

BIOADSORCIÓN DE CROMO (VI) EN SOLUCIÓN ACUOSA POR LA BIOMASA DE AMARANTO (*Amaranthus caudatus*)

BIOSORPTION OF CHROMIUM (VI) IN AQUEOUS SOLUTION BY AMARANTH (*Amaranthus caudatus*) BIOMASS

**Adriana Rodríguez¹, Nancy C. Pacheco¹, Juan F. Cárdenas¹, Juana Tovar¹,
Víctor M. Martínez², Ismael Acosta¹**

(1) Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ciencias Químicas, Laboratorio de Micología Experimental, Av. Dr. Manuel Nava No. 6, Zona Universitaria, 78320 San Luis Potosí, S.L.P. - México

(2) Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Av. Universidad Km 1, Rancho Universitario, ex hacienda de Aquetzalpan, 43600 Tulancingo de Bravo, Hidalgo - México
(e-mail: iacosta@uaslp.mx)

Recibido: 30/11/2016 - Evaluado: 08/02/2017 - Aceptado: 28/02/2017

RESUMEN

Se analizó la capacidad de remoción de Cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa de Amaranto, por el método de la difenilcarbazida. La mayor bioadsorción (100% con 100 mg/L del metal) fue a las 4 horas, a pH de 1.0, 28°C y 5 g de biomasa. Con respecto a la temperatura, la más alta remoción fue a los 60°C, con un 100% de remoción a los 75 minutos. A las concentraciones de Cromo (VI) analizadas, la biomasa natural mostró una excelente capacidad de remoción, además de que remueve eficientemente el metal *in situ* (72% y 63% de remoción en tierra y agua contaminadas, a los 7 días de incubación con 25 g de la biomasa). Los resultados muestran que el biosorbente utilizado remueve Cr(VI), de aguas residuales industriales, satisfactoriamente.

ABSTRACT

The removal capacity of Chromium (VI) in aqueous solution by Amaranto biomass, by diphenylcarbazide method was analyzed. The highest biosorption (100% with 100 mg/L of metal) occurred at 4 hours at pH 1.0, 28°C and 5 g of biomass. With respect to the temperature, the highest removal was to 60°C, with 100% of removal after 75 minutes. At the concentrations of Chromium (VI) analyzed, the natural biomass showed excellent removal capacity, and this removal efficiently the metal *in situ* (72% and 63% removal in soil and contaminated water, after 7 days of incubation with 25 g of biomass). The results show that the biosorbent used successfully removes Cr (VI) from industrial wastewater.

Palabras clave: metales pesados, aguas residuales, bioadsorbentes biológicos, remoción
Keywords: heavy metals, wastewater, biological biosorbents, removal

INTRODUCCIÓN

Los efluentes de las tenerías son una de las principales fuentes de contaminación con Cr (VI) de agua y suelos. Este metal se utiliza en el curtido de cuero y pieles, las aleaciones del acero, galvanoplastia, tinción de textiles y como biocida en los sistemas de enfriamiento de aguas en plantas nucleares, descargando el metal al medio ambiente con las consecuencias ya descritas (Ahemad, 2014). El Cr presenta 9 estados de oxidación desde -2 a +6 pero, únicamente son importantes las especies hexavalente y trivalente (Córdoba *et al.*, 1980). El Cr (VI) se encuentra principalmente como cromato (CrO_4^{2-}), el cual a pH ácidos se transforma sucesivamente en cromato protonado (HCrO_4^-), dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) y finalmente en el ácido ($\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) (NOM-052-ECOL-1993). Estos aniones forman sales muy solubles y su sorción en superficies de arcillas y oxi-hidróxidos es muy baja (Córdoba *et al.*, 1980), por lo que representan una fuente de contaminación para los cuerpos de agua y suelos, y un riesgo potencial para la biota y población humana expuestas. Es una especie química muy oxidante y tiene efectos mutagénicos, carcinogénicos y/o teratogénicos (Acevedo *et al.*, 2006).

