

DOI: 10.24850/j-tyca-2022-03-10

Notas

Remoción de cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa modificada del grano de arroz (*Oriza sativa* L.)

Chromium (VI) removal in aqueous solution by the modified biomass of rice grain (*Oriza sativa* L.)

Adriana S. Rodríguez-Pérez¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6570-6579>

Nancy C. Pacheco-Castillo²

Juana Tovar-Oviedo³

Víctor M. Martínez-Juárez⁴, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7426-6835>

Ismael Acosta-Rodríguez⁵, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8620-2727>

Alejandra Muñoz-Morales⁶

Juan F. Cárdenas-González⁷, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3502-5959>

¹Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media-Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Rioverde, México, sarai.rodriguez@uaslp.mx

²Facultad de Ciencias Químicas-Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México, nancy.cecilia.pc@gmail.com

³Facultad de Ciencias Químicas-Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México, jtoviedo@uaslp.mx

⁴Instituto de Ciencias Agropecuarias-Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca de Soto, México, victormj@uaeh.edu.mx

⁵Facultad de Ciencias Químicas-Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México, iacosta@uaslp.mx

⁶Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media-Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Rioverde, México, alejandra.munoz@uaslp.mx

⁷Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media-Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Rioverde, México, juan.cardenas@uaslp.mx

Autor para correspondencia: Juan Cárdenas, juan.cardenas@uaslp.mx

Resumen

Se estudió la capacidad de remoción de cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa modificada del grano de arroz, utilizando el método colorimétrico de la difenilcarbazida, para evaluar la concentración del

metal. Se evaluó la bioadsorción a diferentes pH's (1, 2, 3 y 4) a diferentes tiempos. También se estudió el efecto de la temperatura en el intervalo de 28 a 60 °C y la remoción a diferentes concentraciones iniciales de Cr (VI) de 200 a 1 000 mg/l. La mayor remoción del metal fue a los ocho días, con un 100 y 79 %, para las biomásas modificada y no modificada, respectivamente, con un pH de 1.0, 28 °C y 1 g de biomasa. Con respecto a la temperatura de trabajo, la óptima fue de 60 °C, con un 100 % de remoción a los cinco días, mientras que a las concentraciones de cromo (VI) analizadas, la biomasa natural mostró una buena capacidad de remoción, eliminando 200 mg/l del metal a los 13 días y una temperatura de 28 °C. Además, a mayor concentración de la biomasa, es mayor la remoción del metal, y elimina eficientemente el metal de tierra y aguas residuales contaminadas (71 y 73 %, respectivamente), a los 10 días de incubación con 10 g de biomasa modificada.

Palabras clave: cromo (VI), aguas residuales, arroz, remoción de metales.

Abstract

It was studied the removal capacity of Chromium (VI) in an aqueous solution by the modified biomass of rice grain, using the diphenylcarbazide colorimetric method, to evaluate the metal concentration. The biosorption at different pHs (1, 2, 3, and 4) was

evaluated at different times. Too, the effect of temperature in the range of 28 to 60 °C and removal at different initial concentrations of Cr (VI) from 200 to 1 000 mg/L, were studied. The most removal of metal, was eight days, with 100 and 79 %, for both biomasses, modified and not modified, respectively, at 28 °C, pH 1.0, and 1 g of biomass. Concerning the incubation temperature, the highest removal was at 60 °C, with 100 % of removal after five days. Additionally, the biomass concentration does influence the metal removal, and efficiently remove the metal from contaminated earth and wastewater (71 and 73 %, respectively), after 10 days of incubation with 10 g of biomass.

Keywords: chromium (VI), wastewater, rice, metals removal.

Recibido: 04/08/2020

Aceptado: 28/04/2021

Introducción

El arroz es la semilla de la planta *Oryza sativa*, perteneciente a la familia de las Poáceas (gramíneas), es comestible y constituye la base de la dieta de casi la mitad de la población mundial. Es un cereal considerado como alimento básico en muchas culturas, en especial la cocina asiática, así como en algunas partes de América Latina (Lema, 2018).

Hasta 1988, la república mexicana fue autosuficiente en su producción, pero en el año 2016 se produjo sólo el 21.6 % del consumo nacional, y actualmente se importan alrededor de 930 000 toneladas anuales (Sagarpa, 2017).

Se ha reportado que es uno de los tres cereales que más se consume en el mundo, sobre todo como grano entero, y contribuye de forma muy efectiva al aporte de energía de la dieta humana actual.

El arroz es responsable del aporte calórico de una quinta parte de las calorías consumidas en el mundo por los seres humanos (Babaso & Sharanagouda, 2017); por otro lado, el arroz tiene un bajo contenido proteico (7-9 % en peso seco); el grano es la mayor fuente de proteína en los principales países consumidores de arroz y su calidad proteica es menor a la de la avena, y mejor que la del trigo y maíz (Pincirolí, 2015); su contenido en porcentaje es el siguiente: carbohidratos, 64.3 (el cual es un 80 % de almidón como amilosa y amilopectina); proteínas, 7.3; lípidos, 2.2; cenizas, 1.4; fibra cruda, 0.8 y vitaminas (Pincirolí, 2015).

También se le han descrito propiedades medicinales como ser hipoalergénico, antidiarreico, antiinflamatorio, laxante, hipolipemiante, ayuda en el tratamiento de la gastritis, diarreas, afecciones cutáneas, contracturas musculares y traumatismos (Pincirolí, 2015; Chakraborty 2020), e incluso se ha reportado que las proteínas del salvado tienen propiedades anticancerígenas (Kawamura & Muramoto, 1993).

Por otra parte, el crecimiento poblacional, la explotación agrícola y el desarrollo industrial han incrementado las fuentes de contaminación ambiental y desechos tóxicos, por lo que muchos contaminantes, como efluentes industriales, plaguicidas y otros productos químicos usados en las diferentes actividades humanas, llegan a tierras, ríos, lagos y mares, provocando daños irreversibles al medio ambiente. Esos daños se traducen en cambios que afectan la calidad de vida y salud de la población debido a las alteraciones inducidas en el aire, suelo, agua, así como en los ambientes urbanos y rurales (Kapahi & Sachdeva, 2019).

Entre los principales contaminantes ambientales se encuentran los metales pesados, cuya presencia debe ser considerada de manera muy importante en alimentos tanto de origen animal como vegetal. Estos metales se pueden acumular en cultivos, a través de su absorción por irrigación con agua contaminada, por las raíces o por deposición de partículas aéreas en el follaje (Sarabia-Meléndez, Berber-Mendoza, Reyes-Cárdenas, Sarabia-Meléndez, & Acosta-Rangel, 2018). De estos

metales, el cromo es precisamente uno de los más tóxicos y de difícil remoción.

