

## Remoción de Cromo (VI) en Solución Acuosa por la Biomasa de la Cáscara de Tamarindo (*Tamarindus indica*)

Ismael Acosta<sup>\*1</sup>, Viviana López<sup>1</sup>, Elida Coronado<sup>1</sup>, Juan F. Cárdenas<sup>1</sup> y Víctor M. Martínez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Micología Experimental. Centro de Investigación y de Estudios de Posgrado. Facultad de Ciencias Químicas. UASLP. Av. Dr. Manuel Nava No. 6. Zona Universitaria. San Luis Potosí, S.L.P. México. C.P. 78320. Tel: 014448262440, ext. 505. <sup>2</sup>Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. email: [iacosta@uaslp.mx](mailto:iacosta@uaslp.mx)

### RESUMEN

El cromo es un elemento esencial para hombres y animales, pero concentraciones elevadas del mismo (15 µg/L en agua de ríos y 0.10 mg /L en agua potable) resultan tóxicas en ellos. Actualmente se ha establecido que diversos compuestos de cromo, en forma de óxidos, cromatos y dicromatos, son contaminantes ambientales presentes en agua, suelos y efluentes de industrias, debido a que dicho metal es ampliamente utilizado en distintas actividades manufactureras, tales como cromado electrolítico, fabricación de explosivos, curtido de pieles, aleación de metales, fabricación de colorantes y pigmentos, etc. Se han utilizado materiales de bajo costo, para la eliminación y/o recuperación de metales pesados de efluentes industriales contaminados, entre los que se encuentran: cáscaras de avellana, mandarina y/o naranja, por lo que es de interés analizar otros materiales baratos para eliminar el metal de aguas y suelos contaminados. Debido a esto se estudió la capacidad de remoción de Cromo (VI) en solución por cáscara de tamarindo, determinando la concentración del metal por el método de la Difenilcarbazida, encontrando que la remoción total del metal (50 mg/L) ocurre a los 30 minutos, a pH de 1.0 y 28°C. Con respecto a la temperatura, la más alta remoción se observó a 60°C, pues a los 70 minutos, el metal (1 g/L) se remueve completamente. A las concentraciones de Cr (VI) analizadas, la cáscara de tamarindo, mostró gran capacidad de remoción, también remueve eficientemente el metal *in situ*, (94.65 % de remoción, 6 días de incubación, 5 g de biomasa), y después de 1h de incubación. La biomasa estudiada reduce 1.0 g de Cr (VI) con la producción simultánea de Cr (III), por lo que puede utilizarse para eliminarlo de aguas residuales industriales.

**Palabras clave:** Cromo (VI), aguas residuales, Tamarindo, remoción de metales.

## ABSTRACT

Chromium is an essential element for human being and animals, but in high concentration is considered toxic: 15  $\mu\text{g/L}$  in river water and 0.10 mg /L in potable water. It is now established that various chromium compounds in the form of oxides, chromates and dichromate, are environmental pollutants present in water, soils and effluents from industries, because this metal is widely used in various manufacturing activities, such as electrolytic chromium, explosives manufacturing, leather tanning, metal alloys, manufacture of dyes and pigments, etc. Low cost materials have been used for disposal and/or recovery of heavy metals from contaminated industrial effluents, some of them are: hazelnut shell, tangerine or orange peelings, so it results of interest to analyze another inexpensive materials to eliminate the metal from contaminated soil and water. We studied the removal capacity of Chromium (VI) in solution by the tamarinds husk, using the diphenylcarbazide method to evaluate the metal concentration. So, the highest biosorption with total removal of metal (50 mg/L) occurs within 30 minutes, at pH of 1, and 28 °C. According to temperature, the highest removal was observed at 60 °C, in 70 minutes, when the metal (1 g / L) is completely adsorbed. At the concentrations of Cr (VI) analyzed, tamarind husk, showed excellent results in removing, too removes efficiently the metal *in situ* (94.65% removal, 6 days of incubation, 5 g of biomass), and after of 1 hour of incubation the studied biomass reduces 1.0 g of Cr (VI) with the simultaneous production of Cr (III), so it can be used to eliminate it from industrial wastewater.