Las principales técnicas para recuperar o remover Cr (VI) de aguas residuales son: reducción química y precipitación, adsorción sobre carbón activado, intercambio iónico y ósmosis inversa. Actualmente, el proceso más empleado es la reducción de las especies de Cr (VI) para formar compuestos insolubles de Cr (III), utilizando un agente reductor y una sustancia básica, usualmente lechada de cal, para formar hidróxido de cromo (III), que es un compuesto de muy baja solubilidad (Gutiérrez-Corona *et al.*, 2016). Sin embargo, esos métodos presentan desventajas, como altos costos, baja eficiencia, generación de residuos tóxicos u otros, que requieren de una disposición controlada, lo que complica la operación y el control del proceso (Ahemad, 2014). Por otro lado, también se han utilizado materiales de desecho, como residuos industriales agrícolas o urbanos para la eliminación y/o recuperación de metales pesados de efluentes industriales contaminados, entre los que se encuentran: Tierras diatomeas modificadas con surfactantes (Abu-Zurayk *et al.*, 2015), cáscara de maíz (Aranda-García *et al.*, 2010), diferentes cortezas frutales (Kelly-Vargas *et al.*, 2012), residuos de manzana (Lee *et al.*, 1998), corteza de árbol (Sarin & Pant, 2006), cáscara de avellana (Cimino *et al.*, 2000), cáscara de mandarina y naranja (Pavan *et al.*, 2006; Pérez *et al.*, 2007), semillas y cáscara de tamarindo tratada con ácido clorhídrico y ácido oxálico (Popurí *et al.*, 2007), organelos de *Chlorella vulgaris* en solución acuosa (Agarwal *et al.*, 2006; Chen *et al.*, 2016) y el alga verde *Spirogyra porticalis* (Sayyaf *et al.*, 2016), con resultados satisfactorios, por lo que es de gran interés analizar otros materiales de desecho y por lo tanto económicos, para tratar de eliminar el Cr (VI) de aguas y suelos contaminados, así como la biorremediación de los mismos (Tejada-Tovar *et al.*, 2015). El presente trabajo reporta la remoción de Cr (VI) en solución acuosa por la biomasa de Amaranto (*Amaranthus caudatus*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Bioadsorbente utilizado

La biomasa se obtuvo a partir de Amaranto comercial obtenido de diferentes tiendas naturistas en San Luis Potosí, S.L.P., México. Para la obtención de la biomasa, el Amaranto se lavó 72 horas con agua tridesionizada y agitación constante, con cambios del agua cada 12 horas. Posteriormente, se hirvió 1 hora para eliminar los restos de materia orgánica, se secó en horno bacteriológico a 80°C durante 12 horas, se molió en licuadora y se guardó en frascos ámbar hasta su uso.

Soluciones de Cr (VI)

Se trabajó con 100 mL de una solución de 100 mg/L de Cr (VI), obtenida por dilución de una solución patrón de 1.0 g/L preparada en agua tridesionizada a partir de cromato de potasio. Se ajustó el pH de la dilución a analizar con ácido nítrico (HNO_3) 1 M y/o hidróxido de sodio (NaOH) 1 M, antes de adicionarla a la biomasa celular.

Estudios de remoción y reducción

Se mezclaron 5 g de la biomasa de Amaranto (previamente esterilizada a 15 lb y 120°C) con 100 mL de una solución de Cr (VI) (100 – 1000 mg/L) a 100 rpm y a una determinada temperatura (28-60°C) y pH (1-4) de incubación. A diferentes tiempos se tomaron alícuotas de 5 mL que fueron centrifugadas a 3000 rpm y en el sobrenadante se determinó la concentración de Cr (VI) por el método de la Difenilcarbazida a 540 nm en un Espectrofotómetro Genesys 10S Uv-Vis (Thermo Scientific) (Greenberg *et al.*, 1998). Todos los experimentos se realizaron un mínimo de 3 veces y por triplicado, y los reactivos utilizados fueron grado reactivo.

