



Nº9 Abril 2012

REMOCIÓN DE CROMO (VI) EN SOLUCIÓN POR LA CÁSCARA DE NARANJA (*Citrus sinensis* Osbeck)

Ismael Acosta-Rodríguez

Hilda M. González Sánchez

María de Guadalupe Moctezuma-Zárate

Juan F. Cárdenas González

Víctor Manuel Martínez Juárez¹

RESUMEN

Se estudió la remoción de Cr (VI) en solución acuosa, mediante el empleo de biomasa obtenida de cáscara de naranja. Se observaron los efectos del tiempo y temperatura de incubación, el pH y la cantidad de metal sobre la remoción de éste. La concentración del metal en solución se determinó por la técnica de la difenilcarbazida. La mayor bioadsorción se obtuvo a los 10 minutos, a $\text{pH}=1.0 \pm 0.2$, a 60°C (50 mg/L de Cr VI) con 1 g de biomasa, y elimina totalmente 297 mg/g de tierra contaminada. La biomasa analizada remueve eficientemente el Cr (VI) en solución, por lo cual puede utilizarse para la eliminación de este metal en suelos contaminados y en aguas residuales.

Palabras clave: Remoción, Cáscara de Naranja, Cromo (VI), Difenilcarbazida, Aguas residuales

¹ Integrantes del Laboratorio de Micología Experimental, CIEP. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the removal of Chromium (VI) by the orange peel biomass, by a spectrophotometric method using diphenylcarbazide as the complexing agent. Effects of time and temperature of incubation, pH and metal concentration were studied. The highest adsorption was obtained at pH= 1.0 ± 0.2 , at 60°C after 10 minutes of incubation, with 50.0 g/L of initial concentration of Chromium (VI) and 1.0 g/100 mL of orange biomass, and remove fully 297 mg Cr (VI)/g of waste soil contaminated. It was concluded that the cellular biomass remove efficiently Cr (VI), and can be used for decontaminate wastewater.

Keywords: Removal, Orange peel, chromium (VI), Diphenylcarbazide, Waste Water

SUMARIO

Introducción

Objetivo

Material y Métodos

Resultados y Discusión

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

INTRODUCCIÓN

Diferentes compuestos del cromo son contaminantes ambientales presentes en agua, suelos y efluentes industriales, debido a que dicho metal es ampliamente utilizado en distintas actividades manufactureras. El Cromo (III) es considerado relativamente inocuo comparado con el Cromo (VI), que usualmente se encuentra en forma de iones cromato (CrO_4^{2-}) o dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), los cuales atraviesan fácilmente barreras biológicas, y que han mostrado ser mutagénicos y carcinogénicos (Opperman y van Heerden, 2007). En las aguas residuales, el Cr (VI), se encuentra en solución como CrO_4^{2-} (Cotton y Wilkinson, 1980), y puede removerse por reducción, precipitación química, adsorción e intercambio iónico (Cervantes et al., 2001). El proceso más utilizado es la adición de un agente reductor que convierta el Cr (VI) a Cr (III) y posteriormente se le precipita con soluciones básicas a $\text{Cr}(\text{OH})_3$ (Campos et al., 1995). Recientemente, se ha analizado el uso de metodologías alternativas, como la reducción de Cr (VI) a Cr (III) por *Pseudomonas* sp. (McLean y Beveridge, 2001; Park et al., 2000), *Acidithiobacillus ferrooxidans* (Allegretti et al., 2006), *Arthrobacter rhombi* (Elangovan et al., 2009), *Candida maltosa* (Ramírez-Ramírez et al., 2004), *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp. (Acevedo-Aguilar et al., 2006), que son hongos, bacterias y levaduras, así como su bioadsorción por biomásas fúngicas como: *Cryptococcus neoformans* y *Helminthosporium* sp (Acosta et al., 2004), *Aspergillus niger* (Khambhaty et. al., 2009; Park et al., 2005), *Rhizopus arrhizus* (Sag y Aktay, 2002) y *Mucor hiemalis* (Tewari et al., 2005).

Por otro lado, también se han utilizado materiales de bajo costo, como residuos industriales agrícolas o urbanos para la adsorción y/o recuperación de metales pesados de efluentes industriales contaminados, entre los que se encuentran: cáscara y semillas de manzana, corteza de árbol (Sarin y Pant, 2006), cáscara de avellana (Cimino et al., 2000), cáscara de naranja (Pérez-Marín et al., 2007), cáscara de tamarindo (Popuri et. al., 2007; Acosta et. al., 2010). Además, se ha reportado que algunas de estas biomásas pueden reducir el Cr (VI) a Cr (III), como la biomasa de kombucha (hongo del Te) (Razmovski y Sciban, 2008), mezquite (Aldrich et. al., 2003), corteza de eucalipto (Sarin y Pant, 2006), bauxita calcinada (Baral, et. al., 2007), residuos de rosas rojas (Shafqat, et. al., 2008), corteza de yohimbina (Fiol et. al., 2008), cáscara de litchi (Martínez Pérez et. al., 2010); por lo que es de gran interés analizar otros materiales baratos para tratar de eliminar y/o reducir el metal de suelos y aguas contaminados con el mismo, como la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* Osbeck), de la cual se ha reportado que sus desechos remueven eficientemente

cadmio (Pérez-Marín et al., 2007), cobre (Lu et. al., 2009), cadmio, zinc, cobalto y níquel (Li et. al., 2008).