**Key words:** Chromium (VI), wastewater, tamarinds, metals removal.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente se ha establecido que diversos compuestos de cromo, en forma de óxidos, cromatos y dicromatos, son contaminantes ambientales presentes en agua, suelos y efluentes de industrias, debido a que dicho metal es ampliamente utilizado en distintas actividades manufactureras, tales como cromado electrolítico, fabricación de explosivos, curtido de pieles, aleación de metales, fabricación de colorantes y pigmentos, etc. El cromo se encuentra presente en agua y suelo principalmente en dos estados de oxidación: Cr (III) o Cr (VI), aunque también puede encontrarse como óxido de cromo, sulfato de cromo, trióxido de cromo, ácido crómico y dicromato (Zouboulis

*et al.*, 1995). En presencia de materia orgánica, el Cr (VI) en solución es reducido a Cr (III); sin embargo, altas concentraciones del ión en estado hexavalente pueden sobrepasar esta capacidad de reducción, lo que impediría su adecuada eliminación (Cervantes *et al.*, 2001). Pese a que el cromo es un elemento esencial para animales, altas concentraciones del metal (15  $\mu\text{g/L}$  en agua de ríos y 0.10 mg /L en agua potable) resultan tóxicos. En las aguas residuales, el Cr (VI), se encuentra en solución como  $\text{CrO}_4^{2-}$  (Cotton & Wilkinson, 1980), puede removerse por reducción, precipitación química, adsorción e intercambio iónico, y actualmente, 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  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  (Cervantes *et al.*, 2001).

Recientemente, se ha estudiado el aislamiento de microorganismos resistentes y su capacidad de remoción y/o reducción de Cr (VI), a partir de sitios contaminados con el metal, como la bacteria *Staphylococcus saprophyticus* (Ilhan *et al.*, 2004), las levaduras *Candida* sp. (Guillen-Jiménez *et al.*, 2008), *Candida maltosa* (Ramírez-Ramírez *et al.*, 2004), y los hongos filamentosos *Penicillium* sp. (Acevedo-Aguilar *et al.*, 2008), *Trichoderma inhamatum* (Morales-Barrera & Cristiani-Urbina, 2008) y *Aspergillus niger* (Khambhaty *et al.*, 2009).

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: 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-Marín *et al.*, 2007), por lo que es de gran interés analizar otros materiales de desecho y por lo tanto económicos, para tratar de eliminar el Cromo (VI) de aguas y suelos contaminados, así como la biorremediación de los mismos, como el Tamarindo (*Tamarindus indica*), del cual se ha descrito su capacidad de bioadsorción de Cromo (VI) utilizando las semillas (Agarwal *et al.*, 2006), y la cáscara tratada con HCl y ácido oxálico (Popurí *et al.*, 2007), con resultados satisfactorios. Por lo

anterior el objetivo de este trabajo fue estudiar la capacidad de remoción y/o reducción de Cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa de la cáscara de Tamarindo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Bioadsorbente utilizado*

La cáscara de Tamarindo se obtuvo a partir de los frutos recolectados entre los meses de noviembre-marzo de 2009, del mercado República de la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., México. La cáscara de Tamarindo se lavó 72 h con agua tridesionizada en agitación constante, con cambios del agua cada 12 h. Posteriormente, se hirvió 1 hora, para eliminar los restos del fruto, y se secó a 80°C, durante 12 h en estufa bacteriológica, 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 concentración de Cr (VI) obtenida por dilución de una solución patrón de 1.0 g/L preparada en agua tridesionizada a partir de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ . Se ajustó el pH de la dilución a analizar con  $\text{HNO}_3$  1 M y/o NaOH 1 M, antes de adicionarla a la biomasa celular.

### *Estudios de remoción y reducción*

1.0 g de la cáscara de Tamarindo (previamente esterilizada a 15 libras y 120°C, en matraces Erlenmeyer de 250 mL) se mezcló con 100 mL de una solución de 100 mg/L de Cr (VI), (a diferentes valores de pH, temperaturas y concentraciones del metal) y se incubaron a 28°C y 100 rpm, tomando a diferentes tiempos, alícuotas de 5 mL cada

una, las cuales se centrifugaron a 3000 rpm (5 min), y al sobrenadante respectivo se le determinó la concentración de Cr (VI) en solución, utilizando el método colorimétrico de la Difenilcarbazida (desarrollo de coloración rosa violeta), (Greenberg *et al.*, 1998), el Cr (III) por el del Cromazurol S (Pantaler & Pulyaeva, 1985) y el Cr total por Espectrofotometría de Absorción Atómica (Greenberg *et al.* 1998). Todos los experimentos se realizaron un mínimo de 3 veces y por triplicado.

