

BIOADSORCIÓN DE CROMO (VI) DE AGUAS CONTAMINADAS POR LA BIOMASA DE *Arnica montana*

Data de aceite: 01/03/2023

Ismael Acosta Rodríguez

Laboratorio de Micología Experimental
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis
Potosí, S.L.P.
San Luis Potosí, S.L.P., México.
ORCID: 0000-0001-8620-2727

Iveth Guadalupe Torres Vigil

Laboratorio de Micología Experimental
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis
Potosí, S.L.P.
San Luis Potosí, S.L.P., México

Deysi Anel Juárez Torres

Laboratorio de Micología Experimental
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis
Potosí, S.L.P.
San Luis Potosí, S.L.P., México

Luis Miguel Grimaldo Aguilar

Laboratorio de Micología Experimental
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis
Potosí, S.L.P.
San Luis Potosí, S.L.P., México

José Francisco Navarro Castillo

Departamento de Computación de
Posgrado
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de San Luis
Potosí, S.L.P.
San Luis Potosí, S.L.P., México
<https://scholargoogle.com.mx> Francisco
Navarro Castillo

RESUMEN: El cromo (Cr) es uno de los principales contaminantes de los desechos industriales, asociado con diversos daños a la salud humana; en la actualidad, la contaminación del agua ha sufrido un gran aumento, por el irracional vertimiento de efluentes contaminantes sin algún tratamiento previo en los diferentes reservorios de aguas para uso humano. Ante esta problemática, se están analizando procedimientos innovadores que sean económicos, eficientes, y de fácil obtención, como el aprovechamiento de algunos materiales biológicos, como las biomásas vivas y/o muertas de microorganismos y plantas, como *Arnica montana*, de la cual se ha descrito que tiene propiedades medicinales, por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar la capacidad de

remoción de Cr (VI) en solución acuosa mediante la biomasa de *Á. montana*, empleando el método colorimétrico de la Difenilcarbazida modificando variables fisicoquímicas (pH, temperatura, tiempo, concentración de metal y de biomasa). Los resultados obtenidos indican que la biomasa eliminó completamente 100 mg/L del metal en una solución acuosa, a 28°C, pH 1.0, a las 24 h, 100 rpm y 5 g de biomasa. Por otra parte, si se aumenta la temperatura de incubación, aumenta el porcentaje de remoción, pues la biomasa elimina totalmente el metal a las 2.5 h a 60°C. Además, si se aumenta la concentración del metal, disminuye el porcentaje de remoción de éste, pues con 200 mg/L a 28°C, se remueve el 96% de Cr (VI) a las 24 h. Finalmente, 5 g de biomasa, eliminan completamente el metal a los 3 y 5 días, a partir de tierra y agua contaminados. Por lo anterior, esta biomasa se puede utilizar para eliminar este contaminante de los diferentes sitios contaminados.

PALBRAS CLAVE: Remoción, Cromo (VI), Aguas contaminadas, Arnica.

ABSTRACT: Chromium (Cr) is one of the main pollutants in industrial waste, associated with various damages to human health; At present, water pollution has suffered a great increase, due to the irrational dumping of polluting effluents without any previous treatment in the different water reservoirs for human use. Faced with this problem, innovative procedures that are economical, efficient, and easily obtained are being analyzed, such as the use of some biological materials, such as the living and/or dead biomasses of microorganisms and plants, such as *Arnica montana*, from which described that it has medicinal properties, so the objective of this work was to determine the removal capacity of Cr (VI) in aqueous solution through the biomass of *A. montana*, using the Diphenylcarbazine colorimetric method modifying physicochemical variables (pH, temperature, time, metal and biomass concentration). The results obtained indicate that the biomass completely eliminated 100 mg/L of the metal in an aqueous solution, at 28°C, pH 1.0, at 24 h, 100 rpm and 5 g of biomass. On the other hand, if the incubation temperature is increased, the removal percentage increases, since the biomass totally eliminates the metal after 2.5 h at 60°C. In addition, if the concentration of the metal is increased, the percentage of its removal decreases, since with 200 mg/L at 28°C, 96% of Cr (VI) is removed after 24 h. Finally, 5 g of biomass, completely eliminate the metal at 3 and 5 days, from contaminated soil and water. Therefore, this biomass can be used to remove this contaminant from the different contaminated sites.