OBJETIVO GENERAL

Estudiar la capacidad de remoción de Cr (VI) en solución acuosa por la biomasa celular de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* Osbeck).

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de la biomasa

La cáscara se obtuvo de naranja tipo Valencia del mercado República de esta ciudad, durante los meses de enero a marzo del año 2011, se cortó en pequeñas piezas, fue lavada exhaustivamente con agua tridesionizada, en agitación constante (100 rpm) para remover polvo adherido y componentes solubles como taninos, resinas, reducir el azúcar y colorantes. Después, se secó a 60°C hasta peso constante, se molió en mortero y se conservó en frascos de vidrio color ámbar a temperatura ambiente hasta su uso (Pérez, et al., 2007).

Soluciones de Cr (VI)

Se preparó una solución patrón de Cr (VI) a una concentración de 77 mg/L, disolviendo 203.3 mg de dicromato de potasio (Sigma-Aldrich), secado previamente a 110°C durante 2 horas, en agua tridesionizada, se aforó a un litro, y se diluyó hasta obtener concentraciones de 50, 200, 400, 600, 800, y 1000 mg/L, ajustando el pH con NaOH 1 M (CTR Scientific) y/o H₂SO₄ 1M (J.T. Baker) antes de ser adicionado a la biomasa.

Estudios de bioadsorción

Se realizaron diferentes experimentos para analizar el efecto que presenta el modificar la temperatura, pH's, tiempos de incubación y la concentración, sobre la bioadsorción de Cr (VI).

Un gramo de biomasa, previamente esterilizada (15 libras/15 min), se mezcló con 100 mL de una solución de Cr (VI) con una concentración de 50 mg/L y se incubó con agitación constante (100 rpm). A diferentes tiempos, se tomaron alícuotas de 5.0 mL, se

centrifugaron a 3000 rpm (5 min), y al sobrenadante se le determinó la concentración de Cr (VI).

Ensayos de biorremediación

A matraces Erlenmeyer de 250 mL conteniendo 5 g de la cáscara de naranja, se les agregó 20 g de tierra contaminada con aproximadamente 297 mg Cr (VI)/g de tierra, obtenida de una tina de lavado de una cromadora de Celaya, Gto. México, y se les añadió agua tridesionizada a un volumen final de 100 y 200 mL, respectivamente. La mezcla de tierra contaminada y la biomasa se incubó a 28°C con agitación constante (100 rpm), y a diferentes tiempos se le determinó la concentración de Cr (VI) en el sobrenadante.

Determinación de la concentración de Cr (VI)

Utilizando el método colorimétrico de la difenilcarbazida (desarrollo de coloración rosa violeta) se midió la concentración de Cr (VI) en solución. A las muestras se les añadió 0.5 mL de una solución de H₂SO₄ 1:1 (v/v), 0.1 mL de ácido fosfórico al 85% (v/v) (J.T. Baker) y 1.0 mL de 5-difenilcarbazida (Merck) en etanol absoluto (CRS Scientific), se incubaron durante 10 minutos a 25°C, se aforaron a 50 mL y se les midió la absorbancia a 540 nm (Greenberg, et al., 1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del tiempo de incubación sobre la bioadsorción de Cr (VI)

En relación con el tiempo de incubación, se encontró que la mayor bioadsorción ocurre a las 7 horas, removiéndose por completo 50 mg/L del metal en solución, como se muestra en la Figura 1. Los resultados revelan que la bioadsorción ocurre muy rápidamente, ya que a los 60 minutos, la biomasa ha captado el 70% de Cr (VI), lo cual puede deberse a su composición de pectinas y celulosa, dado que, algunos autores han descrito que los grupos carboxilo de las pectinas y el grupo alcohólico de la celulosa de la cáscara de naranja, como posibles sitios de unión de metales, como el cadmio (Pérez, et al., 2007), cobre (Lu, et. al., 2009) y cadmio, zinc, cobalto y níquel (Li, et. al., 2008).

