en aguas residuales generan un problema debido a que no son biodegradables y cuentan con una elevada toxicidad para la vida acuática de cuerpos receptores (Prieto, 2009).

El  $\text{Cr}^{+6}$ , considerado la forma más tóxica del cromo, se encuentra usualmente asociado al oxígeno en forma de cromatos ( $\text{CrO}_4^{-2}$ ) y dicromatos ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ ), que debido a su gran solubilidad son altamente móviles en el suelo y en ambientes acuáticos. El  $\text{Cr}^{+6}$  es un fuerte agente oxidante y en presencia de materia orgánica es reducido a  $\text{Cr}^{+3}$ , esta transformación es más rápida en ambientes ácidos. Por otro lado, niveles elevados de  $\text{Cr}^{+6}$  pueden sobrepasar la capacidad reductora del ambiente y puede así persistir como un contaminante (Gutiérrez *et al.*, 2010).



Los compuestos del cromo se encuentran entre los más tóxicos desde la perspectiva ambiental, causando daños carcinógenos y mutágenos. La toxicidad y la absorción de cromo por vía oral depende del estado de oxidación, aunque en ocasiones esta pueda ser relativamente baja, el  $\text{Cr}^{+6}$  se absorbe de manera más rápida por el tracto gastrointestinal pudiendo atravesar las membranas celulares, a diferencia del  $\text{Cr}^{+3}$  (Cisneros, 2005).

Se sabe que el  $\text{Cr}^{+6}$  es cancerígeno por inhalación y que probablemente este sea más tóxico por inhalación que por ingestión. Muchos estudios realizados han revelado altas tasa de cáncer de pulmón en operarios que trabajan en la industria de acero o en la industria textil a causa de estar expuestos a la inhalación del cromo (Velandia & Montañez, 2010).

Actualmente existe una gran cantidad de procedimientos para la reducción de la concentración de metales pesados en aguas residuales, entre las cuales se pueden mencionar: precipitación química, ósmosis inversa e intercambio iónico, sin embargo, estas técnicas son costosas o no permiten el reciclaje de agua (López & Maldonado, 2017).

Debido a ello, es que se están generando tecnologías más accesibles, una de ellas es la fitorremediación, que se basa en el uso de plantas para reducir la concentración de contaminantes presentes en suelo, agua y aire a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema radicular que conducen a la reducción de distintos tipos de contaminantes, incluidos los metales pesados (Núñez *et al.*, 2004).

La fitorremediación acuática es una técnica *in situ* por la cual las plantas pueden depurar las aguas contaminadas de compuestos tóxicos presentes. La fitorremediación acuática se puede considerar como una alternativa ecológica y económicamente viable para tratamientos de efluentes municipales como para efluentes industriales (Mera, 2016).



Se han estudiado distintas plantas acuáticas en sistemas de depuración de aguas residuales, entre las cuales se encuentran, las macrófitas acuáticas flotantes como la lenteja de agua o Lemna (*Lemna spp*), Azolla (*Azolla spp*) y Jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*) (García, 2012).

Por esta razón es que se estudia la capacidad fitorremediadora de *Azolla caroliniana*, una planta acuática, para analizar su efectividad en la remoción de cromo hexavalente mediante un proceso *in situ offside*. Esta planta pertenece a la familia de las *Salvinaceas*, es un helecho acuático que se encuentra en la superficie de estanques, lagos y pantanos (Castro, 2008).

### **Objetivos.**

El objetivo de esta investigación consistió en reducir la concentración de  $\text{Cr}^{+6}$  mediante un proceso de fitorremediación *in situ offside* utilizando *Azolla caroliniana*, en un sitio contaminado. Para esto se identificó un cuerpo de agua con la presencia del ion metálico, se establecieron los tratamientos *in situ offside* con *A. caroliniana* y se realizó un monitoreo semanal de los mismos.

### **Justificación.**

Para la eliminación de metales pesados es importante aplicar tecnologías económicas y amigables con el medio ambiente, una alternativa es el uso de tecnologías de remediación debido a sus ventajas; son de bajo costo, son efectivas para la remoción de metales pesados y son amigables con el medio ambiente.

En este sentido, en nuestro país la biotecnología puede convertirse en una opción viable, ofreciendo de una manera natural la aplicación de métodos alternativos para el tratamiento de metales pesados en los efluentes de residuos industriales y municipales, disminuyendo de esta forma los costos de operación y aumentando



la eficiencia del tratamiento (Ballesteros, 2011), esto en comparación de métodos fisicoquímicos tales como precipitación química, oxidación química, tratamiento electroquímico, filtración, vitrificación, reducción química con orgánicos, reducción con sulfato ferroso, electroremediación, reducción por sulfuro de sodio, intercambio iónico y tecnología de membranas que son de mayor costo (Campos Medina, 2008; Rangel, Isarain & Maldonado, 2015)).