Actualmente se ha investigado bastante el uso de una amplia variedad de biomasas lignocelulósicas residuales para la remoción de iones metálicos de aguas contaminadas, entre los que se incluyen cortezas de árboles, residuos de madera, semillas y hojas de diferentes árboles, cáscaras de frutos secos, residuos de cereales y cítricos. Los residuos del arroz han sido muy utilizados en la eliminación de diferentes metales pesados, algunas veces de forma natural y otras químicamente pretratadas para aumentar en gran medida, su capacidad de remoción (Quiñones, Tejada, Arcia, & Ruiz, 2013; Llanos-Páez, Ríos-Navarro, Jaramillo-Páez, & Rodríguez- Herrera, 2016), por ejemplo, la remoción de fenol por carbón activado de cáscara de arroz tratada con hidróxido de sodio (Khan *et al.*, 2017); el porcentaje de eliminación de cromo (III) de efluentes de curtiduría utilizando sílice modificada obtenida de la cáscara de arroz fue del 70 % para el compuesto SRH-NH₂ y del 90 % para el compuesto SRH-triamina (Gutiérrez-Valtierra *et al.*, 2019); la absorción de azul de metileno con cascarilla de arroz modificada con ácido fosfórico (Rodríguez, Campos-Rosario, & Pérez-Flores, 2019); la bioadsorción de cadmio (II) por cáscara de arroz tratada químicamente (Hoyos-Sánchez, Córdoba-Pacheco, Rodríguez-Herrera, & Uribe-Kaffure, 2017); la remoción de cromo por cáscara de arroz tratada con formaldehído (Tariq *et al.*, 2019); la eliminación de plomo y cadmio por la misma biomasa modificada con nanopartículas de plata (Abbas, Nady, Abd-El-Rahman, &

Ali, 2018), y la adsorción de plomo por carbón activado de cáscara de arroz tratada con carbonato de sodio (Hanum, Bani, & Izdihar, 2017).

La gran capacidad adsorbente de la cáscara de arroz se atribuye a la naturaleza de sus componentes, principalmente celulosa, hemicelulosa, lignina y algunas proteínas (Chuah, Jumariah, Azni, Katayon, & Thomas-Choong, 2005), y a la presencia de altos contenidos de lignina (Bansal, Garg, Singh, & Garg, 2009). El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad adsorbente del grano de arroz modificado con hidróxido de sodio (semilla, cariopse) en la remoción de cromo (VI) en solución.

Materiales y métodos

Bioadsorbente utilizado

El biomaterial se obtuvo a partir de grano de arroz comercial obtenido de diferentes tiendas de autoservicio en San Luis Potosí, S.L.P., México. Para la obtención de la biomasa, el grano se lavó 24 horas con EDTA al 10 % (p/v en agua tridesionizada), y después 72 horas con agua tridesionizada en agitación constante, con cambios del agua cada 12 horas. Posteriormente, se mantuvo en contacto por 24 horas con hidróxido de sodio 1 N (este tratamiento produce cambios en la estructura del grano, mejorando las propiedades de accesibilidad de la biomasa); se enjuagó tres veces con la misma agua; se secó a 37 °C durante 24 horas en horno bacteriológico 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 50 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 K_2CrO_4 . Se ajustó el pH de la dilución a analizar con HNO_3 1 M y/o NaOH 1 M antes de adicionarla al biomaterial.

Estudios de remoción

Un gramo de la biomasa del grano de arroz (previamente esterilizada a 15 libras y 120 °C, en matraces Erlenmeyer de 250 ml) se mezcló con 100 ml de una solución de 50 mg/l de Cr (VI) (a pH's de 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0; temperaturas de 28, 40, 50 y 60 °C, y concentraciones del metal de 200, 400, 600, 800 y 1 000 mg/L) y se mantuvo a una temperatura de 28 °C y 100 rpm, tomando a diferentes tiempos, alícuotas de 5 ml cada una, las cuales se centrifugaron a 3 000 rpm (5 min); 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, Clesceri, & Eaton, 1998). Todos los experimentos se realizaron un mínimo de tres veces y por duplicado.

Ensayos de remediación de suelo y agua contaminados

A matraces Erlenmeyer de 500 ml conteniendo 180 ml de agua tridesionizada y 10 g de biomasa tratada con suelo no estéril, contaminada con 100 mg de Cr (VI)/g de suelo (ajustado) y 100 ml de agua contaminada con 100 mg de Cr (VI) (ajustado), resuspendiendo el suelo en agua tridesionizada a 28 °C y 100 rpm, para el otro experimento, se añadió a la mezcla, 190 ml de agua contaminada con 100 mg/l de Cr (VI), obtenidas de una tina de lavado de una cromadora de Celaya, Guanajuato, México, y se mantuvieron 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 tres veces y por duplicado.

Resultados y discusión

Se analizó la adsorción de 50 mg/l de cromo (VI) a diferentes tiempos de contacto (0-10 días) y a diferentes valores de pH (1,2,3 y 4), ajustando los experimentos a un modelo unifactorial de efectos fijos. Se encontró que a pH de 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0 se remueve el 100, 92.3, 76. y 56.2 %, respectivamente, del metal a los ocho días con la biomasa modificada; mientras que con la no modificada se elimina un 79, 50.3, 34.4 y 20 % en el mismo tiempo de contacto, a 28 °C y pH de 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0, respectivamente, mostrando los demás datos de adsorción con diferentes pH's en la Figura 2, con 1.0 g de biomasa (Figura 1 y Figura 2), lo que indica una mayor remoción del metal con la biomasa modificada. Se ha reportado una eficiencia de remoción máxima de 95 % durante tres horas para la remoción de cromo por la cáscara de arroz tratada con formaldehído (Tariq *et al.*, 2019); remociones de Cr (VI) superiores al 94 % a un valor de pH 1.0 a las 12 horas de incubación con cascarilla de arroz (Doria-Herrera, Hormaza-Anaguano, & Gallego-Suarez, 2011); remoción de Cr (VI) por residuos de arroz a un pH entre 1.5 y 2.0 y 5 horas de contacto con temperatura controlada (Kumar-Naiya, Singha, & Kumar-Das, 2011); unas eficiencias de remoción de 49.2, 54.5 y 72.8 %, a partir de efluentes industriales para las biomasas de ceniza de cascarilla de arroz, cascarilla de arroz activada con H_3PO_4 y ceniza de cascarilla de arroz activada con NaOH, respectivamente, con un rango de pH entre 0 y 5.0, a las 24 horas de desarrollo (Rodríguez, Salinas, Ríos, & Vargas, 2012); porcentajes de remoción de 71 y 76.5 % para la cáscara de arroz tratada con calor y formaldehído, respectivamente, a un pH de 2.0 y 3

horas de desarrollo (Bansal *et al.*, 2009); una eliminación del 99 % de cromo (III) a partir de efluentes de curtiduría utilizando sílice modificada obtenida de la cáscara de arroz, en un rango de pH entre 2.3 y 4.0 en 20 minutos (Gutiérrez-Valtierra *et al.*, 2019). El cromo (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).