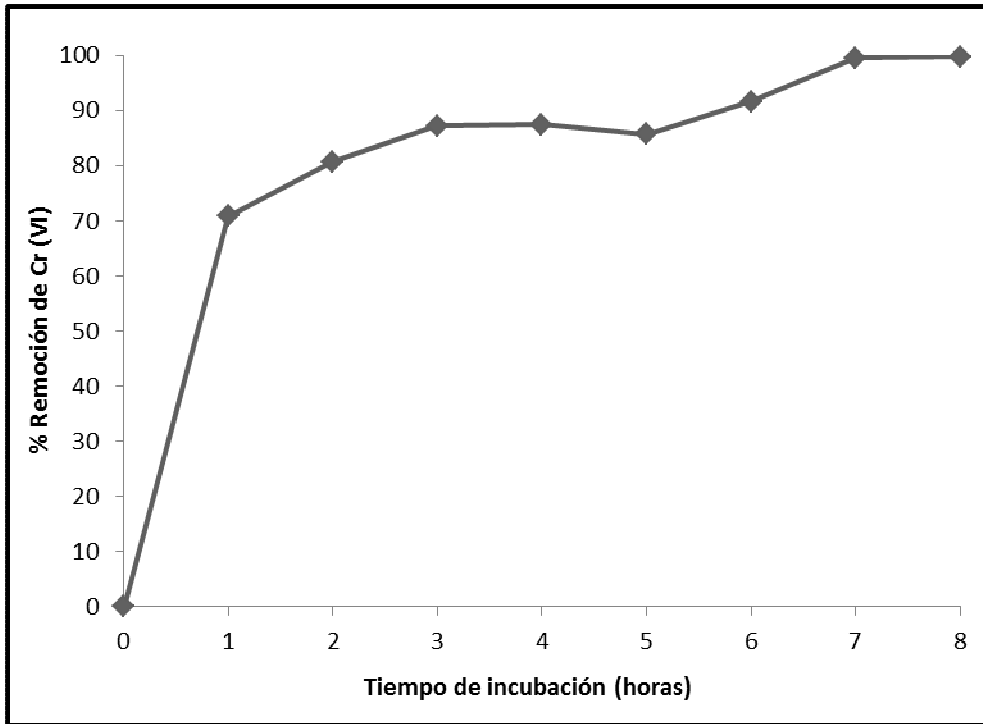


Figura 1.- Efecto del tiempo de incubación sobre la bioadsorción de Cr (VI).
50 mg Cr (VI)/L, 1 g de biomasa, pH= 1.0, 28°C. 100 rpm.

Optimización del pH para la bioadsorción de Cr (VI)

En la Figura 2 se muestra la influencia del pH sobre la eficiencia de remoción. La mayor remoción se evidenció a pH 1.0. Se ha reportado un pH óptimo para la remoción de Cr (VI) por los hongos *R. arrhizus* y *Saccharomyces cerevisiae* en un rango de 1.5-2.5, a las 4 h (Nourbakhsh y cols., 1994), aunque varios autores indican un pH óptimo de remoción en un rango de 2.0 a 3.0, con *M. hiemalis*; Sag y Aktay, 2002, para *R. arrhizus*, ambos a las 24 h; Bai y Abraham, 2001; con *Rhizopus nigricans* a las 8 h. Con respecto a las biomásas naturales, algunos autores reportan un pH óptimo de 2.0 para la corteza de eucalipto (Sarín y Pant; 2006); bagazo y pulpa de caña de azúcar (Sharma y Foster, 1994) y lana (Dakiki y cols., 2002). Con respecto a la cáscara de naranja, se ha reportado un pH óptimo de 4.5-5.0 para la remoción de cobre (Lu, et. al., 2009), de 4.0-6.0 para cadmio (Pérez, et al., 2007), y de 5.0 a 7.0 para cadmio, zinc, cobalto y níquel (Li, et. al., 2008), pero los resultados obtenidos en este trabajo son coincidentes con la mayor remoción de Cr (VI) a pH 1.0, observada por Kobya (2004), utilizando carbón activado, y por Tenorio (2006) con hueso de aceituna. Una baja 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 incrementa al aumentar la acidez de la solución.

Sin embargo, cuando el pH aumenta, se incrementa la concentración de iones OH-, induciendo cambios en la superficie del adsorbente, impidiendo la bioadsorción de los iones Cr (VI) cargados negativamente, lo cual disminuye la adsorción del metal a esos valores de pH.