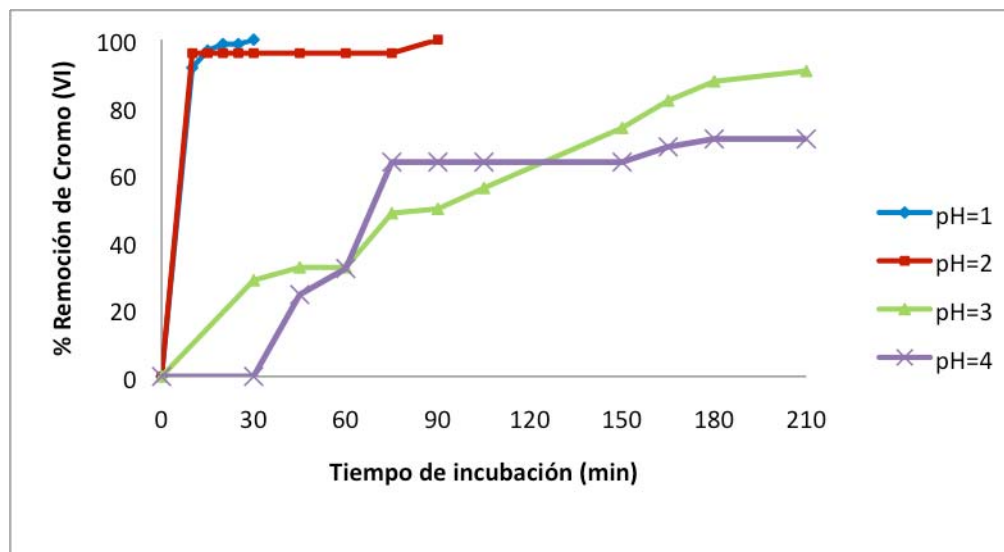
### Ensayos de biorremediación

A matraces Erlenmeyer de 250 mL conteniendo 5 g de la cáscara de Tamarindo, 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 mL. La mezcla de tierra contaminada y la biomasa se incubó a 28°C con agitación constante (100 rpm), y a diferentes intervalos de tiempo se le determinó la concentración de Cromo (VI) en el sobrenadante.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo, se encontró que la biomasa de la cáscara de Tamarindo remueve eficientemente y a tiempos cortos 50 mg/L de Cromo (VI) en solución, pues a los 30 min 1 g de biomasa remueve el 100% del metal (Fig. 1).



**Fig. 1.** Efecto del tiempo de incubación y del pH inicial sobre la remoción de Cromo (VI) por la cáscara de tamarindo (1 g de biomasa, 50 mg/L Cr (VI), 28°C, 100 rpm).

La literatura (Pérez-Marín *et al.*, 2007) reporta un tiempo óptimo de remoción de plomo de 60 min utilizando cáscara de

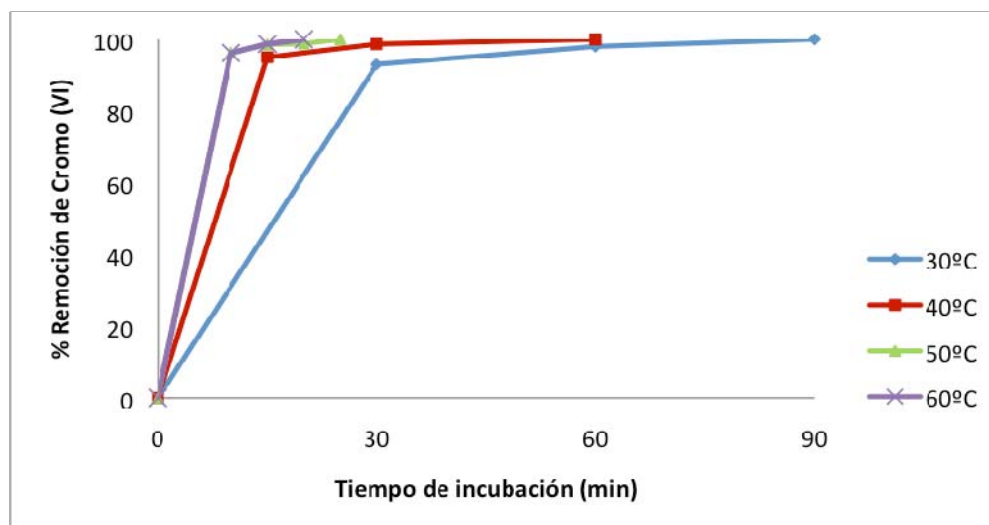
naranja, y de 2 h para la remoción de Cromo (VI) por la corteza de eucalipto (Sarín & Pant, 2006). Cabe mencionar que el tiempo de

remoción óptimo encontrado en este trabajo es menor a lo reportado por Agarwal *et al.* (2006) y Popuri *et al.* (2007) quienes establecen tiempos de 180 y 120 min, para las semillas y la cáscara de tamarindo tratada con ácido oxálico, respectivamente. 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 sobre la eficiencia de remoción se encontró que la mayor actividad se evidenció a pH 1.0 +/-0.2, pues a los 30 min se remueve el 100% del metal (Fig. 1). Para las biomásas naturales, la mayoría de los autores reportan un pH óptimo de 2.0 como: semillas de tamarindo (Agarwal *et al.*, 2006), la corteza de eucalipto (Sarín & Pant, 2006); bagazo y pulpa de caña de azúcar (Sharma & Foster,

1994), fibras de coco (Huang & Wu, 1977) y lana (Dakiki *et al.*, 2002), y un pH de 3.0 para la cáscara de tamarindo tratada con ácido oxálico (Popuri *et al.*, 2007). El Cromo (VI) se encuentra como  $\text{HCrO}_4^-$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cr}_4\text{O}_{13}^{2-}$ ,  $\text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-}$  (Rollinson, 1973). Una baja en el pH causa la protonación de la superficie del adsorbente, lo que induce una fuerte atracción por los iones Cromo (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  $\text{OH}^-$ , induciendo cambios en la superficie del adsorbente, impidiendo la bioadsorción de los iones Cromo (VI) cargados negativamente, lo cual disminuye la adsorción del metal a esos valores de pH.