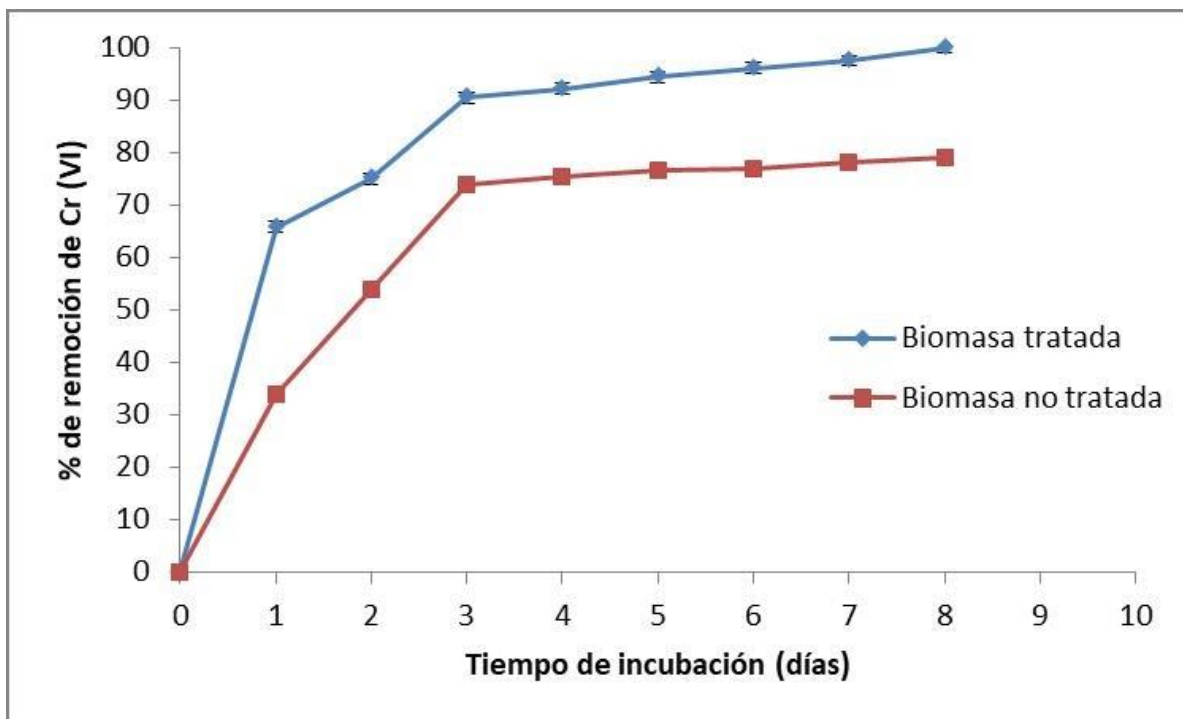


Figura 1. Efecto del tiempo de desarrollo sobre la remoción de cromo. (VI) por la biomasa modificada y no modificada del grano de arroz (1 g de biomasa, 50 mg/l Cr (VI), 28 °C, 100 rpm).

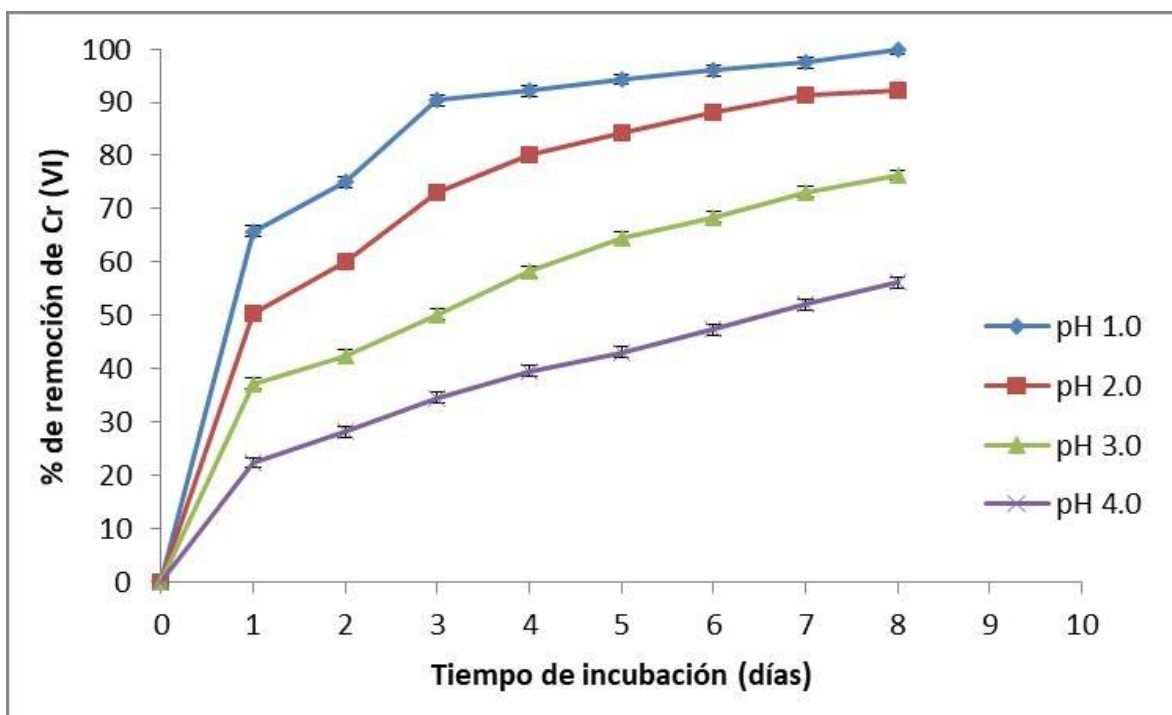


Figura 2. Efecto del tiempo de desarrollo y del pH inicial sobre la remoción de cromo (VI) por la biomasa modificada del grano de arroz (1 g de biomasa, 50 mg/l Cr (VI), 28 °C, 100 rpm).