### **Metodología.**

Se realizó una toma de muestra simple de agua residual en la maquiladora ubicada en el municipio de la Puerta de Palo Dulce de Abasolo, Gto, donde se realizan procesos de teñido de pantalones de mezclilla. La muestra se tomó lo más cerca al área de descarga de sus aguas residuales para que esta tuviera las características del efluente total, el volumen que se obtuvo de la muestra fue de 2 L.

Esta muestra se analizó para determinar la presencia de  $\text{Cr}^{+6}$ , mediante el método colorimétrico establecido en la NMX-AA-044-SCFI-2014. Además de la determinación de  $\text{Cr}^{+6}$  se determinaron otros parámetros de calidad como: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), nitritos, nitratos, cloro total, sólidos sedimentables y pH.

Se diseñaron dos sistemas de contención ( $M_1$  y  $M_2$ ) a un costado del área de descarga de agua residual que realiza la maquiladora (Figura 1), estos sistemas consistieron en una excavación profunda de aproximadamente  $1 \text{ m}^3$  con la finalidad de almacenar agua residual y establecer las plantas de *A. caroliniana*, a cada sistema se le colocó una pequeña cantidad de grava y un hule de  $4 \times 3 \text{ m}$  para impermeabilizarlos y se llenaron con 50 L de agua residual contaminada con  $\text{Cr}^{+6}$ .



Figura 1. Diseño y construcción de los sistemas de tratamiento.

En el sistema  $M_1$  se agregaron 500 plantas de *A. caroliniana* y en el sistema  $M_2$ , 200 plantas de *A. caroliniana* en combinación con 80 plantas de *Salvinia natans*, otra planta macrófita. A cada sistema se le agregaron 50 mL de una mezcla de nutrientes (nitrógeno, potasio y fósforo) cada tercer día.

Los tratamientos se mantuvieron durante tres meses, una vez finalizado el proceso de fitorremediación se retiraron las plantas del sistema de contención para su incineración. Para esto, se llevaron a un horno a una temperatura de 90 °C durante 6 horas.

## Resultados.

Con el análisis colorimétrico se determinó una concentración inicial en  $M_1$  de 1.702 mg/L y en  $M_2$  de 2.590 mg/L de  $Cr^{+6}$ . Durante el tiempo en el que se llevó a cabo el proceso de fitorremediación se realizaron cinco análisis para determinar el porcentaje de remoción durante el proceso de fitorremediación. El porcentaje de remoción parcial y total de  $Cr^{+6}$  para  $M_1$  y  $M_2$ , se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Porcentajes de remoción de  $Cr^{+6}$ .

Sistema			
$M_1$		$M_2$	
Análisis	% de remoción de $Cr^{+6}$	Análisis	% de remoción de $Cr^{+6}$
1	18.85	1	17.49
2	41.95	2	42.12
3	57.39	3	14.12
4	12.20	4	30.29



5	26.65	5	30.18
% total	87.06	% total	80.03

En M1, el porcentaje de remoción equivale a un 1.4909 mg/L de Cr<sup>+6</sup> que fue acumulado por la planta, y en M2 equivale a 2.0728 mg/L de Cr<sup>+6</sup> acumulado por la planta, esto indica que el remanente de Cr<sup>+6</sup> en los tratamientos M1 y M2 fue de 0.512 ppm y de 0.220 ppm respectivamente. Los parámetros de calidad del agua también se analizaron al inicio y final del tratamiento, los resultados se muestran en la Tabla 2, cabe señalar que los LMP para Nitratos, Nitritos, Sólidos sedimentables y DBO son de 10 mg/L, 0.05 mg/L, 1 mL/L y 30 mg/L respectivamente (SSA, 2000; SEMARNAT, 2003), en el caso de cloro total, en nuestro país solo hay normas estandarizadas para su medición, sin embargo, no hay normas oficiales donde se establezcan LMP, por lo que se realizó la búsqueda de valores de LMP para cloro en otros países, encontrándose solamente el Reglamento de Protección Ambiental (Normas para la descarga de efluentes) de 2003 de las Islas Mauricio, el cual es de 0.5 mg/L, por lo que se tomó como referencia este valor (FAO,2003).

Tabla 2. Parámetros de calidad del agua.