KEYWORDS: Removal, Chromium (VI), contaminated Waters, Arnica.

INTRODUCCIÓN

El cromo es un elemento que principalmente existe en dos estados, Cr hexavalente [Cr (VI)] y Cr trivalente [Cr (III)]. El cromo hexavalente, también conocido como Cromo 6 (Cr⁺⁶), es un poderoso oxidante, altamente tóxico, según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), se le ha clasificado en el Grupo 1 (un agente carcinogénico) (Pérez et al., 2014). Mientras que algunas formas menos tóxicas del metal ocurren naturalmente en el ambiente (suelo, rocas, polvo, plantas, y animales). El Cr (VI) se utiliza en galvanoplastia, fabricación y soldadura de acero inoxidable, pigmentos y colorantes, revestimientos de superficies, curtido de cuero, minería, agricultura y vehículos

automotores, entre otras actividades antropogénicas (Reyes et al., 2021). El metal se origina a partir de los desperdicios y contaminantes industriales, siendo un gran riesgo para la salud humana. La contaminación por metales pesados en México es un problema que va en aumento debido a varias actividades antropogénicas, específicamente la minería. Los principales metales contaminantes en México dada su toxicidad y abundancia son: mercurio, arsénico, plomo y cromo (Simsek et al., 2016).

Una alternativa para contribuir en la solución de la contaminación por metales pesados es el uso de biomasa vegetales para la remoción de éstos. En la literatura se han reportado diferentes biomasa con capacidad de acumulación de diferentes metales pesados (Simsek et al., 2016). Por otro lado, en México se ha descrito una gran variedad de especies que tienen el nombre común de “Árnica”; el nombre se deriva de una especie originaria de Europa Central con estas mismas características. Esta planta tuvo una rápida diseminación por Asia y América del Norte, y en todos los casos ha sido utilizada con fines terapéuticos (Horta et al., 2013).

Árnica montana pertenece a la familia *Asteraceae*, y es la especie más conocida y distribuida usada bajo este nombre en nuestro país, principalmente en el Occidente de México, en el Valle de México y en el centro del país: Colima, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala y Veracruz (Heijen et al., 2009). Es una planta vivaz, de tallo erguido que alcanza de 15 a 60 cm de altura y sus hojas ovales forman una roseta basilar en el suelo. Las flores de color amarillo son grandes y terminales, tallo de unos 30 cm de altura, hueco, veloso y áspero, ramas colocadas de 2 en 2, simples, derechas, desnudas y con una flor terminal amarilla. Las hojas son ovaladas y semejantes a las del llantén, ásperas por encima y lampiñas por el envés. Las flores y la raíz tienen sabor acre, aromático y un olor fuerte (Horta et al., 2013). Las flores, las hojas, la raíz y rizoma de esta planta poseen propiedades farmacológicas principalmente antiinflamatorias, analgésicas y antibacterianas (Horta et al., 2013).

JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones (INEM), en el país el 85% de las descargas industriales se vierten directamente en los diferentes reservorios de agua sin un tratamiento previo. La contaminación química genera exposiciones crónicas a bajas dosis cuyos efectos se asocian, por ejemplo, con el incremento de cáncer en las zonas contaminadas por metales pesados como el Cr (VI). Considerando que la contaminación ambiental es un factor que impacta negativamente la salud y el planeta, es de vital importancia la investigación y obtención de métodos eficientes para contribuir en el proceso de disminución y/o eliminación de dichos contaminantes. El uso de biomasa vegetales podría ser una gran alternativa para contribuir en la solución de la contaminación por

metales pesados vertidos en el agua.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la capacidad de remoción de Cr (VI) en solución mediante la biomasa de *Á. montana*.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar la capacidad de *Á. montana* para la remoción de Cromo hexavalente en solución.
2. Determinar las condiciones óptimas de remoción del metal en solución (tiempo de incubación, pH, temperatura, concentración inicial de Cr (VI) y de la biomasa).
3. Analizar la capacidad de esta biomasa para eliminar el metal a partir de tierra y agua contaminados

METODOLOGÍA

Obtención de la biomasa de *Árnica montana*

La planta se obtuvo de una tienda naturista del mercado Republica de la ciudad capital de San Luis Potosí, S.L.P, México en enero de 2022. Para la obtención de la biomasa, la planta se lavó por 24 h con EDTA al 10% (p/v), posteriormente se lavó durante una semana con agua tridesionizada con agitación constante y cambios de agua cada 24 h. Después se hirvió durante 60 minutos para eliminar el polvo y los componentes orgánicos adheridos, se volvió a lavar en las condiciones anteriores durante 24 horas. En seguida se deseca en una estufa bacteriológica a 80°C por 24 horas, se molió en licuadora y se almacenó en un frasco ámbar hasta su uso.

Soluciones de Cr (VI)

Se trabajó con 100 mL de una solución de 100 mg/L de Cromo (VI) obtenida por dilución de una solución patrón de 1.0 g/L preparada en agua tridesionizada a partir de K_2CrO_4 . Se ajustó el pH de la dilución a analizar con HNO_3 1 N y/o NaOH 1 N, antes de adicionarla a la biomasa.

Estudios de remoción

Para los experimentos relacionados con la remoción, 5.0 g de la biomasa de *Á. montana* (previamente esterilizada a 15 libras y 120°C, en matraces Erlenmeyer de 250 mL), se mezclaron con 100 mL de una solución de 100 mg/L de Cromo (VI) [a diferentes valores de pH, temperaturas y concentraciones iniciales de Cr (VI)], así como con agua y

tierra contaminados con el metal], 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 del metal en solución, utilizando el método espectrofotométrico de la Difenilcarbazida (Greenberg et al., 1998). Los experimentos se realizaron 2 veces y por duplicado.

Método espectrofotométrico de Difenilcarbazida para la determinación de Cromo (VI)

A un matraz volumétrico de 50 mL se le añadieron 0.5 mL de una solución de H_2SO_4 1:1 (v/v), 0.1 mL de H_3PO_4 al 85% (v/v) y 1.0 mL de la solución de Difenilcarbazida. Posteriormente se agregaron 5 mL de la muestra problema, se agita, y se afora a 50 mL con agua tridesionizada, y posteriormente se deja reposar por 5 minutos para que se desarrolle completamente el color púrpura (Figura 1). La absorbancia de la muestra se mide en un Espectrofotómetro de luz UV-Visible (Shimadzu modelo 160-A) a una longitud de onda de 540 nm, usando como referencia un blanco preparado con agua tridesionizada de acuerdo con el procedimiento (Greenberg et al., 1998). Se realizó el procedimiento anterior a diferentes valores de pH (1, 2, 3 y 4), temperaturas (28, 40, 50 y 60°C) y diferentes concentraciones de Cr (VI) a pH 1.0, a 28°C y 60°C (200, 400, 600, 800 y 1000 mg/L).