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 adsorción se incrementa al aumentar la acidez de la solución. Sin embargo, cuando el pH aumenta, sube la concentración de iones OH⁻, induciendo cambios en la superficie del adsorbente, impidiendo la adsorción de los iones cromo (VI) cargados

negativamente, lo cual disminuye la adsorción del metal a estos valores de pH (Gutiérrez-Corona, Romo-Rodríguez, Santos-Escobar, Espino-Saldaña, & Hernández-Escoto, 2016).

También se encontró que a mayor temperatura es mayor la adsorción del metal, pues a 60 °C se remueve el 100 % a los cinco días de desarrollo; mientras que a 28 °C el total se remueve hasta los ocho días (Figura 3). Se ha reportado que un incremento en la temperatura de 25 a 45 °C aumenta la remoción del cromo (VI), pues reduce el tiempo de eliminación de 91 a 21 horas, con semilla de guayaba modificada con H₂SO₄ 1 N (Ortiz-Gutiérrez, 2014); también aumenta la remoción de cobalto, níquel y derivados de piridina al incrementarse la temperatura, usando como adsorbente cáscara de arroz y cenizas de la misma, respectivamente (Swelam, Awad, Salem, & El-Feky, 2016; Lin & Wang, 2011; Lataye, Mishrab, & Mall, 2009). El incremento en la temperatura aumenta la velocidad de remoción de Cr (VI) y disminuye el tiempo de contacto requerido para la completa remoción del metal por incrementar la velocidad de reacción redox (Wittbrodt & Palmer, 1996).

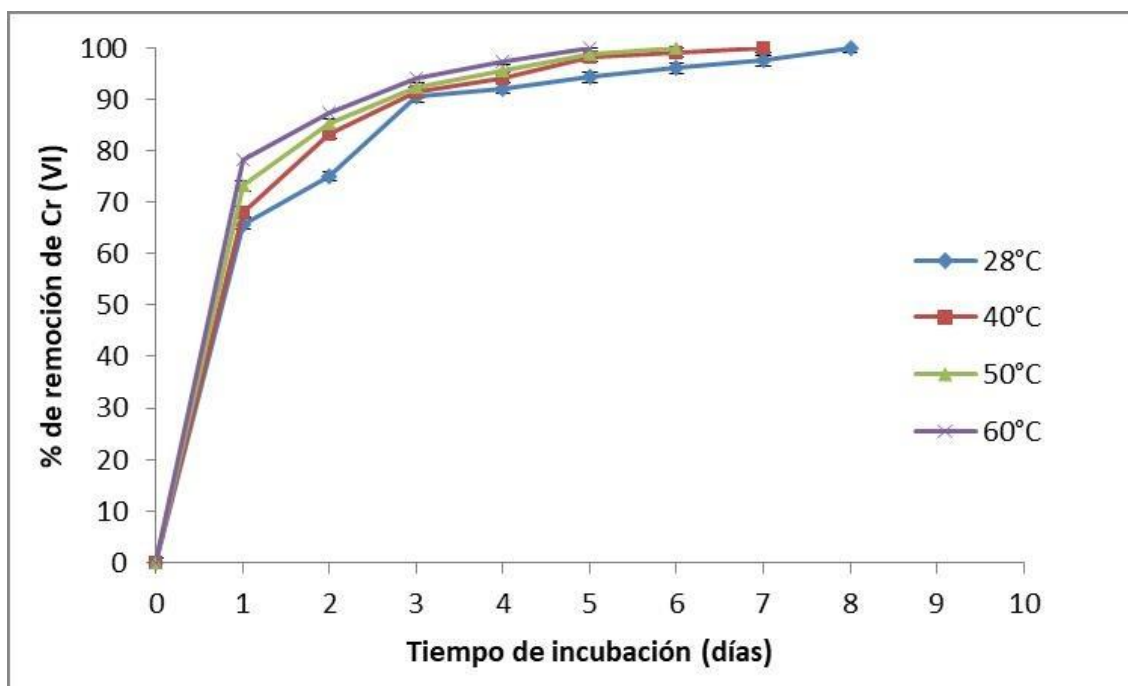


Figura 3. Efecto de la temperatura de desarrollo sobre la remoción de cromo (VI) por la biomasa modificada de grano de arroz (1 g de biomasa, 50 mg/l Cr (VI), pH = 1.0, 100 rpm).

Con respecto al efecto de diferentes concentraciones de cromo (VI) en solución, a un pH de 1.0 +/- 0.2, con 1 g de biomasa, a 28 °C y 100 rpm, se encontró que a mayor concentración del metal es menor la remoción del mismo, pues a los 13 días de desarrollo se remueven totalmente los 200 mg/l, y con 1 000 mg/l se remueve sólo un 55 % del metal en solución a los 15 días (Figura 4a); mientras que a 60 °C, a los nueve días se eliminan 200 mg/l, y con 1 000 mg/l se elimina el 65.4 %

a los 15 días de desarrollo (Figura 4b). Estos resultados son similares a los reportados para la remoción de 10 a 70 mg/l de cromo (VI) por la cáscara de arroz tratada con calor y formaldehído (Bansal *et al.*, 2009); para una alta concentración del metal (3 mg/l), el porcentaje de remoción es muy bajo (22 %) a los 180 minutos con cascarilla de arroz (Doria-Herrera *et al.*, 2011). Por otro lado, algunos reportes (Batagarawa & Ajibola, 2019) indican que la cantidad de níquel, cromo y manganeso eliminados por algunas biomásas de diferentes fuentes, como arroz crudo, carbonizado, mijo y hojas de maíz como adsorbentes de bajo costo, aumenta en proporción directa con el incremento de la concentración del metal en solución. También, si sube la concentración de cobalto (II) de 117.86 a 825.05 mg/l, aumenta la remoción del mismo con la cáscara de arroz (Swelam *et al.*, 2016); de igual manera ocurre para la remoción de 100 a 500 mg/l de níquel (II), zinc (II) y plomo (II) a los 120 minutos por carbón activado de la cáscara de arroz (Taha, Shuib, Shaharun, & Borhan, 2014); sucede lo mismo al usar cenizas de la cáscara de arroz para la remoción de níquel (Lin & Wang, 2011), y para la eliminación de derivados de piridina usando como adsorbente cáscara de arroz y cenizas de la misma (Lataye *et al.*, 2009).