Con respecto a la temperatura, la más alta remoción se observó a 60°C, pues a los 20 min se remueve el 100% de Cromo (VI) en solución (100 mg/L) (Fig. 2),

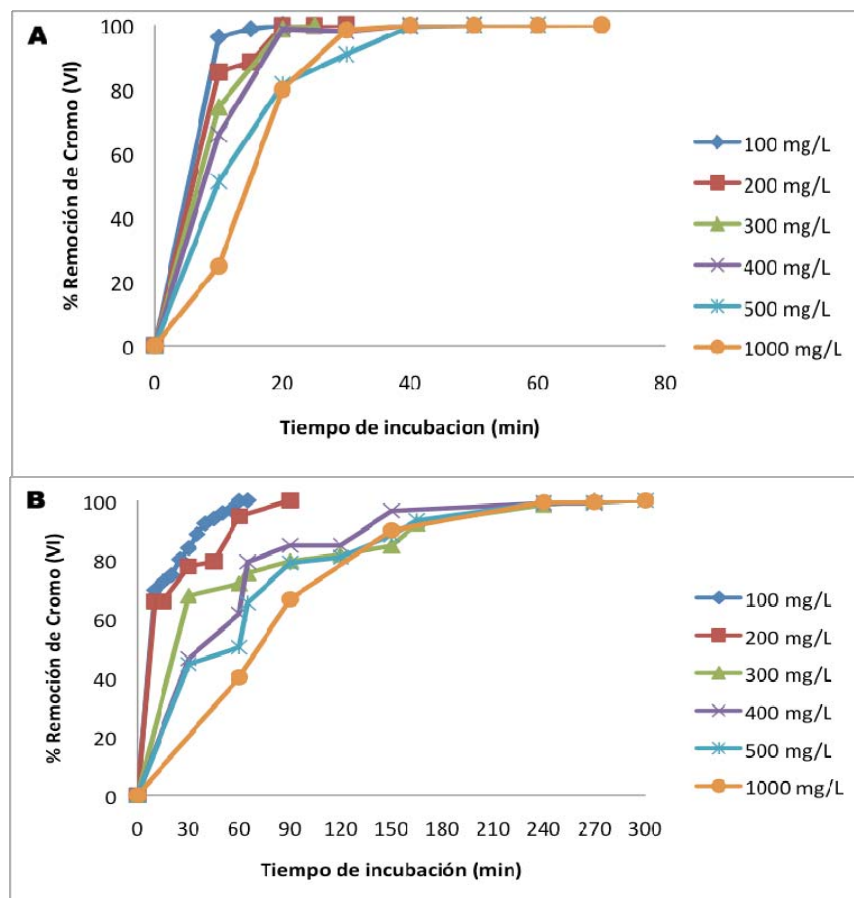


**Fig. 2.** Efecto de la temperatura de incubación sobre la remoción de cromo (VI) por la cáscara de tamarindo (1 g de biomasa, 100 mg/L Cr (VI), pH= 1.0, 100 rpm).

resultados que son coincidentes con los de Agarwal *et al.*, (2006) con un 98% de remoción a 58°C y 180 min., con los de Park *et al.*, (2005) para la semilla de tamarindo, quienes la observaron a 45°C y 24 h, y con los de Leyva-Ramos *et al.*, (2005) para la remoción de cadmio (II) con olote de maíz (40°C y 5 días). 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 exposición de los grupos funcionales que reaccionan con el mismo (Wittbrodt & Palmer, 1996).

Por otra parte, a bajas concentraciones del metal (100 y 200 mg/L) y mayor temperatura, la biomasa estudiada, mostró las mejores respuestas de remoción, adsorbiendo el 100% a los 20 y 30 min, respectivamente, mientras que 1000 mg/L del metal se remueven a los 70 min, a 60°C, mientras que a 28°C fue de 65, 75 y 330 min, respectivamente (Fig. 3 A y B).