Ensayos de biorremediación

A matraces Erlenmeyer de 250 mL conteniendo 5 g de biomasa, se les agregaron 20 g de tierra contaminada con aproximadamente 297 mg Cr (VI)/g de tierra, y 175 mL de agua contaminada con 400 mg/L de Cr (VI), obtenidas de una tina de lavado de una cromadora de Celaya, Gto. México, aforando a un volumen final de 200 mL con agua tridesionizada. Posteriormente la mezcla se incubó a 28°C con agitación constante (100 rpm), y a diferentes intervalos de tiempo se le determinó la concentración de Cr (VI) en el sobrenadante. Todos los experimentos se realizaron 3 veces y por duplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizó la bioadsorción de 100 mg/L de Cr (VI), a diferentes tiempos y pH's, encontrando que a pH de 1.0 se remueve el 100% del metal a las 4 h a 28°C (Figura 1). La literatura (Abu-Zurayk *et al.*, 2015), reporta diferentes tiempos de incubación para la biomasa de tierras diatomeas modificadas con surfactantes (120 y 180 minutos), a un pH de 2.0, y una concentración constante del bioadsorbente (0.2 g/50 mL), 50 mg/L del metal, un pH de 2.0 y 5 días para *Aspergillus niger* (Park *et al.*, 2005) con 10 g/L de biomasa, y un pH de 3.0 con 40 mg/L y 60 minutos para el alga verde *Spirogyra porticalis* (Sayyaf *et al.*, 2016). Cambios en la permeabilidad, de origen desconocido, podrían explicar en parte las diferencias encontradas en el tiempo de incubación, proporcionando mayor o menor exposición de los grupos funcionales de la pared celular de la biomasa analizada (Kratochvil & Volesky, 1998). Con respecto a la influencia del pH inicial, se encontró que la mayor remoción (100%) se evidenció a pH 1.0 y 4 h. Se ha reportado un pH óptimo de 1.0 para las biomásas de *Magnifera indica*, *Musa paradisiaca*, *Citrus paradise*, *Cucumis melo* y *Cucurbita máxima* (Acosta Rodríguez *et al.*, 2015) y para los residuos de zanahoria (Bhatti *et al.*, 2010), aunque otros reportes indican un pH óptimo de 2.0 para las semillas de tamarindo (Agarwal *et al.*, 2006), la corteza de eucalipto (Sarin & Pant, 2006); bagazo y pulpa de caña de azúcar (Sharma & Forster, 1994). El Cr (VI) se encuentra como HCrO_4^- , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, CrO_4^{2-} , $\text{Cr}_4\text{O}_{13}^{2-}$, $\text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-}$ (Rollinson, 1973). Un descenso en el pH causa la protonación de la superficie del adsorbente, lo que induce una fuerte atracción por los iones Cr (VI) de la solución cargados negativamente, por lo que la bioadsorción se incrementa al aumentar la acidez de la solución. Al aumentar el pH se incrementa la concentración de hidroxilos, y se producen cambios en la superficie del adsorbente que impide la bioadsorción de los iones de Cr (VI) cargados negativamente, lo cual disminuye la adsorción del metal a estos valores de pH (Gutiérrez-Corona *et al.*, 2016). También se encontró que a mayor temperatura es mayor la bioadsorción del metal, pues a 60°C se elimina el 100% a los 75 minutos (Figura 2), resultados que son coincidentes con los de la cáscara de *Sterculia guttata* natural y activada con ZnCl_2 (Rangabhashiyam y Selvaraju, 2015), con un 100% a los 60 y 140 minutos; un 98% de remoción a 58°C y 180 minutos, para la semilla de tamarindo (Agarwal *et al.*, 2006). El incremento en la temperatura, aumenta la velocidad de remoción de Cromo (VI) y disminuye el tiempo de contacto requerido para la completa remoción del metal, por incrementar la velocidad de reacción redox (Wittbrodt & Palmer, 1996).

Con respecto al efecto de diferentes concentraciones de Cr (VI) en solución, a un pH de 1.0 +/- 0.2, con 5 g de biomasa, a 28°C y 100 rpm, se encontró que la concentración del metal influye en la remoción del mismo, pues a las 24 horas, se muestra un porcentaje de Cr (VI) en solución de 28% y 35% aproximadamente para las concentraciones de 800 y 1000 ppm ensayadas, aunque a 200 mg/L se elimina el 100% a las 10 horas (Figura 3). Estos resultados son similares a los reportados para la biomasa de la cáscara de toronja (Alcaraz Vázquez *et*

al., 2015) y para las hojas de *Melaleuca diosmifolia* (Kuppusamy *et al.*, 2016). Algunos autores (Bai & Abraham, 2001), sostienen que la cantidad de metal eliminado por las biomazas de diferentes microorganismos, tales como *Mucor hiemalis* y *Rhizopus nigricans* aumenta en proporción directa con el incremento de la concentración del ion metálico en solución. Con respecto a las otras biomazas utilizadas, la mayoría de los autores reportan menores eficiencias de remoción del metal, por ejemplo: 45 mg/L por la corteza de eucalipto (Sarín & Pant, 2006); 13.4 y 17.2 mg/L por bagazo y pulpa de caña de azúcar (Sharma & Foster, 1994), 29 mg/L por fibras de coco (Huang & Wu, 1977) y 8.66 mg/L por la lana (Dakiki *et al.*, 2002).

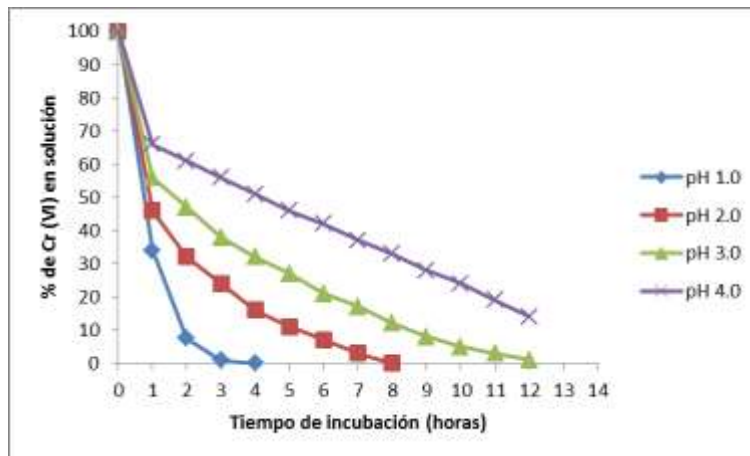


Fig. 1: Efecto del tiempo de incubación y del pH inicial sobre la remoción de Cromo (VI) por la Biomasa de Amarantho (5 g de biomasa, 100 mg/L Cr (VI), 28°C, 100 rpm).