Sistema				
Parámetro	M <sub>1</sub>		M <sub>2</sub>	
	Concentración Inicial	Concentración Final	Concentración Inicial	Concentración Final
Nitratos (mg/L)	0	0	0	0
Nitritos (mg/L)	0.35	0	0.75	0
Cloro total (mL/L)	5	0	5	0
Sólidos sedimentables (mL/L)	1	0.1	1.5	0.1



DBO (mg/L)	128.50	29.62	119.50	47.69
------------	--------	-------	--------	-------

### Conclusiones.

La concentración inicial de  $\text{Cr}^{+6}$ , encontrada en el agua residual proveniente de la empresa Textil Puerta de Palo Dulce, sobrepasa los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para descargas de agua residual, ya que la norma establece que el LMP es de 0.5 mg/L. Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación demuestran que *Azolla caroliniana* es efectiva para la remoción de  $\text{Cr}^{+6}$  en un proceso *in situ offside*, además permitió la reducción de otros parámetros importantes del agua: DBO, sólidos sedimentables, nitritos y cloro total a valores por debajo de los límites máximos permisibles. Por si sola, *A. caroliniana* es más efectiva que en conjunto con otra planta macrófita (*Salvinia natans*) para la eliminación del ion metálico, aunque en ambos casos se logró una remoción importante del metal, ya que en ambos casos se logró obtener una concentración cercana o por debajo de los LMP para el  $\text{Cr}^{+6}$ , el sistema M1, conformado exclusivamente por *A. caroliniana*, presenta un mayor margen de acumulación del metal, esto comprueba que este tipo de tecnologías pueden aplicarse en los sistemas de descargas de distintos procesos productivos para la depuración de las aguas residuales antes de su disposición final.

### Referencias.

Ballesteros Lara, J. L. (2011). *Determinación de la eficacia de Azolla caroliniana como matriz de hiperacumulación de metales pesados cuantificados*. (Tesis de licenciatura). Universidad Politécnica Salesiana.

Campos Medina, E. (2008). *Estudio de la adsorción de cromo hexavalente como biomaterial la ectodermis de Opuntia*. Quivera. *Revista de Estudios Territoriales* 2008, 10 (1), 16-31.



Castro, L. A. (2008). *Remoción de fenantreno por Azolla caroliniana utilizando bioaugmentación con microorganismos hidrocarbonoclastas*. SciELO - Scientific Electronic Library Online.

Cisneros, B. E. (2005). *La contaminación ambiental en México*. México, D.F: Limusa, S.A de C.V. grupo noriega editores.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2003). *Ley de Protección del Medio ambiente (Normas para la descarga de efluentes)*. Obtenido de <http://www.fao.org/faolex/results/details/en/?details=LEX-FAOC052519>

García Trujillo, Z. (2012). *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas* (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional De Ingeniería.

Gutiérrez Corona, J.; Espino Saldaña, A.; Coreño Alonso, A.; Acevedo Aguilar, F. J.; Reyna López; G. E.; Fernández, F.J.; Tomasini, A.; Wrobel 1, K. y Wrobel 2, K. (2010). *Mecanismos de interacción con cromo y aplicaciones biotecnológicas en hongos*. *Rev. Latinoam. Biotecnol. Amb. Algal*, 1(1) 47-63.

López, Erick & Maldonado, Sandro. (2017). *Determinación de la factibilidad del uso de Opuntia ficus-indica como material biosorbente para la retención de cromo hexavalente (Cr<sup>+6</sup>)*. *Revista de Energía Química y Física*, 4(13): 1-11

Mera Ponce, S. R. (2016). *Evaluación de la bioconcentración de dos especies de macrófitas acuáticas en la fitorremediación de un medio contaminado con plomo*. (Tesis de licenciatura). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Núñez López, R. A., Meas Vong, Y., Ortega Borges, R., & J. Olguín, E. (2004). *Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones*. *Ciencia - Academia Mexicana de Ciencias*, 55 (3) 69-83.

Prieto Méndez, J. (2009). *Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 2.

Rangel, A., Isarain, E., & Maldonado, M. (2015). *Caracterización y recuperación de sales de cromo hexavalente de un pasivo ambiental*. *Revista Internacional De*



*Contaminación Ambiental*, 31(4), 427-437. Recuperado de:  
<http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v31n4/v31n4a10.pdf>

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), (2015). NMX-AA-044-SCFI-2014. *Medición de cromo hexavalente en aguas naturales, salinas, residuales y residuales tratadas*. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial de la Federación. 13 de enero de 2015.

Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial (SMAOT), (2011). *Registro de Emisiones y Transferencias de contaminantes del Estado de Guanajuato*. Tomado de [https://smaot.guanajuato.gob.mx/sitio/informacion-sobre-tramites/98/Registro-de-Emisiones-y-Transferencia-de-Contaminantes-\(RETC\)-de-Guanajuato](https://smaot.guanajuato.gob.mx/sitio/informacion-sobre-tramites/98/Registro-de-Emisiones-y-Transferencia-de-Contaminantes-(RETC)-de-Guanajuato)

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), (2003). NOM-001-SEMARNAT-1996. *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. 23 de abril de 2003.

Secretaría de Salud (SSA), (2000). NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION". Diario Oficial de la Federación. 22 de noviembre de 2000.

Velandia Guauque, L. M., & Montañez Cardozo, Y. S. (2010). *Determinación de la concentración letal media (CL50-48) del plomo y cromo hexavalente mediante bioensayos de toxicidad acuática utilizando Daphnia pulex*. (Tesis de licenciatura). Universidad de La Salle.