Figura 1.- Reacción de Cr (VI) con la Difenilcarbazida.

a) 400 mg/L, b) 600 mg/L, c) 800 mg/L, d) 1000 mg/L

Ensayo de biorremediación

Se utilizó tierra y agua contaminados con aproximadamente 200 mg/g de Cr(VI) y 200 mg/L de Cr (VI), obtenidos de una Tenería de Celaya, Guanajuato, México. A matraces Erlenmeyer de 250 mL conteniendo 5 g de biomasa, se les agregaron 5 g de tierra contaminada (pH 6.8) y 95 mL de agua contaminado (pH 8.2). Se aforó la muestra de tierra a 100 mL con agua tridesionizada estéril, y se incubaron a 28°C con agitación constante (100 rpm), y a diferentes intervalos de tiempo se les determinó la concentración de Cromo

(VI) en el sobrenadante. Todos los experimentos se realizaron un mínimo de 2 veces y por duplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del pH y el tiempo de incubación

La figura 2 muestra el efecto de los diferentes valores de pH (1, 2, 3 y 4) sobre la remoción de Cr (VI). El porcentaje de remoción del metal disminuye conforme se aumenta el pH de la solución. El tiempo y pH óptimos para la remoción del Cr (VI) mediante la biomasa de *Á. montana* fue de 100 % a las 24 h, a un pH de 1.0, 100 rpm, a 28°C y 5 g de biomasa/100 mL. Es importante mencionar que a estas mismas condiciones a las 8 h se obtuvo un porcentaje de remoción de 99.6%. Al respecto se ha reportado un tiempo de 7 h para la remoción de 100 % de Cr (VI) por la biomasa de *P. erosus* (Gallegos et al., 2021). Para la remoción del mismo metal con la cascarilla de arroz el pH óptimo es entre pH 1 a 3, con un porcentaje de remoción del 72.7 % con 5 mg/L de Cr (VI) (Doria et al., 2011), 4 h a un pH entre 1 y 3, para la remoción del 100 % de Cr (VI) con raquis de *Zea mays* (Carreño et al., 2017). 60 min para el 85.9 % de eliminación de Cr (VI) por cascara seca de *Cocos nucifera L.* a un pH de 3 (Pérez et al., 2014), 2 h para la remoción de Cr (VI) por la corteza de eucalipto (Sarin & Pant, 2006), y 50 min con 1 g de biomasa se remueve totalmente el metal utilizando la biomasa de cascara de mamey (Acosta et al., 2012).

El pH tiene un efecto importante en los iones metálicos en solución debido a que su estado de oxidación puede variar según las condiciones del medio, en particular, el Cr (VI) a pH ácido experimenta una reacción de óxido reducción. Cambios en la permeabilidad celular 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 las biomásas analizadas (Abbas et al., 2014)

En la figura 3, se observa que, a mayor temperatura, se incrementa la remoción del metal, ya que la temperatura aumenta la actividad de la carga superficial activa y la energía cinética del bioadsorbente, mejorando así la remoción de iones metálicos (Gallegos et al., 2021). La temperatura más eficiente de remoción del metal fue de 60°C, con un 100% de eliminación de Cr (VI), en 2.5 h. La literatura reporta que, a 60 °C, a los 12 min se remueve el 100% de Cr para la cáscara de mamey (Acosta, et al., 2012), para la cáscara de aguacate la remoción de Cr disminuyó gradualmente al disminuir la temperatura (Netzahuatl, et al., 2010), y para la cáscara de plátano a 60 °C, se remueve el 100 % del metal a los 20 min (Torres et al., 2012).

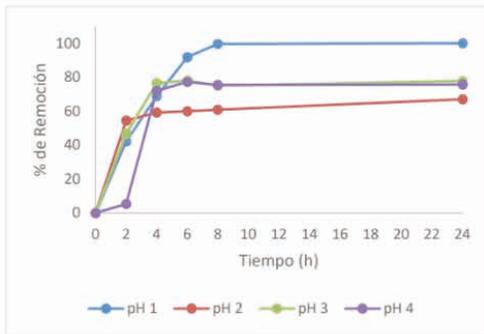


Figura 2. Efeito do pH sobre a remoção de Cr (VI) em solução. 5 g de biomassa, 28°C, 100 rpm.