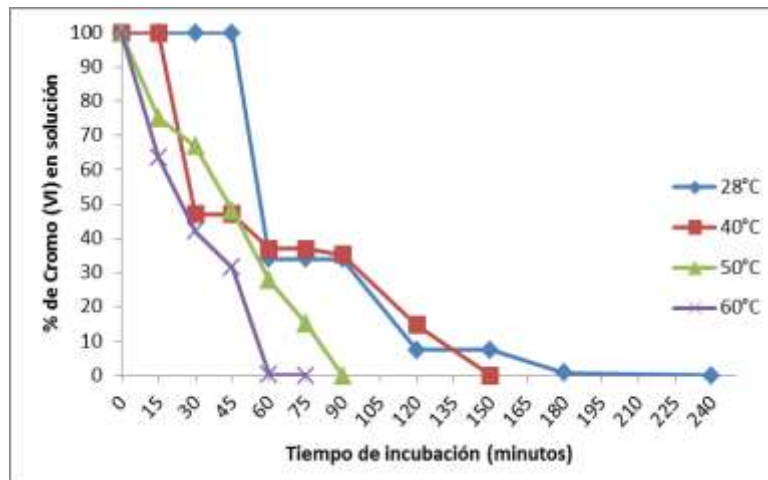


Fig. 2: Efecto de la temperatura de incubación sobre la remoción de Cromo (VI) por la biomasa de Amarantho (5 g de biomasa, 100 mg/L Cr (VI), pH= 1.0, 100 rpm).

Por otro lado, a mayor concentración de la biomasa hay mayor remoción del metal en solución (Figura 4), pues hay más sitios de bioadsorción del metal, ya que la cantidad de bioadsorbente añadido determina el número de sitios de unión disponibles para la bioadsorción del metal (Cervantes *et al.*, 2001). Resultados similares se han reportado para la biomasa de la cáscara de *Sterculia guttata* natural y activada con $ZnCl_2$ (Rangabhashiyam y Selvaraju, 2015), para las hojas de *Melaleuca diosmifolia* (Kuppusamy *et al.*, 2016) y para *Rizhopus nigricans*,

aunque éstos últimos con 10 g de biomasa (Bai & Abraham, 2001), pero son diferentes a lo reportado para la biomasa de los desechos de mandarina (gabazo), en la cual se reporta una concentración óptima de biomasa de 100 mg/L (Zubair *et al.*, 2008), y para tierras diatomeas modificadas con surfactantes, con un 55% y 85% de remoción, con 0.2 g/50 mL del metal (Abu-Zurayk *et al.*, 2015).

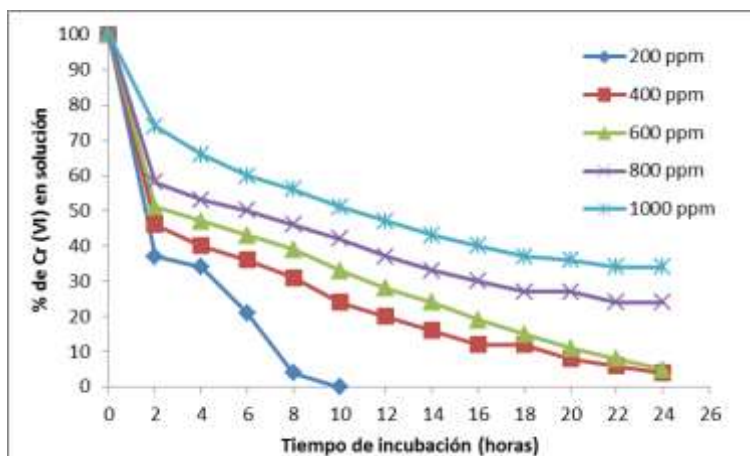


Fig. 3: Efecto de la concentración de Cromo (VI) sobre la remoción del mismo (5 g de biomasa, 28°C, pH= 1.0, 100 rpm).