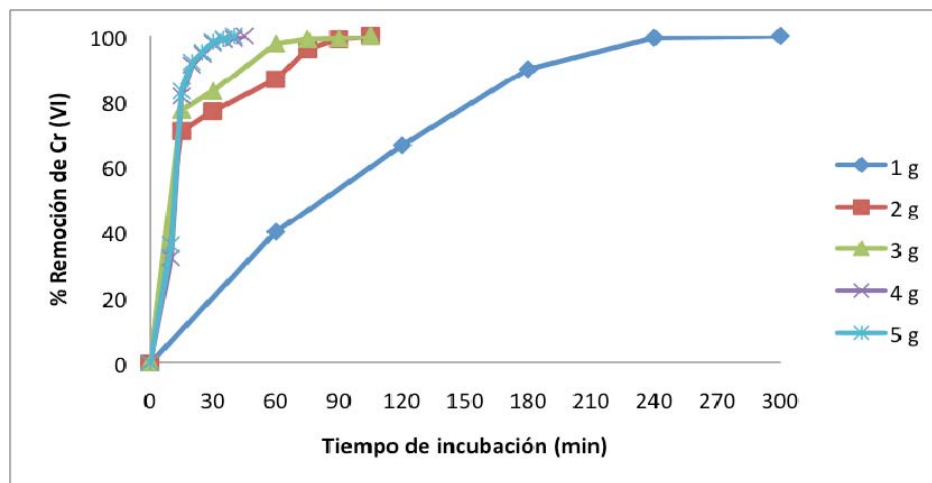


**Fig. 3.** Efecto de la concentración de cromo (VI) sobre la remoción del mismo a 60°C (A) y 28°C (B), utilizando 1 g de biomasa a pH= 1.0 y 100 rpm.



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 ión metálico en solución. De nuevo se encuentran discrepancias con los resultados de este trabajo, debido a que la biomasa utilizada en el estudio 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 & 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), 8.66 mg/L por la lana (Dakiki *et al.*, 2002). Al aumentar la cantidad de biomasa, también se incrementa la remoción de Cromo (VI) en solución (Fig. 4),



**Fig. 4.** Efecto de diferentes concentraciones de biomasa sobre la remoción de 1.0 g/L de cromo (VI) (28°C, pH= 1.0, 100 rpm).

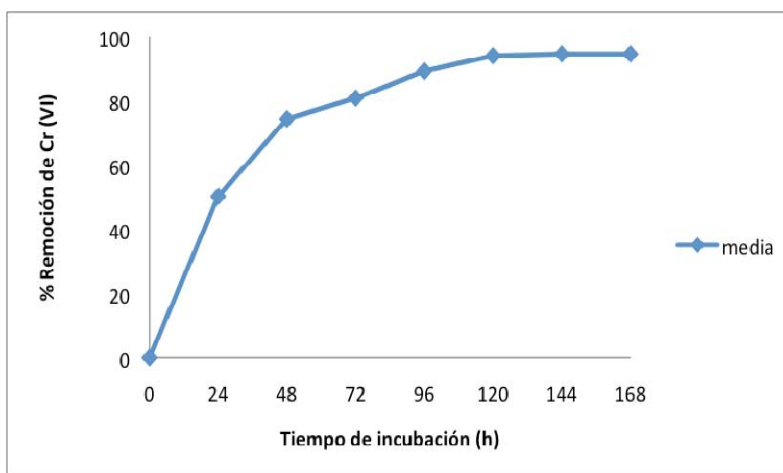
debido a que hay más sitios de bioadsorción del metal, pues la cantidad de bioadsorbente añadido determina el número de sitios de unión disponibles para la bioadsorción del mismo (Cervantes *et al.*, 2001). Resultados similares se han reportado para *R. nigricans*, aunque éstos últimos con 10 g de biomasa (Bai y Abraham, 2001), pero son diferentes a lo reportado por Zubair *et al.*, (2008), para la biomasa de los desechos de la mandarina (gabazo), quienes reportan una

concentración óptima de biomasa de 100 mg/L.

Por otro lado, los reportes sobre aplicaciones de biomazas 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 Cromo (VI), lo cual incrementa la reducción del ión, 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 Cromo (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 Cromo (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, 2010). Por lo anterior, se realizó un ensayo de biorremediación con tierra contaminada con aproximadamente 297 mg Cromo (VI)/g de tierra, obtenida de una tina de lavado de una cromadora de Celaya, Gto., observando que a los 6 días de incubación la cáscara de tamarindo, remueve el metal en un 94.65 %, 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.*, 2010), *C. maltosa* (Ramírez-Ramírez *et al.*, 2004), *Aspergillus* sp (Acevedo-Aguilar *et al.*, 2006), y *A. niger* (Khambhaty *et al.*, 2009) Fig.5).