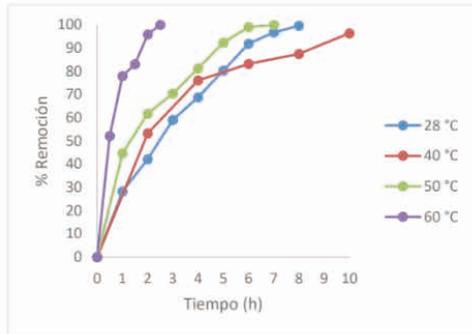


Figura 3. Efeito da temperatura sobre a remoção de Cr (VI) em solução. 5 g de biomassa, pH 1.0, 28°C, 100 rpm.

Efeito de la concentración inicial del metal sobre la remoción de Cromo (VI)

Por otra parte, la influencia de diferentes concentraciones iniciales del metal en la remoción a 28°C mostró que, a una baja concentración del metal, se obtiene un mayor porcentaje de remoción (95.6%, 200 mg/L) a 28°C, a las 24 horas. En la figura 4 a y b, se muestran los resultados de remoción obtenidos para cada uno de los tiempos analizados a 28°C y 60°C. Con respecto al efecto de la concentración inicial a 60°C, se obtuvieron resultados similares para la remoción de 200, 400 y 600 mg/L del metal, removiendo entre 90 a 100 % del metal entre 60 min y 120 min. Sin embargo, se puede observar que, a mayor concentración inicial del metal, disminuye la velocidad y remoción de éste. Estos resultados son diferentes para lo reportado con la biomasa de cascarilla de arroz, con una concentración inicial de 3 mg/L, la velocidad de adsorción es menor y el porcentaje de remoción bajo (22 %) a los 180 min (Doria et al., 2011). En contraste, para este mismo tiempo de incubación y a una concentración del metal de 0,3 mg/L (Doria et al., 2011), se obtiene una remoción del 98%, para la biomasa de cascara seca de Cocos *nucífera*, sin embargo, para concentraciones de 2,5 y 3 mg.dm³) se obtienen valores de remoción inferiores al 90 % (Pérez et al., 2014).

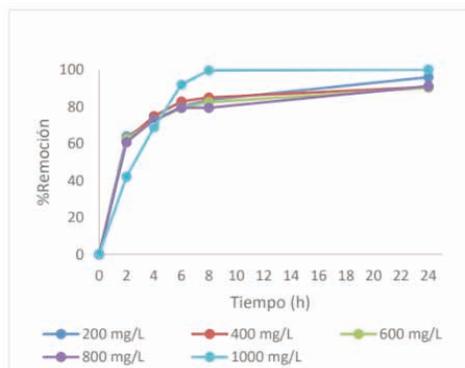


Figura 4a. Efeito de la concentración inicial del Cr (VI) en solución. 5 g de biomasa, pH 1.0, 28°C, 100 rpm.

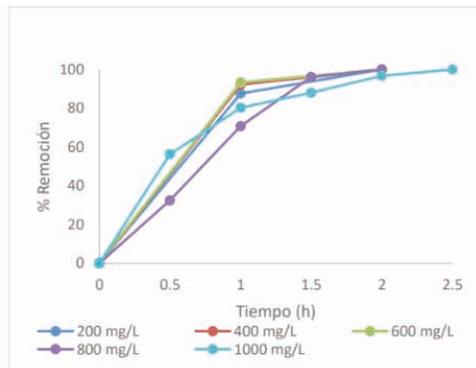


Figura 4b. Efeito de la concentración inicial del Cr (VI) en solución. 5 g de biomasa, pH 1.0, 60°C, 100 rpm.