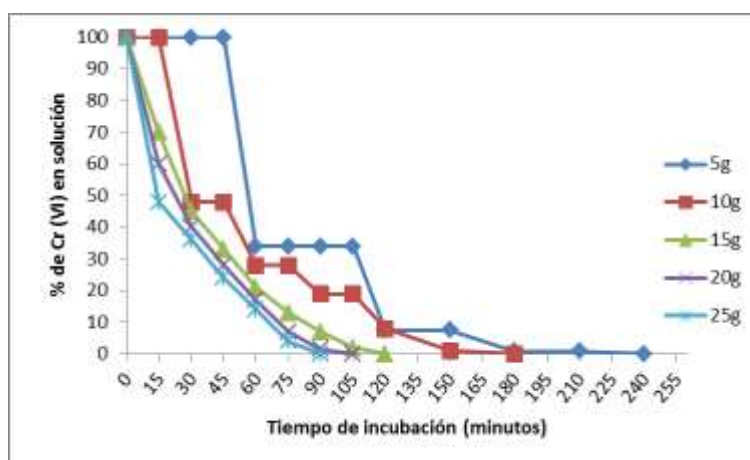


Fig. 4: Efecto de diferentes concentraciones de biomasa sobre la remoción de Cromo (VI) (28°C, pH= 1.0, 100 rpm).

Por otra parte, los reportes sobre aplicaciones de biomasa naturales y microorganismos para estudios de biorremediación de suelos contaminados con cromato son escasos, como el empleo de bacterias no identificadas, nativas del sitio contaminado, las cuales se utilizaron en biorreactores para tratar suelo contaminado con el metal (Jeyasingh & Philip, 2004); bacterias reductoras de Cr (VI) no identificadas, nativas de un sitio contaminado, en combinación con el hongo *Ganoderma lucidum* (Krishna & Philip, 2005) y la adición de triptona de soya a suelo adicionado de 1000 mg/L de Cr (VI), lo cual incrementa la reducción del ion, debido a la acción de microorganismos presentes en el suelo, aunque tal acción no es observada en suelo con mayores concentraciones (10,000 mg/L) de Cr (VI) (Tokunaga *et al.*, 2003) y el posible uso de una cepa de *Paecilomyces* sp., para eliminarlo de desechos industriales, adaptando un ensayo de biorremediación en solución acuosa,

incubando la biomasa micelial con suelo no estéril, contaminado con 50 mg Cr (VI)/g de tierra, resuspendiendo en medio mínimo de Lee, pH 4.0, 28°C y 100 rpm, observando que después de ocho días de incubación con la biomasa fúngica, disminuye totalmente la concentración de Cr (VI) de la muestra de suelo contaminado (Cárdenas-González & Acosta-Rodríguez, 2011). También, se ha analizado la capacidad de la levadura *Candida tropicalis* para la remoción de Cr en suelos contaminados artificialmente, en un sistema de microcosmos, encontrando una reducción de un 72.2% del metal (40 mg/L de concentración inicial) (Bahafid *et al.*, 2016). Además, se usó una cepa de *Aspergillus niger* aislada de una tenería, en el tratamiento de aguas residuales, reportando una remoción del 88% de una concentración inicial de Cr (III) de 1300 mg/L (Sepehr *et al.*, 2012), el uso de un consorcio fúngico resistente a Cr (VI), inmovilizado en un reactor con aguas residuales de una tenería, con una eficiencia del 99.9% de remoción del Cr total presente (Sharma & Malaviya, 2016), y en columnas empacadas con la biomasa de la cáscara de *Sterculia guttata* natural y activada con ZnCl₂ para la remoción de Cr (VI) (Rangabhashiyam & Selvaraju, 2015).

Con el objeto de analizar el posible uso de la biomasa de Amarantho para eliminar Cr (VI) de desechos industriales, se adaptó un ensayo de biorremediación en solución acuosa, incubando 25 g de biomasa con tierra no estéril, contaminada con 297 mg Cr (VI)/g de tierra y 100 mL de agua contaminada con aproximadamente con 400 mg de Cr (VI), resuspendiendo la tierra en agua tridesionizada a 28°C y 100 rpm, observando que después de 7 días de incubación se remueve el 72% y 63% del metal, de las muestras de tierra y agua contaminadas, sin cambios significativos en el contenido de Cr total (Figura 5), lo cual coincide con los reportes de la literatura con bacterias, hongos y levaduras aislados de sitios contaminados con el mismo metal como: *Pseudomonas* sp. (Maclean & Beveridge, 2001), *Arthrobacter rhombi* (Elangovan *et al.*, 2009), *Candida maltosa* (Ramírez *et al.*, 2004), *Aspergillus* sp. (Acevedo *et al.*, 2006) y *Aspergillus niger* (Khambhaty *et al.*, 2009), además de con algunas biomazas naturales como: las biomazas de las cáscaras de *Magnifera indica*, *Musa paradisiaca*, *Citrus paradise*, *Cucumis melo* y *Cucurbita máxima* (Acosta Rodríguez *et al.*, 2015) y toronja (Alcaraz Vázquez *et al.*, 2015), para la cáscara de bellota de encino (Kuppusamy *et al.*, 2015) y para las hojas de *Melaleuca diosmifolia* (Kuppusamy *et al.*, 2016).