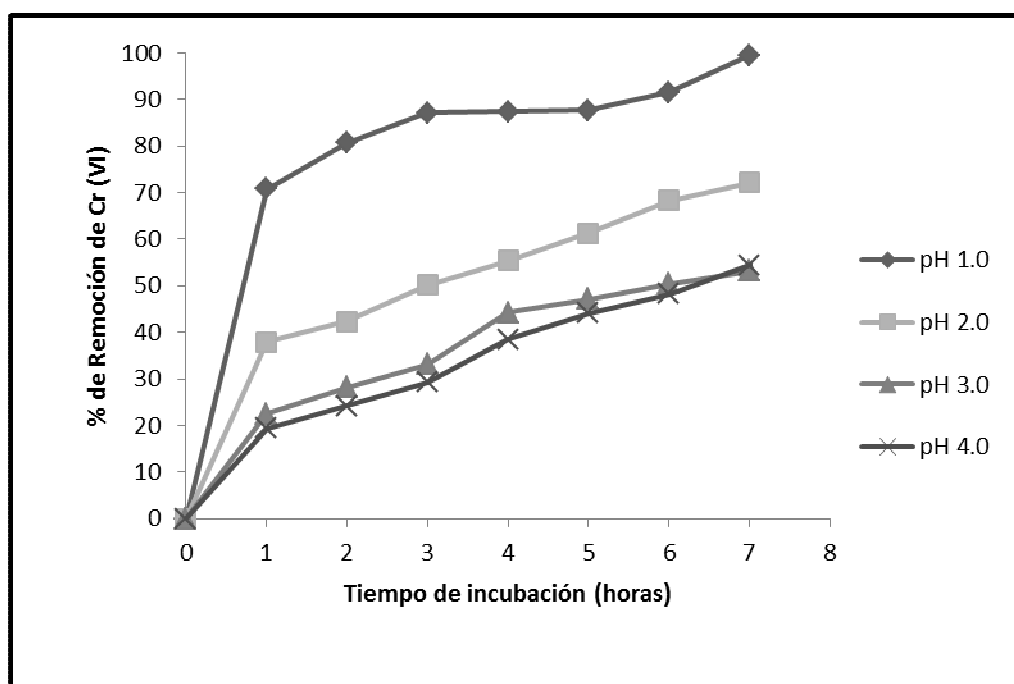


Figura 2.- Efecto del pH sobre la bioadsorción de Cr (VI).
50 mg Cr (VI) /L, 1 g de biomasa, 28°C. 100 rpm.

Efecto de la temperatura sobre la bioadsorción de Cr (VI)

En relación a la temperatura de incubación, la más alta remoción se observó a 60 °C (Figura 3), puesto que a los 10 minutos, la biomasa removi6 por completo el Cr (VI) en soluci6n (50 mg/L). Resultados que son coincidentes con los de Park y cols. (2005), quienes observaron que a 45°C y 24 h, ocurre la bioadsorción del mismo metal para *A. niger*, y con los de Leyva-Ramos y cols., (2005), para la remoci6n de cadmio (II) con olote de maíz (40°C y 5 días) y Tenorio (2006), con hueso de aceituna (60°C, 5 horas), pero difieren de los 35°C y 24 h reportados por Sag y Aktay (2002) para *R. arrhizus*, y los 25°C para cadmio (II) (P6rez, et al., 2007) por los residuos de naranja. El incremento en la

temperatura, aumenta la velocidad de remoción de Cr (VI) y disminuye el tiempo de contacto requerido para su completa remoción, por incrementar la velocidad de reacción redox (Wittbrodt y Palmer, 1996). Por otro lado, la biomasa usualmente contiene más de un tipo de sitio activo para la unión del metal. El efecto de la temperatura para cada sitio puede ser diferente y contribuir de forma distinta a la unión del metal. Al ser el calor de adsorción positivo, el proceso es endotérmico y se ve favorecido por altas temperaturas (Tenorio, 2006).

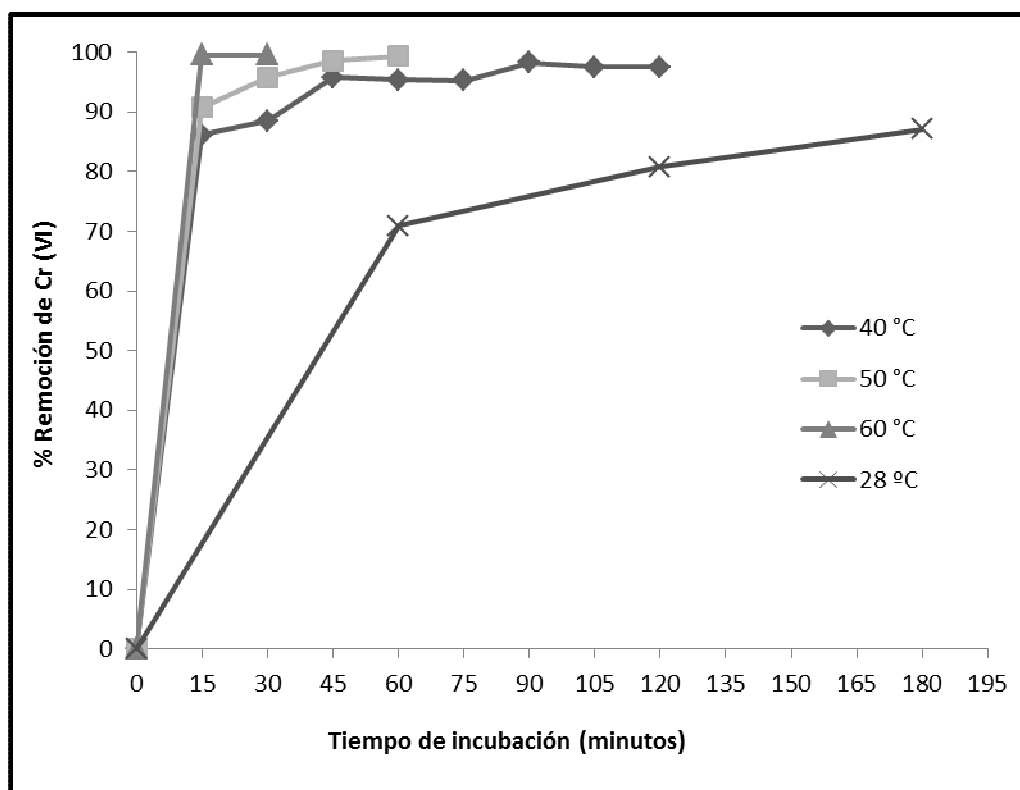


Figura 3.- Efecto de la temperatura sobre la bioadsorción de Cr (VI).
50 mg Cr (VI)/L, pH=1.0, 1 g de biomasa. 100 rpm.