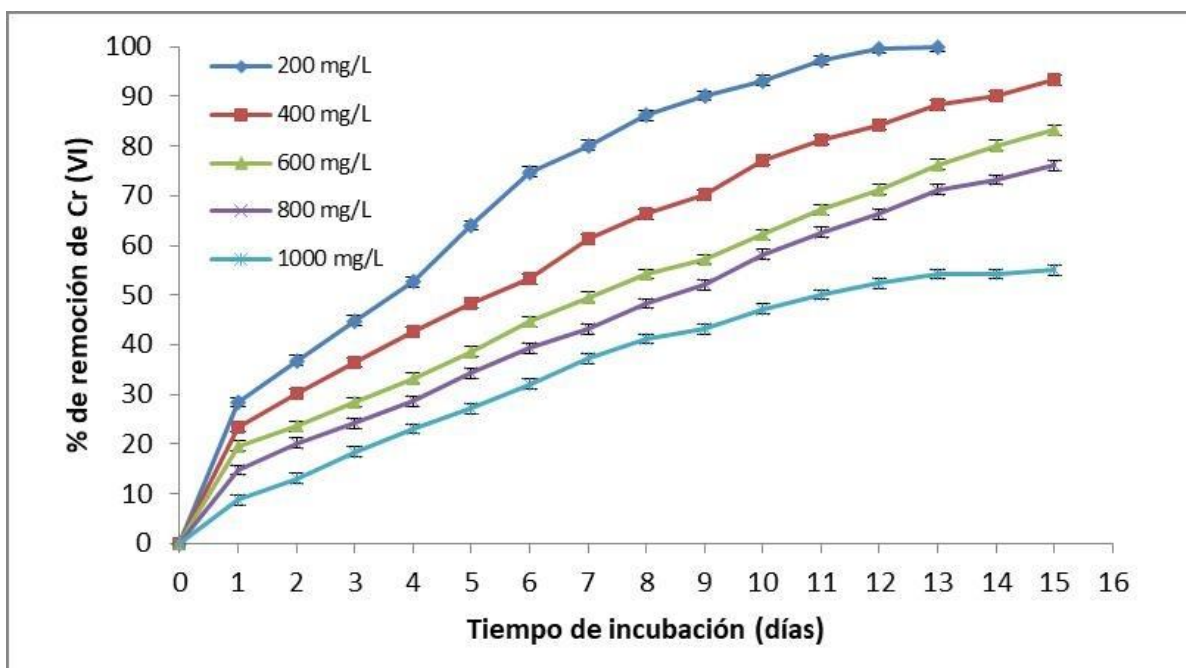


Figura 4a. Efecto de la concentración de cromo (VI) sobre la remoción del mismo (1 g de biomasa, 28 °C, pH = 1.0, 100 rpm).

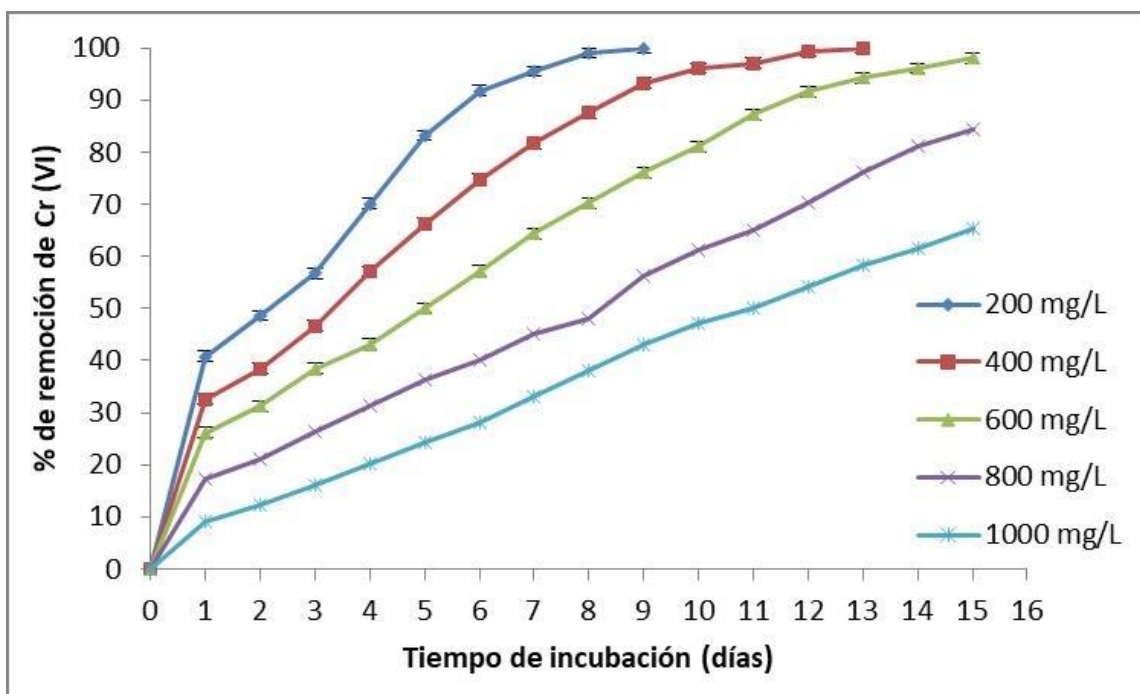


Figura 4b. Efecto de la concentración de cromo (VI) sobre la remoción del mismo (1 g de biomasa, 60 °C, pH = 1.0, 100 rpm).

Por otro lado, a mayor concentración de la biomasa hay mayor remoción del metal en solución (Figura 5), pues hay más sitios de adsorción del metal, pues la cantidad de adsorbente añadido determina el número de sitios de unión disponibles para la adsorción del metal (Cervantes *et al.*, 2001). Resultados similares se han reportado para la remoción de Cr (VI) con la biomasa de la cáscara de arroz tratada con calor y formaldehído (Bansal *et al.*, 2009); cascarilla de arroz (Doria-Herrera *et al.*, 2011), para la eliminación de cromo (III) a partir de

efluentes de curtiduría utilizando sílice modificada obtenida de la cáscara de arroz (Gutiérrez-Valtierra *et al.*, 2019); para la remoción de níquel, cromo y manganeso, por biomasas como arroz crudo, carbonizado, mijo y hojas de maíz (Batagarawa & Ajibola, 2019); para la remoción de cobalto (II) con cáscara de arroz (Swelam *et al.*, 2016), y para la eliminación de derivados de piridina usando como adsorbente cáscara de arroz y cenizas de la misma (Lataye *et al.*, 2009), pero son diferentes a lo reportado para la remoción de níquel usando cenizas de la cáscara de arroz, donde se encuentra que a mayor concentración de biomasa, la remoción es menor (Lin & Wang, 2011).