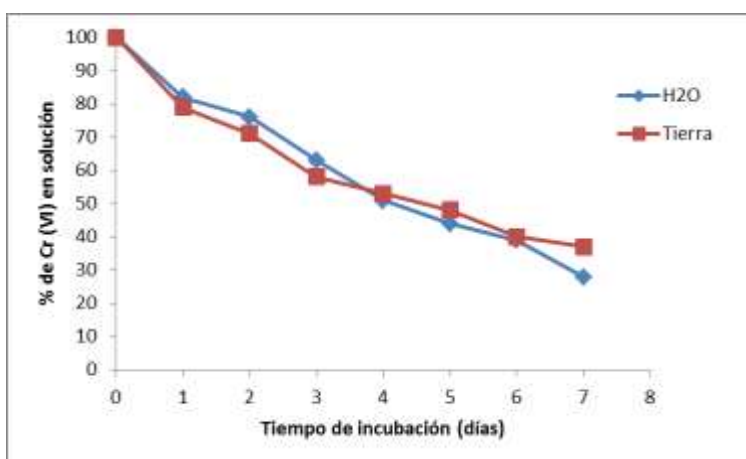


Fig. 5: Biorremediación de 297 mg de Cromo (VI)/g de tierra y 400 mg/L agua contaminadas, por la biomasa de Amarantho (25 g de biomasa, 20 g de tierra, 28°C, 100 rpm).

CONCLUSIONES

La biomasa de Amarantho mostro una excelente capacidad para bioabsorber 1 g/L de Cr (VI) en solución, después de 24 h de incubación, a 28°C, 100 rpm y 5 g de biomasa; además, puede remover eficientemente el metal *in situ* (72% y 63% de remoción, con 7 días de incubación, 25 g de biomasa, en suelo y agua

contaminados con el metal). Estos resultados sugieren la potencial aplicabilidad de esta biomasa para la remediación de lugares contaminados con Cr (VI).

REFERENCIAS

1. Abu-Zurayk, R.A., Al Bakain; R.Z., Hamadnehb, I. & Al-Dujaili, A.H. (2015). Adsorption of Pb(II), Cr(III) and Cr(VI) from aqueous solution by surfactant-modified diatomaceous earth: Equilibrium, kinetic and thermodynamic modeling studies. *Int. J. Mineral Process.*, 140, 79–87.
2. Acevedo, F., Espino, A.A., León, I., Rivera, M.E., Ávila, M., Wrobel, K. *et al.* (2006). Hexavalent chromium removal in Vitro and from industrial wastes, using chromate-resistant strains of filamentous fungi indigenous to contaminated wastes. *Can. J. of Microbiol.*, 52 (9), 809-815.
3. Acosta Rodríguez, I., Cárdenas González, J.F., Torre Bouscoulet, M.E., González Estrada, A., Guerrero Martínez, S.E., Salazar Salazar *et al.* (2015). Biosorption of chromium (VI) by different natural biomasses. *JMEST*, 2(7), 1736-1741.
4. Agarwal, G.S., Kumar, H. & Chaudari, S. (2006). Biosorption of aqueous chromium (VI) by *Tamarindus indica* seeds. *Biores. Technol.*, 97, 949-956.
5. Ahemad, M. (2014). Bacterial mechanisms for Cr(VI) resistance and reduction: an overview and recent advances. *Folia Microbiol.*, 59, 321–332.
6. Alcaraz Vázquez, I., Torres Ramírez, L., Cárdenas González, J.F., Moctezuma Zárate, M.G., Martínez Juárez, V.M. & Acosta Rodríguez, I. (2015). *El uso de la cáscara de toronja (Citrus paradisi), para la eliminación de cromo (VI) de sitios contaminados.* En: Tendencias de Investigación en Ciencias Naturales y Exactas. Editores: Carranza Álvarez, C. y Hernández Morales, A. UASLP. México. pp. 13-20.
7. Aranda-García, E., Netzahuatl-Muñoz, A.R., Cristiani-Urbina, C., Morales-Barrera, L., Pineda-Camacho, G. & Cristiani-Urbina, E. (2010). Bioreduction of Cr(VI) and chromium biosorption by a corn shell of *Quercus crassipes* humb. & bonpl. *J. Biotechnol.*, 150, 228-228.
8. Bhatti, H.N., Nasir, A.W., & Hanif, M.A. (2010). Efficacy of *Daucus carota* L. waste biomass for the removal of chromium from aqueous solutions. *Desalination*, 253, 78–87.
9. Bahafid, W., Joutey, N.T., Sayel, H.W., Boularab, S. & EL Ghachtouli, N. (2016). Bioaugmentation of chromium-polluted soil microcosms with *Candida tropicalis* diminishes phytoavailable chromium. *J. Apl. Microbiol.*, 115, pp. 727-734.
10. Bai, R.S. & Abraham, T.E. (2001). Biosorption of Cr (VI) from aqueous solution by *Rhizopus nigricans*. *Biores. Technol.*, 79, 73-81.
11. Cárdenas-González, J.F. & Acosta-Rodríguez, I. (2011). *Hexavalent chromium removal by a Paecilomyces sp fungal.* In: Progress in Biomass and Bioenergy Production. Edited by Syed Shahid Shaukat. INTECH. Croatia. Chapter 7. pp 133-150. ISBN: 978-953-307-491-7.
12. Cervantes, C., Campos-García, J., Devars, S., Gutiérrez-Corona, J.F., Lozano-Talavera, H., Torres-Guzmán, J.C. *et al.* (2001). Interactions of chromium with microorganisms and plants. *FEMS Microbiol. Rev.*, 25, 333-347.