Efecto de la concentración de Cr (VI) sobre su bioadsorción

A bajas concentraciones del metal, la biomasa estudiada, mostró las mejores respuestas de remoción, adsorbiendo el 100% a los 10 minutos y a las 3 horas, para 50 y 200 mg/L de Cr (VI) respectivamente, mientras que a 400, 600, 800 y 1000 mg/L, se remueve casi en su

totalidad a tiempos de incubación más largos (7-8 horas), como se muestra en la Figura 4. Algunos autores (Tewari y cols., 2005; Bai y Abraham, 2001), sostienen que la cantidad de metal eliminado por las biomazas de diferentes microorganismos, tales como *M. hiemalis* y *R. nigricans* aumenta en proporción directa con el incremento de la concentración del ión metálico en solución. De nuevo se encuentran discrepancias con los resultados de este trabajo, debido a que la biomasa utilizada mostró la mayor capacidad de remoción a bajas concentraciones (50, 100 y 200 mg/L). 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 y Pant; 2006); 13.4 y 17.2 mg/L por bagazo y pulpa de caña de azúcar (Sharma y Foster, 1994), 8.66 mg/L por la lana (Dakiki et. al., 2002), 25 y 250 mg/L por quitina y quitosana (Sag y Aktay, 2002) y 1 mg/L por acetato de celulosa (Arthanareeswaran y cols., 2007). Con respecto a la cáscara de naranja, se ha reportado la remoción de 1.22 mol/kg de cobre (Lu, et. al., 2009), de 0.43 mmol/g de cadmio (Pérez, et al., 2007), y de 1.28, 1.23, 1.12 y 1.13 mol/kg de cadmio, zinc, cobalto y níquel (Li, et. al., 2008).

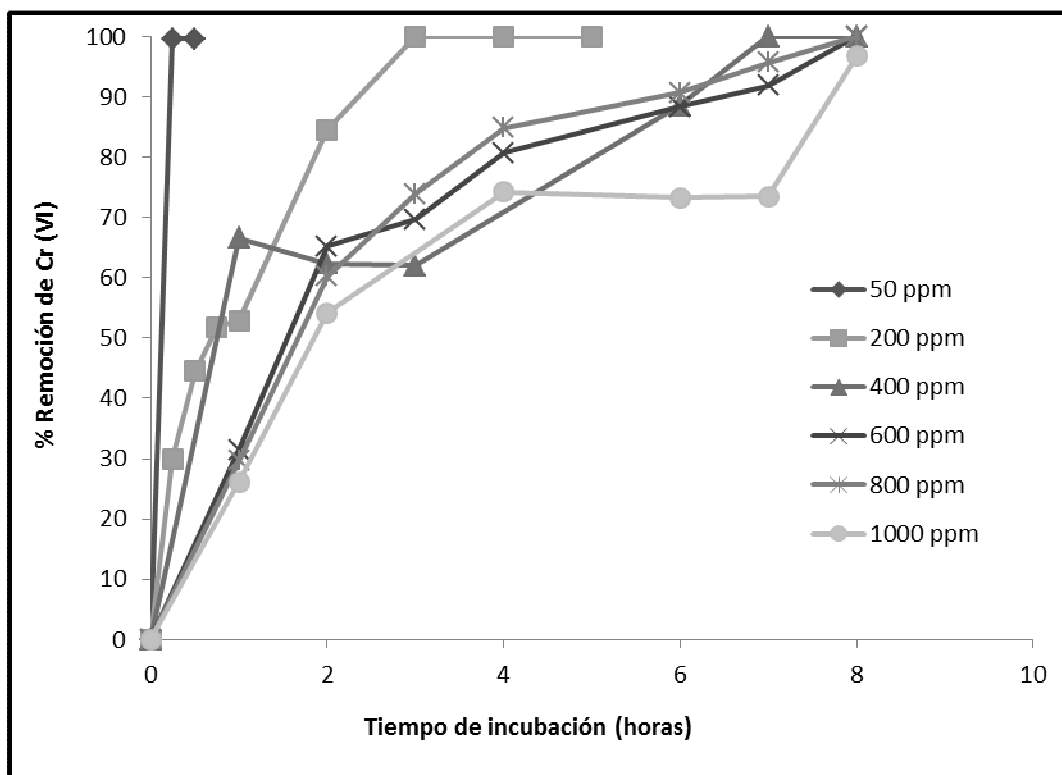


Figura 4.- Efecto de la concentración de Cr (VI) sobre la bioadsorción del mismo. pH=1.0, 1 g de biomasa, 60°C. 100 rpm.