Efeito de la concentración de biomasa sobre la remoción de 1 g/L de Cr (VI)

En la figura 5 se muestra que, si se aumenta la cantidad de biomasa de 1 a 5 g, también incrementa la remoción del metal de un 56.1% para 1 g de biomasa a las 24 h, mientras que, con 5 g de biomasa, la remoción es del 100% en el mismo tiempo de incubación. Esto se debe a que hay más sitios de unión disponibles para la bioadsorción de éste, ya que la cantidad de bioadsorbente añadido determina el número de sitios disponibles para la bioadsorción de metales pesados (Gallegos et al., 2021). Los resultados obtenidos coinciden con algunos reportes de la literatura, como para la cáscara de plátano donde al aumentar la cantidad de biomasa, también aumenta la remoción del Cr (VI) (Torres et al., 2012), al igual que para la cáscara de litchi y naranja. (Acosta et al., 2012).

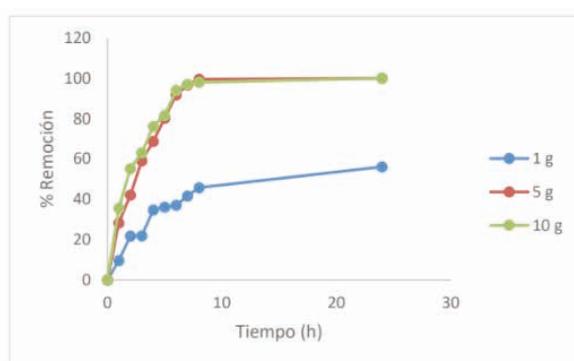


Figura 5. Efeito de la concentración de la biomasa sobre la remoción de 1 g/L de Cr (VI), pH 1.0, 28°C, 100 rpm.

Biorremediación de tierra y agua contaminados

Con el posible objetivo de utilizar biomazas de *Á. montana* en la eliminación del metal de desechos industriales, se realizó un ensayo de biorremediación en solución acuosa, en el cual se incubaron 5 g de biomasa con 5 g de tierra no estéril contaminada con 200 mg de Cromo (VI) / g de tierra con pH de 6.8 y 95 mL de agua contaminada con 200 mg del metal/L con pH 8.2, resuspendiendo la tierra en agua tridesionizada a un volumen final de 100 mL, a 28°C y 100 rpm. En la figura 6, se observa que después de 3 y 5 días de incubación la concentración de Cr (VI) de las muestras de tierra y agua se eliminó completamente el metal de las muestras contaminadas. La capacidad de remoción de este metal en agua y tierra contaminadas, es igual o mejor que otros estudios realizados, por ejemplo, la remoción para el mismo metal por *P. erosus* en solución acuosa a las 24 h fue de 100% (Gallegos et al., 2021), en muestras obtenidas a partir de un residual generado en Santiago de Cuba, con porcentajes de remoción de Cr (VI) de 96,85 % y 93,71 % para la biomasa de *C. nucífera* L. (Pérez et al., 2014), por *A. bisporus* (Monreal et al., 2021), para la biomasa de *C. sativum* (Reyes et al., 2021), para la biomasa de *A. comosus* (Acosta et al., 2019), y utilizando cáscara de naranja y cascara de mamey (Acosta et al., 2012).

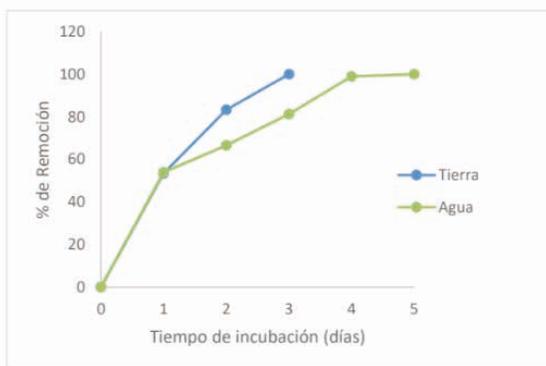


Figura 6. Ensayo de biorremediación de tierra y agua contaminados con 5 g de biomasa, 28°C, 100 rpm.