13. Chen, Z., Song, S. & Wen, Y. (2016). Reduction of Cr (VI) into Cr (III) by organelles of *Chlorella vulgaris* in aqueous solution: An organelle-level attempt. *Science of the Total Environ.* 572, 361–368.
14. Cimino, G., Passerini, A. & Toscano, G. (2000). Removal of toxic cations and Cr(VI) from aqueous solution by hazelnut shell. *Water Research*, 34 (11), 2955-2962.
15. Córdoba, D., Cotton, F.A. & Wilkinson, G. (1980). *Advanced Inorganic Chemistry*, 4a Ed. John Wiley&Sons. Chichester, Uk; 376-379.
16. Dakiki, M., Khamis, M., Manassra, A. & Mereb, M. (2002). Selective adsorption of chromium (VI) in industrial wastewater using low cost abundantly adsorbents. *Adv. Environ. Res.*, 6, 533-540.
17. Elangovan, R., Philip, L. & Chandraraj, K. (2009). Hexavalent chromium reduction by free and immobilized cell-free extract of *Arthrobacter rhombi*-RE. *Appl. and Biochem. Biotechnol.* 160 (1), 81-97.
18. Greenberg, A.E., Clesceri, L.S. & Eaton, A.D. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18a ed. American Public Health Association. Washington DC. 3.58-3.60.
19. Gutiérrez- Corona, J.F., Romo-Rodríguez, P., Santos-Escobar, F., Espino-Saldaña, A.E. & Hernández- Escoto, H. (2016). Microbial interactions with chromium: basic biological process and applications in environmental biotechnology. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 32 (191), 1-9.
20. Huang, C.P. & Wu, M.H. (1977). The removal chromium (VI) from dilute aqueous solution by activated carbon. *Wat. Res.*, 11, 673-679.
21. Jeyasingh, J. & Philip, L. (2004). Bioremediation of chromium contaminated soil: optimization of operating parameters under laboratory conditions. *J. Hazard. Mater.*, 118 (1-3), 113-120.
22. Kelly-Vargas, K., Cerro-López, M., Reyna-Téllez, S., Bandala, E.R. & Sánchez-Salas, J.L. (2012). Biosorption of heavy metals in polluted water, using different waste fruit cortex. *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C*, 37-39, 26-29.
23. Khambhaty, Y., Mody, K., Basha, S. & Jha, B. (2009). Kinetics equilibrium and thermodynamic studies on biosorption of hexavalent chromium by dead fungal biomass of marine *Aspergillus niger*. *Chem. Eng. J.*, 145, 489-495.
24. Kratochvil, D. & Volesky, B. (1998). Advances in the biosorption of heavy metals. *TIBTECH*, 16, 291- 300.
25. Krishna, K.R. & Philip, L. (2005). Bioremediation of Cr (VI) in contaminated soils. *J. Hazard. Mater.*, 121 (1-3), 109-117.
26. Kuppusamy, S., Thavamanic, P., Megharajb, M. Venkateswarlue, K., Bok Lee, Y. & Ravi Naidub, R. (2015). Oak (*Quercus robur*) Acorn Peel as a Low-Cost Adsorbent for Hexavalent Chromium Removal from Aquatic Ecosystems and Industrial Effluents. *Water Air Soil Pollut.*, 227 (62), 1-11.
27. Kuppusamy, S., Thavamanic, P., Megharajb, M. Venkateswarlue, K., Bok Lee, Y. & Ravi Naidub, R. (2016). Potential of *Melaleuca diosmifolia* leaf as a low-cost adsorbent for hexavalent chromium removal from contaminated water bodies. *Process Safety and Environ. Protec.*, 100, 173–182.
28. Lee, S.H., Jung, C.H., Chung, H., Lee, M.Y. & Yang, W. (1998). Removal of heavy metals from aqueous solution by apple residues. *Process Biochem.*, 33, 205-211.