Ensayo de biorremediación

En la Figura 5, se observa que a 24 y 48 horas, el metal se absorbe mejor (73.4% y 90.7%) respectivamente), con una remoción del 100% a los 6 días de incubación, a partir de tierra contaminada con el mismo. Al respecto, y en comparación con otras biomazas estudiadas, como carbón activado de grano de maíz (35.2 mg de del metal/g de biomasa/4 días, El Nemr, 2009); *Aspergillus* sp (195 µg/semana, Srivasta y Thakur, 2006); levadura de pan (40 mg/L/6 horas, Menezes y cols., 1998), y por *Staphylococcus saprophyticus* (5.16 mg/L/3 horas, Ilhan y cols., 2004) la cáscara de naranja fue la más eficiente para remover el metal de tierra contaminada (297 mg/g de tierra, 6 días).

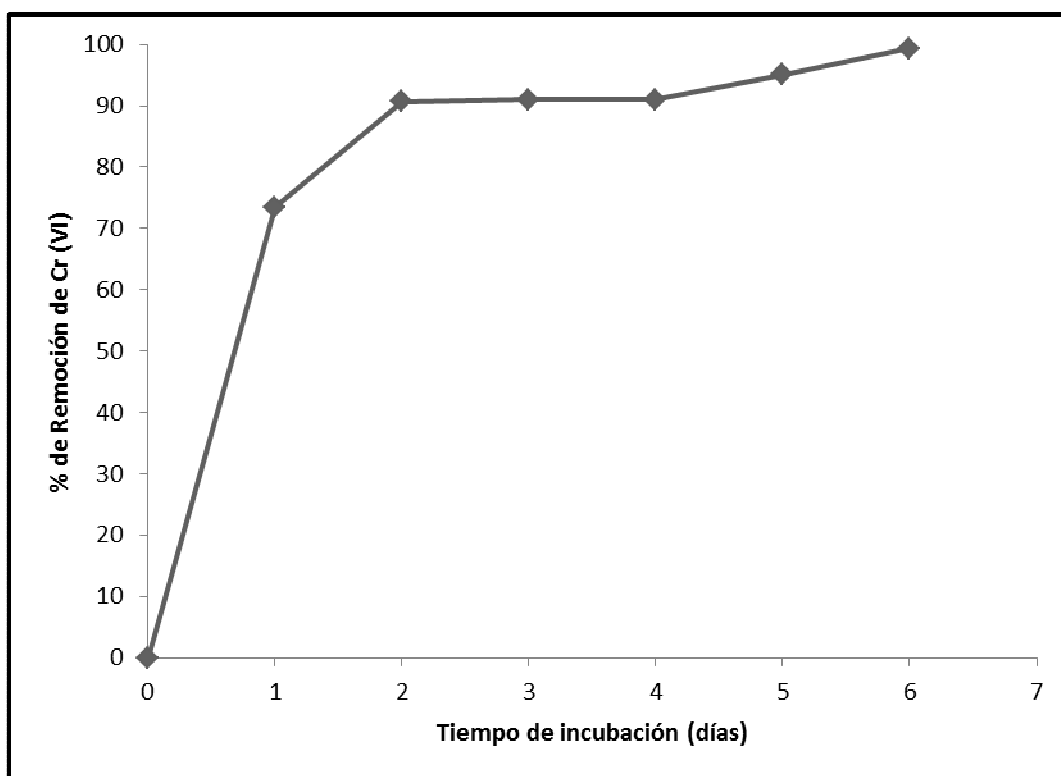


Figura 5.- Biorremediación de Cr (VI) por la biomasa de la cascara de naranja a partir de tierra contaminada con 297 mg Cr (VI)/g de tierra. 5 g de biomasa. 20 g de tierra, 28°C, 100 rpm.

CONCLUSIONES

La cáscara de naranja remueve eficientemente el Cr (VI) en solución, y puede utilizarse para eliminarlo de aguas residuales industriales, por lo que su aplicación presenta un gran potencial para la purificación de estas aguas, puesto que es una biomasa natural, fácil de obtener en grandes cantidades, su manejo es sencillo, es económica y se aprovecha material que se considera de desecho.

RECOMENDACIONES

En años recientes se han incrementado las investigaciones sobre el empleo de diferentes biomásas para absorber y remover Cr (VI), aunque también puede removerse por reducción, precipitación química, adsorción e intercambio iónico, pero las biomásas de desechos naturales, presentan la ventaja de que son más económicas, se pueden utilizar varias veces y se obtienen fácilmente en grandes cantidades.

BIBLIOGRAFÍA

Acevedo, F. J., Espino, A.E., Leon, I.L., Rivera, M.E., Avila, M., Wrobel, K., Wrobel, K., Lappe, P.; Ulloa, M. and Gutiérrez, J.F. 2006, "Hexavalent chromium removal in vitro and from industrial wastes, using chromate- resistant strains of filamentous fungi indigenous to contaminated wastes". *Can. J. Microbiol.* Vol. 52. pp. 809-815.