CONCLUSIONES

En la última década, se ha estudiado la capacidad de remoción de diferentes metales pesados de sitios contaminados por materiales de bajo costo, con resultados prometedores. Entre estos adsorbentes se encuentran microorganismos muertos, minerales arcillosos, desechos agrícolas, desechos industriales y otros materiales. En este trabajo se analizó la biomasa de una planta comercial de *Á. montana* para la remoción de Cromo (VI) en solución acuosa, con las siguientes conclusiones:

1. La biomasa de *Á. montana* eliminó completamente 100 mg/L de Cr (VI) en una

solución acuosa, a 28°C, pH 1.0, a las 24 h y 100 rpm.

2. Si aumenta la temperatura de incubación, aumenta la eficiencia de eliminación.
3. A menor concentración de metal, es mayor la eficiencia de remoción.
4. Si se aumenta la cantidad de biomasa, aumenta la remoción de Cr (VI)
4. En pruebas de biorremediación se encontró que la biomasa remueve eficientemente el metal de tierras y aguas contaminados con Cr (VI), por lo tanto, su aplicación es viable para el tratamiento de aguas y tierras contaminados, además, la biomasa utilizada es natural, de fácil obtención, manejo, y costo accesible.

REFERENCIAS

1. Villaseñor R., J.L. y F.J. Espinosa G.,1998. Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
2. del Puerto Horta, M., Casas Insua, L., & Cañete Villafranca, R. 2013. Usos más frecuentes de *Árnica montana*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18(2), 315-326. Recuperado en 05 de mayo de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962013000200014&lng=es&tlng=es.
3. Vargas-Vizuet, A.L., Lobato-Tapia, C.A., Tobar-Reyes, J.R., Solano-de la Cruz, M.T., Ibáñez Martínez, A., & Romero Fernández, A. 2021. Medicinal plants used in the region of Teziutlán, Puebla, Mexico. *Boletín Latinoamericano Y Del Caribe De Plantas Medicinales Y Aromáticas*, 21(2), 224-241. <https://doi.org/10.37360/blacpma.22.21.2.14>
4. Santoyo G. 2017. El cromo (VI) induce la frecuencia demutación y pérdida de heterocigocidad en *Saccharomyces cerevisiae*, 21(1), 34-39. Recuperado 07 de mayo de 2022, de El cromo (VI) induce la frecuencia de mutación y pérdida de heterocigocidad en *Saccharomyces cerevisiae* | Santoyo | TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas (unam.mx)
5. Covarrubias, S.A., & Cabriales, J.J. P. 2017. Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7-21. Recuperado 07 de mayo de 2022, de Contaminacion por metales pesados problematica y alternativa fitoremediacion.pdf (unne.edu.ar)
6. Riojas-Rodríguez, H., Schilman, A., López-Carrillo, L., & Finkelman, J. 2013. La salud ambiental en México: situación actual y perspectivas futuras. *Salud Pública de México*, 55(6), 638-649. Recuperado en 13 de mayo de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342013001000013&lng=es&tlng=es.
7. Herrera, G.M.D., & Hormaza Anaguano, A. & Gallego Suarez, D. 2011. Cascarrilla de arroz: material alternativo y de bajo costo para el tratamiento de aguas contaminadas con cromo (VI). *Gestión y Ambiente*, 14(1),73-83. [fecha de Consulta 13 de Mayo de 2022]. ISSN: 0124-177X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169422215006>
8. Hernández-Berriel, M.C., & Solache Ríos, M.J., & Cosme-Torres, I., & Flores-Alamo, N., & Carreño-De León, M.C. 2017. Adsorption of Cr (VI) by *Zea mays* rachis. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16(1),263-271. [fecha de Consulta 13 de Mayo de 2022]. ISSN: 1665-2738. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62049878025>