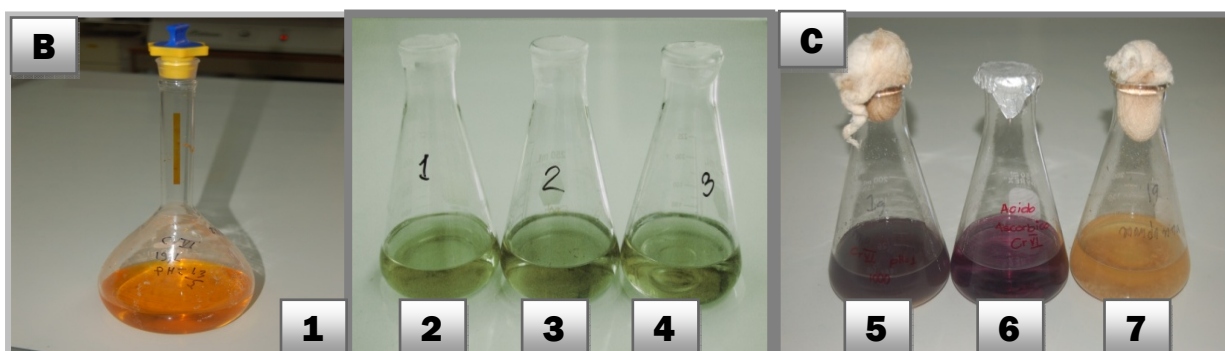
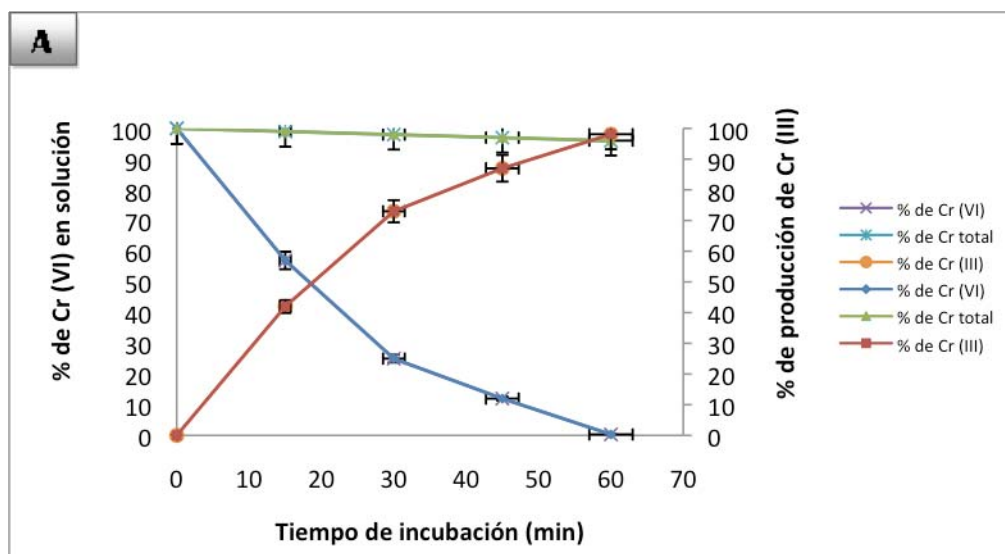


**Fig. 5.** Biorremediación de 297 mg de cromo (VI)/g de tierra contaminada, por la cáscara de tamarindo (5 g de biomasa, 20 g de tierra, 28°C, 100 rpm).

Se analizó la capacidad de la biomasa de la cáscara de tamarindo para disminuir la concentración inicial de Cromo (VI) (1.0 g/L)

y la producción de Cromo (III) en solución. En la Fig. 6A se observa una gran disminución





**Fig. 6.** Reducción de 1.0 g/L de cromo (VI) a cromo (III) por 1.0 g de cáscara de tamarindo. 28°C, 100 rpm, pH=1.0 +/- 0.2 (A) y aspecto de las soluciones (B y C). B.- Cromo total unido a la biomasa después de diferentes tiempos de incubación en presencia de cromo (VI). 1.- Solución patrón de Cromo (VI) (1g/L, pH= 1.0). 2.-200 mg/L 3.-500 mg/L 4.-1000 mg/L C.- 5.- Cistina 6.- Ácido ascórbico 7.- Cáscara de tamarindo con agua tridesionizada

de los niveles de Cromo (VI), con la producción concomitante de Cromo (III), (indicado por la desaparición del color amarillo en los matraces por la presencia de Cromo (VI) y la formación de un color azul-verdoso con un precipitado blanco, que indica la transformación a Cromo (III), y su determinación por Cromazurol S, (Fig. 6B). Después de 1 hora de incubación, la biomasa disminuye la concentración inicial del metal,

hasta niveles indetectables, sin cambios significativos en la concentración de Cromo total, la cual permanece constante en el control de agua tridesionizada. Lo anterior indica que esta biomasa es capaz de reducir el metal en la solución de trabajo suplementada con cromato, además de la vitamina C y la cistina (Fig. 6C). La capacidad de reducir Cromo (VI) se ha reportado ampliamente en la literatura en