Acosta, I., López, V., Coronado, E., Cárdenas, J.F. and Martínez, V.M. 2010. "Remoción de Cromo (VI) por la biomasa de la cáscara de Tamarindo (*Tamarindus indica*)". *Revista de Biotecnología y Bioingeniería*, Vol. 14, No. 3, pp. 11-23.

Acosta, I., Moctezuma, M.G., Cárdenas, J.F. and Gutiérrez, C. 2007. "Bioadsorción de cadmio (II) en solución acuosa por biomásas fúngicas". *Información Tecnológica*. Vol. 18, No. 11, pp. 9-14.

Aldrich M. V., Gardea Torresdey, J.L., Peralta Videa J.R. and Parsons, J. G. 2003. "Uptake and Reduction of Cr(VI) to Cr(III) by Mesquite (*Prosopis* spp.): Chromate-Plant Interaction in Hydroponics and Solid Media Studied Using XAS". *Environmental Science Technology*, Vol. 37, pp. 1859-1864.

Allegretti, P., Furlong, J. and Donati, E. 2006. "The role of higher polythionates in the reduction of chromium (VI) by *Acidithiobacillus* and *Thiobacillus* cultures". *J. of Biotechnology*. Vol. 122, No. 1, pp. 55-61.

Arthanareeswaran, G. Thanikaivelan, P., Jaya, N., Mohan, D. and Raajenthiren, M. 2007. "Removal of chromium from aqueous solution using cellulose acetate and sulfonated poly(ether ketone) blend ultrafiltration membranes". *Biochemical Engineering Journal*. Vol. 12, pp. 143-153.

Bai, R.S. and Abraham T.E. 2001. "Biosorption of Cr (VI) from aqueous solution by *Rhizopus nigricans*". *Bioresource Technology*. Vol. 79, pp. 73-81.

Baral S.S., Das, S.N., Rath, P. and Chaudhury, G.R. 2007). Chromium (VI) removal by calcined bauxite". *Biochemical Engineering Journal*, Vol. 34, pp. 69-75.

Cimino, G., Passerini, A. and Toscano, G. 2000. "Removal of toxic cations and Cr (VI) from aqueous solution by hazelnut shell". *Water Research*. Vol. 34 No. 11, pp. 2955-2962.

Cotton, F.A. y Wilkinson G. 1980. *Advanced Inorganic Chemistry*. Chichester, Uk. Ed. John Wiley&Sons.

Greenberg, A.E., Clesceri L.S. and Eaton A.D. 1992. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, D.C. Ed. American Public Health Association.

Dakiki, M., Khamis M., Manassra A. and Mer'eb M. 2002. "Selective adsorption of chromium (VI) in industrial wastewater using low cost abundantly adsorbents". *Adv. Environmental Res*. Vol. 6, pp. 533-540.

Elangovan, R., Ligy P. and Chandraraj K. 2009. "Hexavalent chromium reduction by free and immobilized cell-free extract of *Arthrobacter rhombi*-RE". *Applied and Biochemical Biotechnology*. pp. 1-17.

El Nemr, A. 2009. "Potential of pomegranate husk carbon for Cr (VI) removal from wastewater: Kinetic and isotherm studies". *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 161, pp. 132-141.

- Fiol N., Escudero, C and Villaescusa, I. 2008. Chromium sorption and Cr(VI) reduction to Cr(III) by grape stalks and yohimbe bark". *Bioresource Technology*, Vol. 99, pp. 5030-5036.
- Ilham, S., Nourbakhsh M. N., Kilicarlan S. and Ozdag H. 2004. "Removal of chromium, lead and copper ions from industrial waste waters by *Staphylococcus saprophyticus*". *Turkish Electronic Journal of Biotechnology*. Vol. 2, pp. 50-57.
- Khambhaty, Y., Mody, K., Basha S. and Jha B. 2009. "Kinetics equilibrium and thermodynamic studies on biosorption of hexavalent chromium by dead fungal biomass of marine *Aspergillus niger*". *Chemical Engineering Journal*. Vol. 145, pp. 489-495.
- Koby, M. 2004. "Removal of Cr(VI) from aqueous solutions by adsorption onto hazelnut shell activated carbon: kinetic and equilibrium studies". *Bioresour. Tech.* Vol. 91, pp. 317–321.
- Lee, S.H., Jung, C.H., Chung, H., Lee, M.Y. and Yang, W. 1998. "Removal of heavy metals from aqueous solution by apple residues". *Process Biochem.* Vol. 33, pp. 205-211.
- Leyva, R. R., Bernal L.A. and Acosta, I. 2005. "Adsorption of cadmium (II) from aqueous solution on natural and oxidized corncob". *Separation and Purification Technology*. Vol. 45, pp. 41-49.
- Li, X., Tang, Y., Cao, X., Lu, D., Lou, F. and Shao, W. 2008. "Preparation and evaluation of orange peel cellulose adsorbents for effective removal of cadmium, zinc, cobalt and nickel". *Colloids and Surfaces*. Vol. 317, pp. 512-521.
- Lu, D., Cao, Q., Li, X., Cao, X., Luo, F. and Shao, W. 2009. "Kinetics and equilibrium of Cu(II) adsorption onto chemically modified orange peel cellulose biosorbents". *Hydrometallurgy*. Vol. 95, pp. 145-152.
- McLean, J. and Beveridge, T.J. 2001. "Chromate reduction by a pseudomonad isolated from a site contaminated with chromated copper arsenate". *Appl. Environ. Microbiology*. Vol. 67, pp. 1076-1084.
- Menezes, L.B., Braz, V.V., and Cordeiro, C.A.M. 1998. "Chromium uptake from aqueous effluents by immobilized baker's yeast". *Revista Brasileira de Microbiologia*. Vol. 29, No. 4, pp. 1-5.