29. McLean, J. & Beveridge, T.J. (2001). Chromate reduction by a *Pseudomona* isolated from a site contaminated with chromate copper arsenate. *Appl. Environ. Microbiol.*, *67*, 1076-1084.
30. Norma Oficial Mexicana: NOM-052-ECOL- 1993 (1993), que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. 22-10-93.
31. Park, D., Yun, Y., Jo, J. & Park, J.M. (2005). Mechanism of hexavalent chromium removal by dead fungal biomass of *Aspergillus niger*. *Wat. Res.*, *39*, 533-540.
32. Pavan, F.A., Lima, I.S., Airoidi, C. & Gushikem, Y. (2006). Use of pokan Mandarin Peels as biosorbent for toxic metals uptake from aqueous solutions. *J. Hazard. Mater.*, *137*, 527-533.
33. Pérez, A.B., Meseguer Zapata, V., Ortuño, J.F., Aguilar, M., Sáez, J. & Lloréns, M. (2007). Removal of cadmium from aqueous solutions by adsorption onto orange waste. *J. Hazardous Materials*, *139*, 122-131.
34. Popuri, R.S., Jammala, A., Naga Suresh, K. & Abuburi, K. (2007). Biosorption of hexavalent chromium using tamarind (*Tamarindus indica*) fruit shell-a comparative study. *Journal of Biotechnology*, *10* (3), 358-367.
35. Rangabhashiyam, S. & Selvaraju, N. (2015). Adsorptive remediation of hexavalent chromium from synthetic wastewater by a natural and ZnCl₂ activated *Sterculia guttata* shell. *J. Molec. Liq.*, *207*, 39-49.
36. Ramírez, R., Calvo, C., Avila, M., Lappe, P., Ulloa, M., Vázquez, R. *et al.* (2004). Cr (VI) reduction in a Chromate-resistant strain of *Candida maltose* isolated from the leather industry. *Antonie van Leeuwenhoek*, *85*, 63-68.
37. Rollinson, C. (1973). *Chromium, molybdenum and tungsten*, in: Comprehensive Organic Chemistry, 3a. ed. Ed. Dickson, T. Pergamon Press, Oxford, UK, 691-694.
38. Sarin, V. & Pant, K.K. (2006). Removal of chromium from industrial waste by using eucalyptus bark. *Bioresource Technology*, *97*, 15-20.
39. Sayyaf, H., Gholam Reza Mostafaii, G.R., Iranshahi, L., Mosavi, G.A. & Aseman, E. (2016). Removal of Cr(VI) from synthetic aqueous solutions by filamentous green algae *Spirogyra porticalis*. *Desal. Water Treat.* *57*, 18438-18445.
40. Sepehr, M.N., Nasser, S., Zarrabi, M., Samarghandi, M.R. & Amrane, A. (2012). Removal of Cr(III) from model solutions by isolated *Aspergillus niger* in airlift bioreactor. *Sep. Purif. Technol.*, *96*, 256-252.
41. Sharma, D.C. & Forster, C.F. (1994). A preliminary examination into the adsorption of hexavalent chromium using low-cost adsorbents. *Biores. Technol.*, *47*, 257-264.
42. Sharma, S. & Malaviya, P. (2016). Bioremediation of tannery wastewater by chromium resistant novel fungal consortium. *Ecol. Eng.*, *91*, pp. 419-425.
43. Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, A. & Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno-Lógicas*, *18* (34), 109-123.
44. Tokunaga, T.K., Wan, J., Firestone, M.K., Hazen, T.C., Olson, K.R., Donald, J.H. *et al.* (2003). Bioremediation and Biodegradation. In situ reduction of chromium (VI) in heavily contaminated soils through organic carbon amendment. *J. Environ. Qual.*, *32* (5), 1641-1649.

45. Wittbrodt P.R. & Palmer, C.D. (1996). Effect of temperature, ion strength, background electrolytes, and Fe(III) on the reduction of hexavalent chromium by soil humic substances. *Environ. Sci. Technol.*, 3(8), 2470-2477.
46. Zubair, A., Bhatti, H.N., Hanif, M.A. & Shafqat, F. (2008). Kinetic and equilibrium modeling for Cr (III) and Cr (VI) removal from aqueous solutions by Citrus reticulate waste biomass. *Wat. Air Soil Pol.*, 191, 305-318.