9. Sarin, V. and Pant, K.K. 2006. Removal of chromium from industrial waste by using eucalyptus bark. *Bioresource Technology*. 97: 15-20
10. Pérez Silva, R.M., Calzado Lamela, O. Cascaret C., Dannis A., Tur Naranjo, E. 2014. Adsorción de Cr(VI) por *Cocos nucifera* L. en residuales de Fibrocemento en Santiago de Cuba. *Revista Colombiana de Biotecnología*, XVI(1),9-18.[fecha de Consulta 13 de Mayo de 2022]. ISSN: 0123-3475. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77631180001>
11. Abbas, S.H., Ismail, I.M., Mostafa, T.M. & A.H. Sulaymon, A.H. 2014. Biosorption of heavy metals: A Review. *J. Chem. Scien. Technol.*, 3 (4), 74-102.
12. Domínguez L., Miguel I., Albis A., Cajar R., Laura V. 2015. Análisis cinético de la Adsorción de Cr (VI) en soluciones acuosas a concentraciones de 10-20 mg/L con el uso de cáscara de yuca amarga (*Manihot esculenta*). *PROSPECTIVA*, 13(2),64-71. [fecha de Consulta 13 de Mayo de 2022]. ISSN: 1692-8261. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496250642008>
13. Acosta Rodríguez I, Enríquez Domínguez E, Rodríguez Pérez A, Cárdenas González J.F., Martínez Juárez V.M., Tovar Oviedo J. 2021. The Use of the Biomass of a Macromycete Fungus for the Bioremediation of Chromium (VI) in Solution. *J. Advan. Microbiol.* 21(11): 15-27. Article No. JAMB.75464.
14. Reyes Barbosa AS, Purata Díaz, ME, Olivo Fat P, Cárdenas González JF, Enriquez Domínguez E, Rodríguez Pérez AS, et al. 2021. Application of Coriandrum sativum biomass in the removal of Chromium (VI) from polluted waters. *JMEST*. 8(4):13842-13847. www.jmest.org.
15. Acosta Rodríguez I, Cárdenas González JF, Galaviz Orocio K, Rodríguez Pérez A, Michel Cuello C, Muñoz Morales A. 2019. Biosorption of Chromium (VI) in aqueous solution by *Ananas comosus* biomass shell. *Mod. Conc. Develop. Agron.* 4(1):1-6. DOI:10.31031/MCDA.2019.04.000584.
16. Acosta, I., Sandoval, P., Bautista, D., Hernández, N., Cárdenas, J.F., & Martínez, V. M. 2012. Bioadsorción de Cromo (VI) por la cáscara de Mamey (*Mammea americana* L.). *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(2), 1-9.
17. Netzahuatl-Muñoz, A.R., Pineda-Camacho, G., Barragán-Huerta, B.E., & Cristiani-Urbina, E. 2010. Evaluación de la cáscara del aguacate para la remoción de cromo hexavalente y cromo total de soluciones acuosas. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 41, 1-10.
18. Torres, L., Cárdenas, J.F., Moctezuma, M.G, Acosta, I., & Martínez, V. M. (2012). Remoción de cromo hexavalente por la cascara de Plátano (*Musa cavendishii*). *Química Hoy*, 2(4_Especial), 71-74.
19. Acosta-Rodríguez, I., González, H., Moctezuma-Zárate, M., Cárdenas, J. & Martínez, M. 2012. Remoción de Cromo (VI) en solución por la cáscara de naranja (*Citrus sinensis* Osbeck). *Revista Académica de investigación*, 9, 1-16.
20. Vibrans H. 2009. Malezas de México, consulta 05 mayo 2022 <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/heterothecainuloides/fichas/ficha.htm>
21. Martínez-Pérez, R., Sandoval-Ibarra, P., Cárdenas-González, J.F., Martínez-Juárez, V.M., & Acosta-Rodríguez, I. 2011. Reducción y remoción de cromo VI en solución por la cascara de lichee (*Litchi chinensis* Soon). *Geoquímica Ambiental*, 2(1), 1-8.