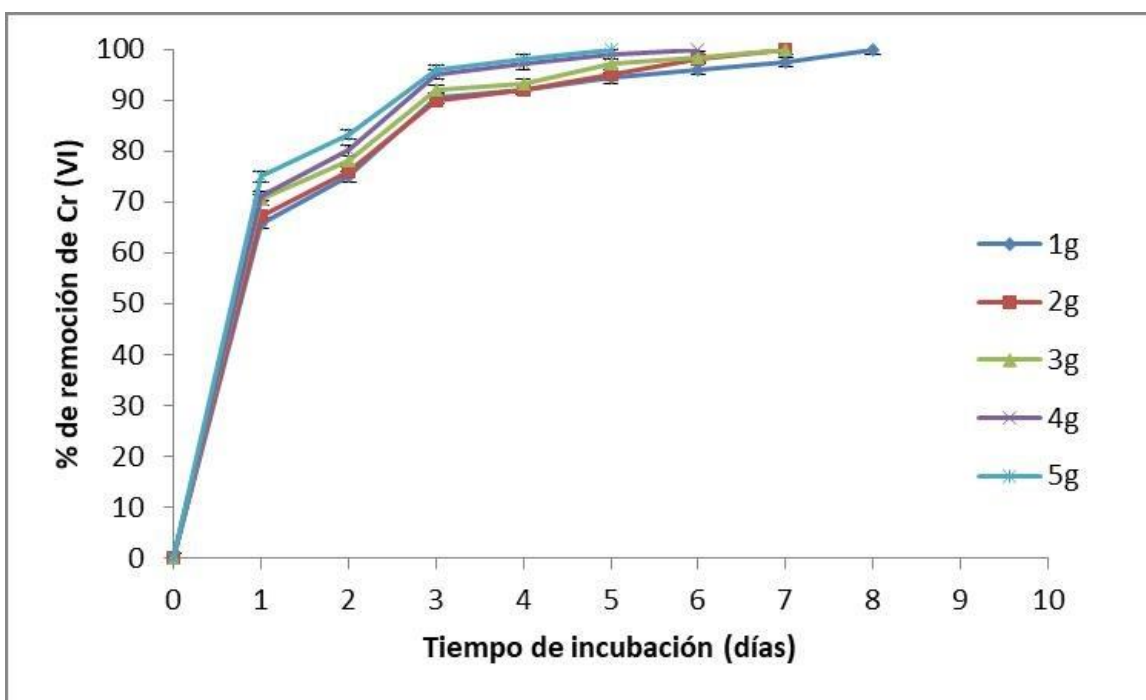


Figura 5. Efecto de diferentes concentraciones de biomasa sobre la remoción de cromo (VI) (28 °C, pH = 1.0, 100 rpm).

Por otra parte, los reportes sobre aplicaciones de biomasa naturales y microorganismos para estudios de remediación de aguas y tierras contaminados con cromo (VI) son escasos, por ejemplo, se ha reportado la eliminación de cobre, níquel y cromo (VI) de aguas contaminadas, usando como adsorbente la semilla de *Moringa oleífera* (Landázuri, Cahuasquí, & Lagos, 2019); la remoción de cromo (VI) de aguas residuales por medio de residuos de la pulpa de café (Gómez-Aguilar, Rodríguez-Miranda, Esteban-Muñoz, & Betancur, 2019), por café molido (Krishna-Mohjan, Naga-Babu, Kalpana, & Ravindhranath, 2019), y paja de elote (Ma *et al.*, 2019); y la remoción de fenol y cromo (VI) por materiales derivados de biomasa de algas (Cui, Masud, Aich, & Atkinson, 2019). Por lo anterior, y con objeto de analizar el posible uso de la biomasa de la cáscara de arroz para eliminar cromo (VI) de desechos industriales, se adaptó un ensayo de remediación en solución acuosa, incubando 10 g de biomasa tratada con suelo no estéril, contaminada con 100 mg cromo (VI)/g de suelo (ajustado) y 100 ml de agua contaminada con 100 mg de Cr(VI) (ajustado), resuspendiendo el suelo en agua tridesionizada a 28 °C y 100 rpm, observando que después de 10 días de experimentación se remueve el 71 y 73 % del metal de las muestras de suelo y agua contaminadas, sin cambios significativos en el contenido de cromo total (Figura 6), lo cual coincide con los reportes de la literatura

con diferentes biomasas y microorganismos, como la remoción de cromo (VI) de aguas residuales sintéticas bajo diferentes condiciones experimentales por la biomasa de la cáscara de arroz tratada con calor y formaldehído (Bansal *et al.*, 2009) del mismo metal en aguas de curtiembre simuladas a condiciones de laboratorio con cascarilla de arroz (Doria-Herrera *et al.*, 2011); un 70 % de remoción de cromo (III) de desechos de una tenería de la ciudad de León, Guanajuato, México, con sílice modificada con grupos amino y poliamino, obtenida de la cáscara de arroz (Gutiérrez-Valtierra *et al.*, 2019); la remoción de cromo, plomo y níquel de aguas residuales con cáscara de arroz tratada con formaldehído (Tariq *et al.*, 2019); la remoción de plomo de aguas residuales con cáscara de arroz (Sovattei, Bacani, Promentilla, Hinode, & Seingheng, 2013); la disminución significativa de la concentración de metales pesados y arsénico de aguas provenientes de la minería formal de Cerro de Pasco, Sierra Central, Lima, Perú, utilizando jabón sin excipientes y cascarilla de arroz (Alcántara, 2020); y la eliminación de plomo de acumuladores de automóviles con carbón activado de cáscara de arroz tratado con Na_2CO_3 (Hanum *et al.*, 2017).