Nourbakhsh, M., Sag, Y., Ozer, D., Aksu, Z., Kutsal, T.A. and Caglar, A. 1994. "A comparative study of various biosorbents for removal of Chromium (VI) ions from industrial waste waters". *Process Biochemistry*. Vol. 29, pp. 1- 5.

Opperman, D.J. and Van Heerden, E. 2007. "Aerobic Cr(VI) reduction by *Thermus scotoductus* strain SA-01". *Journal of Applied Microbiology*. Vol. 103, pp. 1907-1913.

Park, D., Yun, Y., Jo, J., and Park, J.M. 2005. "Mechanism of hexavalent chromium removal by dead fungal biomass of *Aspergillus niger*". *Water Research*. Vol. 39, pp. 533-540.

Pavan, F.A., Lima, I.S., Airoldi, C., and Gushikem, Y. 2006. "Use of pokan Mandarin Peels as biosorbent for toxic metals uptake from aqueous solutions". *J. Hazardous Materials*. Vol. 137, pp. 527-533.

Pérez, A.B., Meseguer, V., Ortuno, J.F., Aguilar, M., Saez, J. and Llorens, M. 2007. "Removal of cadmium from aqueous solutions by adsorption onto orange waste". *J. Hazard. Mater.* Vol. 139, pp. 122-131.

Popuri R. S., Jammala, A., Naga Suresh, K and Abuburi, K (2007). Biosorption of hexavalent chromium using tamarind (*Tamarindus indica*) fruit shell-a comparative study, *Journal of Biotechnology*, Vol. 10, No. 3, pp. 358-367.

Ramírez-Ramírez, R., Calvo-Mendez, C., Avila-Rodriguez, M., Lappe, P., Ulloa, M., Vazquez-Juarez, R and Gutierrez-Corona, J.F. 2004. "Cr (VI) reduction in a Chromate-resistant strain of *Candida maltose* isolated from the leather industry". *Antoine van Leeuwenhoek*. Vol. 85, pp. 63-68.

Razmouski R. and Sciban, M. 2008. Biosorption of Cr(VI) and Cu(II) by waste tea fungal biomass. *Ecological Engineering*, Vol. 34, pp.179-186.

Shafqat F., Bhatti, H.N., Hanif, M.A and Zubair, A. 2008. "Kinetic and equilibrium studies of Cr(III) and Cr(VI) sorption from aqueous solution using rosa gruss an teplitz (Red rose) waste biomass". *Journal Chile Chemistry Society*, Vol. 53, No. 4, pp. 1667-1672 .

- Sag, Y. and Aktay, Y. 2002. "Kinetic studies on sorption of Cr (VI) and CU (II) ions by chitin, chitosan and *Rhizopus arrhizus*". *Biochemical Engineering Journal*. Vol. 12, pp. 143-153.
- Sarin, V. and Pant, K.K. 2006. "Removal of chromium from industrial waste by using eucalyptus bark". *Bioresource Technology*. Vol. 97, pp. 15-20.
- Sharma, D.C. and Forster, C.F. 1994. "A preliminary examination into the adsorption of hexavalent chromium using low-cost adsorbents". *Bioresource Technology*, Vol. 47, pp. 257-264.
- Srivastava, S., and Thakur, I.S., 2006. "Isolation and process parameter optimization of *Aspergillus* sp. for removal of chromium from tannery effluent". *Bioresource Technology*. Vol. 97, pp. 1167-1173.
- Tenorio, G. 2006. Caracterización de la biosorción de cromo con hueso de aceituna, Ph. D. Thesis, University of Granada, Spain.
- Tewari, N., Vasudevan, P., and Guha, B. 2005. "Study on biosorption of Cr(VI) by *Mucor hiemalis*". *Biochemical Engineering Journal*. Vol. 23, pp. 185-192.
- Vázquez, G., González, J., Freire, S. and Antorrena, G. 2005. "Desarrollo de un adsorbente basado en taninos de corteza de *Pinus pinaster*". *Información Tecnológica*. Vol. 16, pp. 47-51.
- Wittbrodt, P.R. and Palmer, C.D. 1996. "Effect of temperature, ion strength, background electrolytes, and Fe (III) on the reduction of hexavalent chromium by soil humic substances". *Environmental Science Technology*. Vol. 30, No. 8, pp. 2470-2477.