# Artículos

microorganismos que incluyen levaduras y hongos como *C. maltosa* (Ramírez-Ramírez *et al.*, 2004), *Candida* sp FGSFEP (Guillén-Jiménez, 2008) y *Aureobasidium pullulans* (Fukuda *et al.*, 2008). Finalmente, en la Tabla 1, se muestra la remoción de Cromo (VI) en solución por diferentes biomásas naturales, en la cual se observa que la cáscara de tamarindo es de las más eficientes en la remoción del metal, y, como ésta contiene

vitamina C, además de algunos carbohidratos (Sarmiento Fradera, 2003), nosotros encontramos que la vitamina C y la cistina reducen muy rápido el Cr (VI) a Cr (III), y éstos podrían ser parte muy importante en la mayor eficiencia para la remoción y/o reducción del metal por la cáscara de tamarindo, con respecto a otras biomásas analizadas.

**Tabla 1.** Remoción de cromo (VI) en solución por diferentes biomásas naturales

ADSORBENTE	MÁXIMA CAPACIDAD DE ADSORCIÓN (mg/L)	pH ÓPTIMO	REFERENCIAS
Aserrín	39.7	2.0	Sharma & Foster (1994)
Fibras de cáscara de coco	29.0	2.0	Huang & Wu (1977)
Bagazo de la caña de azúcar	13.4	2.0	Sharma & Foster (1994)
Pulpa de remolacha azucarera	17.2	2.0	Sharma & Foster (1994)
Fibras prensadas de palmera	15.0	2.0	Tan <i>et al.</i> (1993)
Carbón activado (Filtrisorb-400)	57.7	2.0	Huang & Wu (1977)
Biogases de lodos residuales	5.87	2.0	Namasivayam e Yamuna (1995)
Lana	8.66	2.0	Dakiky <i>et al.</i> (2002)
Agujas de pino	5.36	2.0	Dakiky <i>et al.</i> (2002)
Corteza de eucalipto	45.00	2.0	Sarin & Pant (2006)
Biomasa de <i>Paecilomyces</i>	100.00	1.0	Acosta <i>et al.</i> (2008)
Cáscara de tamarindo	1000.00	1.0	Este trabajo

## REFERENCIAS

Acevedo-Aguilar F, Espino-Saldaña AA, León-Rodríguez I, Rivera-Cano M E, Ávila-Rodríguez M, Wrobel K, Lappe P, Ulloa M. & Gutierrez-Corona JF (2006) Hexavalent chromium removal in Vitro and

from industrial wastes, using chromate-resistant strains of filamentous fungi indigenous to contaminated wastes. *Can. J. Microbiol.* 52 (9): 809-815.

Acosta I, Cárdenas JF, Alvarado-Hernández D & Moctezuma-Zárate MG (2008)

# Artículos

- Remoción de cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa celular de *Paecilomyces* sp. *Rev. Inf. Tecnol.* 19 (1): 69-74.
- Agarwal GS, Kumar H & Chaudari S (2006) Biosorption of aqueous chromium (VI) by *Tamarindus indica* seeds. *Biores. Technol.* 97: 949-956.
- Bai RS & Abraham TE (2001) Biosorption of Cr (VI) from aqueous solution by *Rhizopus nigricans*. *Biores. Technol.* 79: 73-81.
- Cárdenas-González, JF & Acosta-Rodríguez I (2010) Hexavalent chromium removal by a *Paecilomyces* sp. fungal strain isolated from environment. *Bioinor. Chem. Appl.* 2010: 1-6.
- Cervantes C, Campos-García J, Devars S, Gutierrez-Corona, Lozano-Talavera H, Torres-Guzman JC & Moreno-Sánchez R (2001) Interactions of chromium with microorganisms and plants. *FEMS Microbiol. Rev.* 25: 333-347.
- Cimino G, Passerini A & Toscano G (2000) Removal of toxic cations and Cr (VI) from aqueous solution by hazelnut shell. *Wat. Res.* 34 (11): 2955-2962.
- Cotton FA & Wilkinson G (1980) *Advanced Inorganic Chemistry*: 4a Ed. Chichester, U.K.; John Wiley & Sons. pp. 376-379.
- 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.
- Elangovan R, Ligy P & Chandraraj K (2010) Hexavalent chromium reduction by free and immobilized cell-free extract of *Arthrobacter rhombi*-RE. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 160 (1) 81-97.
- Guillen-Jiménez FM, Morales-Barrera L, Morales-Jiménez J, Hernández-Rodríguez CH & Cristiani-Urbina E (2008) Modulation of tolerance to Cr (VI) and Cr (VI) reduction by sulfate ion in a *Candida* yeast strain isolated from tannery wastewater. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 35: 1277-1287.
- Greenberg AE, Clesceri LS & Eaton AD (1998) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18<sup>a</sup> ed. American Public Health Association, Washington, D.C. 3.58-3.60.
- Huang CP & Wu MH (1977) The removal chromium (VI) from dilute aqueous solution by activated carbon. *Wat. Res.* 11: 673-679.
- Ilham S, Nourbakhsh MN, Kilicarslan S. & Ozdag H (2004) Removal of chromium, lead and copper ions from industrial waste waters by *Staphylococcus saprophyticus*. *Turk. Electron. J. Biotechnol.* 2: 50-57.
- Jeyasingh J & Philip L (2005) Bioremediation of chromium contaminated soil: optimization of operating parameters under laboratory conditions. *J. Hazard. Mater.* 118(1-3): 113-120.
- 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.
- Kratochvil D & Volesky B (1998) Advances in the biosorption of heavy metals. *TIBTECH.* 16: 291- 300.