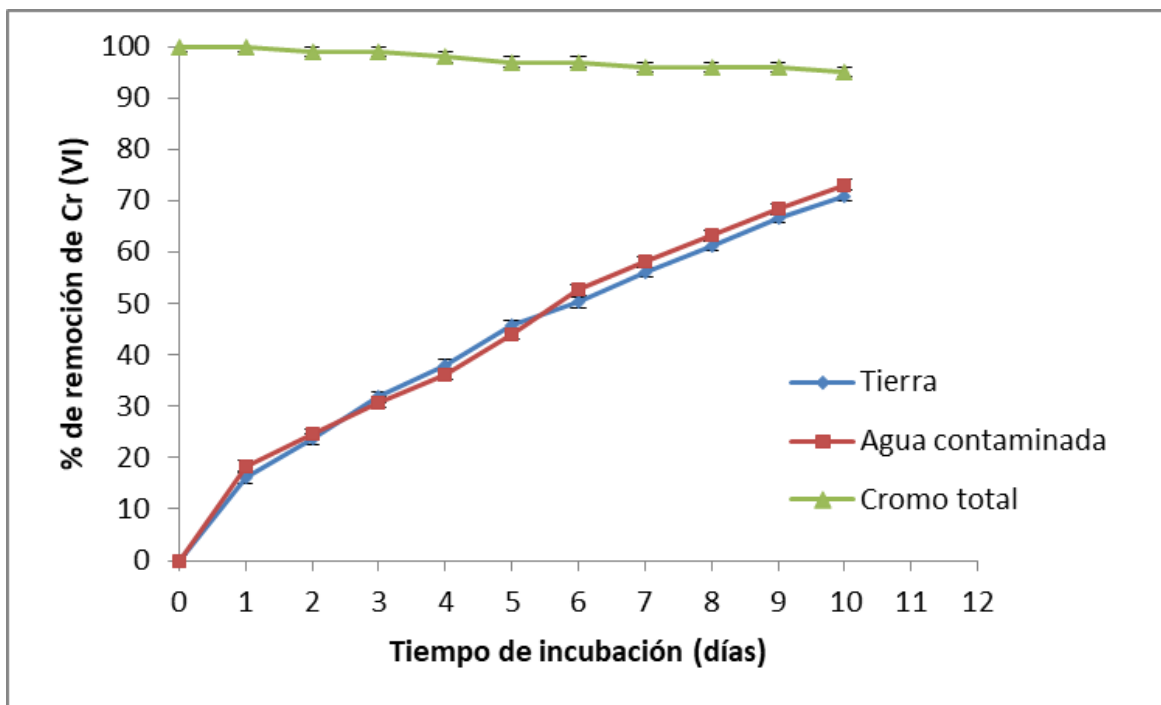


Figura 6. Remediación de 100 mg de cromo (VI)/g de tierra y 100 mg/l agua contaminadas por la biomasa modificada de grano de arroz (10 g de biomasa, 10 g de tierra, 28 °C, 100 rpm).

Conclusiones

La biomasa de cáscara de arroz mostró una excelente capacidad para adsorber 50 mg/l de Cr (VI) en solución después de ocho días de desarrollo, a 28 °C, 100 rpm y 1 g de biomasa modificada con hidróxido de sodio 1 N; además, puede remover eficientemente el metal in situ (71 y 73 % de remoción, con 10 días de experimentación, 10 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).

Agradecimientos

Se agradece al Laboratorio de Micología Experimental de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) por las facilidades para la elaboración de algunos experimentos, al igual que al Laboratorio de Biotecnología de Suelos y Agua del Centro de Investigación y Extensión de la Zona Media, el Balandrán, de la UASLP, por permitimos usar sus instalaciones para la elaboración y comprobación de experimentos finales.

Referencias

Abbas, A. K., Nady, M. A., Abd-El-Rahman, M. W., & Ali, F. A. (2018). Assessment of modified rice husk and sawdust as bio-adsorbent for

heavy metals removal using nano particles in fish farm. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 13(2), 180-188.

Alcántara, M. D. A. (2020). *Método integrado de remediación para la disminución de la concentración de metales pesados en aguas residuales de actividad minera de la Sierra Central 2018* (tesis de Licenciatura, maestro en Gestión Ambiental). Escuela Universitaria de Posgrado, Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, Perú.

Babaso, P. N., & Sharanagouda, H. (2017). Rice husk and its applications: Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(10), 1144-1156.

Bansal, M., Garg, U., Singh, D., & Garg, V. K. (2009). Removal of Cr(VI) from aqueous solutions using pre-consumer processing agricultural waste: A case study of rice husk. *Journal of Hazardous Materials*, 162, 312-320.

Batagarawa, S. M., & Ajibola, A. K. (2019). Comparative evaluation for the adsorption of toxic heavy metals on to millet, corn and rice husks as adsorbents. *Journal of Analytical & Pharmaceutical Research*, 8(3), 119-125.

Cervantes, C., Campos-García, J., Devars, S., Gutiérrez-Corona, J. F., Lozano-Talavera, H., Torres-Guzmán, J. C., & Moreno-Sánchez, R.

- (2001). Interactions of chromium with microorganisms and plants. *FEMS Microbiology Reviews*, 25, 333-347.
- Chakraborty, R. (2020). Attention on aromatic rice production may create a new era on export income in Bangladesh: An opinion. *Modern Concepts & Developments in Agronomy*, 6(2), 624-625.
- Chuah, T. G., Jumasiah, A., Azni, I., Katayon, S., & Thomas-Choong, S. Y. (2005). Rice husk as a potentially low-cost biosorbent for heavy metal and dye removal: An overview. *Desalination*, 175, 305-316.
- Cui, Y., Masud, A., Aich, N., & Atkinson, J. D. (2019). Phenol and Cr(VI) removal using materials derived from harmful algal bloom biomass: Characterization and performance assessment for a biosorbent, a porous carbon, and Fe/C composites. *Journal of Hazardous Materials*, 368, 477-486.
- Doria-Herrera, G. M., Hormaza-Anaguano, A., & Gallego-Suarez, D. (2011). Cascarilla de arroz: material alternativo y de bajo costo para el tratamiento de aguas contaminadas con cromo (VI). *Gestión Ambiental*, 14(1), 73-84.
- Gómez-Aguilar, D. L., Rodríguez-Miranda, J. P., Esteban-Muñoz, J. A., & Betancur, J. F. (2019). Coffee pulp: A sustainable alternative removal of Cr (VI) in wastewaters. *Processes*, 7(403), 1-12.