# Artículos

- Krishna KR & Philip L (2005) Bioremediation of Cr (VI) in contaminated soils. *J. Hazard. Mat.* 121 (1-3):109-117.
- Leyva-Ramos R, Bernal-Jacome LA & Acosta-Rodriguez I (2005) Adsorption of cadmium (II) from aqueous solution on natural and oxidized corncob. *Sep. Purif. Technol.* 45: 41-49.
- Lee SH, Jung CH, Chung H, Lee MY & Yang W (1998) Removal of heavy metals from aqueous solution by apple residues. *Proc. Biochem.* 33: 205-211.
- McLean J & Beveridge TJ (2001) Chromate reduction by a *Pseudomonas* isolated from a site contaminated with chromate copper arsenate. *Appl. Environ. Microbiol.* 67: 1076-1084.
- Morales-Barrera L & Cristiani-Urbina E (2008) Hexavalent chromium removal by a *Trichoderma inhamatum* fungal strain isolated from tannery effluent. *Wat. Air Soil Pollut.* 187: 327-336.
- Namasivayam, C, & Yamuna, RT (1995) Adsorption of chromium (VI) by a low cost adsorbent: biogas residual slurry. *Chemosphere* 30: 561-578.
- Pantaler RP & Pulyaeva, IV (1985) A spectrophotometric study of complexation between chromium and chromazurol S. *J. Anal. Chem.* 40: 1634-1639.
- Pavan FA, Lima IS, Airoidi C & Gushikem Y (2006) Use of pokan mandarin peels as biosorbent for toxic metals uptake from aqueous solutions. *J. Hazard. Mat.* 137: 527-533.
- Pérez-Marín AB, Meseguer- Zapata V, Ortuño JF, Aguilar M, Sáez J & Lloréns M (2007) Removal of cadmium from aqueous solutions by adsorption onto orange waste. *J. Hazard. Mat.* 139: 122-131.
- Popuri R S, Jammala A, Naga Suresh K, & Abuburi K (2007) Biosorption of hexavalent chromium using tamarind (*Tamarindus indica*) fruit shell a comparative study. *J. Biotechnol.* 10 (3): 358-367.
- Ramírez-Ramírez R, Calvo-Mendez C, Avila-Rodriguez M, Lappe P, Ulloa M, Vazquez-Juarez R & Gutierrez-Corona JF (2004) Cr (VI) reduction in a chromate-resistant strain of *Candida maltose* isolated from the leather industry. *Anton. Leeuw. Int. J.* 85: 63-68.
- Sarin V & Pant KK (2006) Removal of chromium from industrial waste by using eucalyptus bark. *Biores. Technol.* 97: 15-20.
- Sarmiento Fradera M (2003) Las delicias del tamarindo. *México Desconocido.* 313: 55-79.
- Sharma DC & Forster CF (1994) A preliminary examination into the adsorption of hexavalent chromium using low-cost adsorbents. *Biores. Technol.* 47: 257-264.
- Tokunaga TK, Wan J, Firestone MK, Hazen TC, Olson KR, Donald J Herman, Sutton DJ & Lanzirotti A (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.
- Wittbrodt PR & Palmer CD (1996) Effect of temperature, ion strength, background electrolytes, and Fe (III) on the reduction

# Artículos

of hexavalent chromium by soil humic substances. *Environ. Sci. Technol.* 30 (8): 2470-2477.

Zouboulis AI, Kydros KA & Matis KA (1995) Removal of hexavalent Chromium anions from solutions by pyrite fines. *Wat. Res.* 29 (7): 1755-1760.

Zubair A, Bhatti HN, Hanif MA & Shafqat F (2008) Kinetic and equilibrium modeling for Cr (III) and Cr (VI) removal from aqueous solutions by *Citrus reticulata* waste biomass. *Wat. Air Soil Pollut.* 191: 305-318.