- Greenberg, A. E., Clesceri, L. S., & Eaton, A. D. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (18th ed.) (pp. 3.58-3.60). Washington, DC, USA: American Public Health Association.
- 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 Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(191), 1-9.
- Gutiérrez-Valtierra, M., Salazar-Hernández, C., Mendoza-Miranda, J. M., Elorza-Rodríguez, E., Puy-Alquiza, M. J. Caudillo-González, M., & Salazar-Hernández, M. M. (2019). Cr(III) removal from tannery effluents using silica obtained from rice husk and modified silica. *Desalination and Water Treatment*, 158, 152-163.
- Hanum, F., Bani, O., & Izdihar, A. M. (2017). Characterization of sodium carbonate (Na_2CO_3) treated rice husk activated carbon and adsorption of lead from car battery wastewater. *1st Annual Applied Science and Engineering Conference: Materials Science and Engineering*, 180(012149), 1-13.
- Hoyos-Sánchez, M. C., Córdoba-Pacheco, A. C., Rodríguez-Herrera, L. F., & Uribe-Kaffure, R. (2017). Removal of Cd (II) from aqueous media by adsorption onto chemically and thermally treated rice husk. *Journal of Chemistry*, 2017, Article ID 5763832.

- Kapahi, M., & Sachdeva, S. (2019). Bioremediation options for heavy metal pollution. *Journal of Health & Pollution*, 9(24), 1-20.
- Kawamura, Y., & Muramonto, M. (1993). Anti-tumorigenic and immunoactive protein and peptide factors in food stuff. 2. Antitumorigenic factors in rice bran. In: Waldron, K. W., Jonson, I. T., & Fenwick, I. R. (eds.). *Food and cancer prevention. Chemical and biological Aspects* (pp. 331-401), Cambridge, UK: The Royal Society of Chemistry.
- Khan, S., Raha, Z. F., Jabeen, M., Rukh, M., Reza, S. T., & Easir-A-Khan, E. A. (2017). Removal of organic pollutant from aqueous solution by rice husk activated carbon (RHAC). *Journal of Chemical Engineering*, IEB, 29(1), 29-33.
- Krishna-Mohjan, G. V., Naga-Babu, A., Kalpana, K., & Ravindhranath, K. (2019). Removal of chromium (VI) from water using adsorbent derived from spent coffee grounds. *Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 101-112.
- Kumar-Naiya, T., Singha, B., & Kumar-Das, S. (2011). FTIR Study for the Cr(VI) Removal from Aqueous Solution Using Rice Waste. *International Conference on Chemistry and Chemical Process. IPCBEE. 10. IACSIT Press* (pp. 114-119), Singapore.

- Landázuri, A. C., Cahuasquí, J. D., & Lagos, A. S. (2019). Metal adsorption in aqueous media using *Moringa oleifera* Lam. seeds produced in Ecuador as an alternative method for water treatment. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 11(17), 190-205.
- Lataye, D. H., Mishrab, I. M., & Mall, I. D. (2009). Adsorption of a α -picoline onto rice husk ash and granular activated carbon from aqueous solution: Equilibrium and thermodynamic study. *Chemical Engineering Journal*, 147, 139-149.
- Lema, M. (2018). Application of biotechnology on rice (*Oryzae sativa*) Improvement: Review article. *Modern Concepts & Developments in Agronomy*, 2(1), 120-127.
- Lin, Ch., & Wang, L. H. (2011). Adsorption of nickel (II) ion from aqueous solution using rice hull ash. *Journal of Chemical Engineering of Japan, Advance Publication*, 44(4), 1-30.
- Llanos-Páez, O., Ríos-Navarro, A., Jaramillo-Páez, C. A., & Rodríguez-Herrera, L. F. (2016). La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. *Producción + Limpia*, 11(2), 150-160.
- Ma, H., Yang, J., Gao, X., Liu, Z., Liu, X., & Xu, Z. (2019). Removal of chromium (VI) from water by porous carbon derived from corn

straw: Influencing factors, regeneration and mechanism. *Journal of Hazardous Materials*, 369, 550-560.

- Ortiz-Gutiérrez, M. R. (2014). *Efecto de la modificación de las semillas de guayaba en la remoción de cromo (VI) en soluciones acuosas en procesos tipo batch* (tesis de maestría en Ingeniería Ambiental). Posgrado Maestría en Ciencias, Ingeniería Ambiental, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.
- Pincirolí, M. (2015). Arroces especiales: arroz proteico. En: Pincirolí, M., & Ponzio, N. R. (eds.). *El arroz: alimento de millones*. Tandil, Argentina: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Quiñones, E., Tejada, C., Arcia, C., & Ruiz, V. (2013). Remoción de plomo y níquel en soluciones acuosas usando biomasas lignocelulósicas: una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2), 479-489.
- Rollinson, C. (1973). Chromium, molybdenum and tungsten. In: Dickson, T. (ed.). *Comprehensive Organic Chemistry* (pp. 691-694) (3a ed.). Oxford, UK: Pergamon Press.
- Rodríguez, A. C., Campos-Rosario, A. M., & Pérez-Flores, A. (2019). Obtención y caracterización de materiales adsorbentes a partir de la cascarilla de arroz. *MUTIS*, 9(1), 29-39.

- Rodríguez, Y. M., Salinas, L. P., Ríos, C. A., & Vargas, L. Y. (2012). Adsorbentes a base de cascarilla de arroz en la retención de cromo de efluentes de la industria de curtiembres. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 146-156.
- Sagarpa, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*. Ciudad de México, México: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Sarabia-Meléndez, I. F., Berber-Mendoza, M. S., Reyes-Cárdenas, O., Sarabia-Meléndez, M., & Acosta-Rangel, A. (2018). Low cost biosorbents: An alternative treatment for contaminated water. *Revista Bio Ciencias*, 5(1), 1-15.
- Sovattei, Ch., Bacani, F. T., Promentilla, M. A. B., Hinode, H., & Seingheng, H. (2013). Utilization of untreated and treated rice husk as adsorbents for lead removal from wastewater. *Research Congress 2013*. De La Salle University Manila, March 7-9. SEE-IV-034. 1-7.
- Swelam, A. A., Awad, M. B., Salem, A. M. A., & El-Feky, A. S. (2016). Use of rice straw As biosorbent for removal of Co(II) ions from synthetic waste water. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 3(11), 51-70.

- Taha, M. F., Shuib, A. S., Shaharun, M. S., & Borhan, A. (2014). Removal of Ni(II), Zn(II) and Pb(II) ions from single metal aqueous solution using rice husk-based activated carbon. *AIP Conference Proceedings*, 1621, 210-217.
- Tariq, W., Saifullah, M., Anjum, T., Javed, M., Tayyab, N., & Shoukat, I. (2019). Removal of heavy metals from chemical industrial wastewater using agro based bio-sorbents. *Acta Chemica Malaysia (ACMY)*, 2(2), 9-14.
- 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. *Environmental Science and Technology*, 3(8), 2470-2477.