

REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN SOLUCIÓN ACUOSA POR LA BIOMASA DE LA CÁSCARA DE CAMARÓN ROSADO DEL GOLFO DE MÉXICO (*Farfantepenaeus duorarum*)

REMOVAL OF HEXAVALENT CHROMIUM IN AQUEOUS SOLUTION BY THE BIOMASS OF THE PINK SHRIMP HILL OF THE GULF OF MEXICO (*Farfantepenaeus duorarum*)

**Juana Tovar¹, Nathalie Hernández¹, Adriana Rodríguez², Juan F. Cárdenas²,
Víctor M. Martínez³, Ismael Acosta¹**

- (1) Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media, Carretera Río Verde san Ciró km 4.5, Colonia Puente del Carmen, CP 79617, Río Verde, San Luis Potosí, SLP-México
(2) Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ciencias Químicas, Laboratorio de Micología Experimental, Av. Dr. Manuel Nava No. 6, Zona Universitaria, CP 78320, San Luis Potosí, SLP-México
(3) Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Rancho Universitario, Av. Universidad Km. 1 Ex-Hda. de Aquetzalpa, AP 32, CP 43600 Tulancingo, Hidalgo-México
(e-mail: iacosta@uaslp.mx)

Recibido: 29/05/2020 - Evaluado: 16/07/2020 - Aceptado: 18/08/2020

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar la remoción de Cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa de la cáscara de Camarón por el método colorimétrico de la Difenilcarbazida. Se evaluó la bioadsorción a diferentes pH's (1, 2, 3 y 4) y a diferentes tiempos de incubación. También se estudió el efecto de la temperatura en el intervalo de 28°C hasta 70°C y la remoción a diferentes concentraciones iniciales del metal (100-500 mg/L). La mayor bioadsorción (90%) ocurre a las 24 horas, a un pH de 1.0, 28°C y 1 g de biomasa, mientras que, a mayor temperatura y concentración de biomasa, es mayor la remoción, pero si se aumenta la concentración del metal, disminuye la eficiencia de remoción. Además, 5 g de la biomasa eliminan el 80% de cromo (VI) a partir de tierra contaminada con 297 mg del metal/g de tierra, a las 96 horas de incubación a 28°C.

ABSTRACT

The aim of this work was to determine the removal of Chromium (VI) in aqueous solution by the biomass of shrimp shell by the colorimetric method of Diphenylcarbazide. Bioadsorption was evaluated at different pH's (1, 2, 3 and 4) and at different incubation times. Too, the effect of temperature in the range of 28°C to 70°C and removal at different initial concentrations of the metal (100-500 mg/L), were studied. The most removal of metal (90%) was at 24 hours, to pH 1.0, 28°C and 1 g of biomass, while at a higher temperature and biomass concentration the removal is greater, but if the concentration of the metal is increased, the removal efficiency decreases. Furthermore, 5 g of biomass removal 80% of Chromium (VI) from earth contaminated with 297 mg of metal/g of earth at 96 hours of incubation at 28°C.

Palabras clave: biorremediación, cáscara de camarón, cromo (VI), difenilcarbazida
Key words: biorremediation, shrimp shell, chromium (VI), dhphenylcarbazyde

INTRODUCCIÓN

El camarón es el crustáceo más utilizado en la gastronomía para la preparación de una gran variedad de platillos, y es ideal para aquellos que cuidan de su alimentación, ya que tiene poca cantidad de grasas y calorías, además de un alto contenido en proteínas. Gracias a su extensa variedad, se incluye en todo tipo de recetas porque, dependiendo de la zona en la que se produce y su tipo de crianza, tendrá distintos tamaños y sabores (Domínguez Carpio, 2017), y puede obtenerse a través de dos métodos: pesca sustentable o con la práctica de la acuicultura. Este método consiste en obtener los huevos o larvas de los camarones en mar abierto para después trasladarlos a granjas camaronerías, y su cultivo y/o producción acuícola, consiste en criar de forma controlada los camarones en estanques poco profundos, hasta que alcanzan la madurez indicada para comercializarlos (Ovando, 2013). Pero, su cultivo, produce grandes efectos adversos, como la destrucción de los manglares y la contaminación de los depósitos de agua debido a los desechos acuíferos de esta industria (Fonseca Moreno, 2010; Martínez Córdova *et al.*, 2009).

Se ha reportado que en el mundo existen 342 especies de camarón, sin embargo, no todas son comestibles o importantes para el mercado de los mariscos. Actualmente, en México existen alrededor de 60 especies provenientes de cultivo o mar abierto. Las especies más relevantes se pueden clasificar en los siguientes tres tipos o grupos: camarón tropical, camarón de río o de agua dulce y camarón de agua fría (Vega-Villasante *et al.*, 2015). La temporada de captura nacional de camarón 2019-2020 registró una producción de 47 664 toneladas del producto (SADER, 2020), y la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, reportó que las cinco entidades con mayor producción de pesca de camarón fueron Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Nayarit y Baja California Sur, las cuales concentran el 92.9% de la producción total del país, siendo uno de los mariscos más consumidos en México (Conapesca 2020). Su delicioso sabor lo convierte en el platillo favorito de muchos consumidores, y también contiene múltiples beneficios nutricionales como: Alto contenido de vitamina D, que es esencial para huesos, piel y dientes fuertes, son ricos en ácidos grasos y omega-3, el cual combate enfermedades relacionadas con el corazón y problemas cardiovasculares, reduce el riesgo de tener cáncer, hipertensión o diabetes, un alto porcentaje de vitamina B 12, la cual mejora la función cerebral y ayuda a la maduración de las células, vitamina E, que protege la piel del daño causado por radicales libres y mantiene el buen funcionamiento del sistema inmunológico, ayuda a mantener sano al aparato digestivo, y la conversión de los alimentos en energía, Zinc, que participa en la cicatrización de las heridas (Cabrera Stevens, 2018; Lemus Centes *et al.*, 2007), y también se ha reportado que contiene proteínas, carbonato de calcio y carotenos (Barriga Gaibor, 2016). Otra aplicación es que los desechos del camarón (caparazón) son transformados con diferentes tecnologías en productos de alto valor agregado como: quitina, quitosano, aminoazúcares, proteínas y pigmentos, entre otros, que son utilizados en las industrias cosmética, alimentaria, agrícola y farmacéutica (Salas Ovilla *et al.*, 2017).

Por otro lado, el aumento en la población, la agricultura y el desarrollo industrial, son responsables del aumento en la contaminación ambiental y la producción de desechos tóxicos, por lo que una gran variedad de contaminantes como: desechos industriales, plaguicidas y otros productos químicos utilizados en las diferentes actividades antropogénicas, contaminan tierras y aguas de diferentes fuentes, causando graves daños al medio ambiente, afectando la calidad de vida y salud de la población (Kapahi & Sachdeva, 2019). Entre los principales contaminantes ambientales, se encuentran los metales pesados, cuya presencia debe ser considerada de manera muy importante en los diferentes nichos ecológicos, por lo que actualmente, se ha investigado ampliamente el uso de una gran variedad de biomásas residuales para la remoción de iones metálicos de aguas contaminadas, entre los que se incluyen cortezas, semillas y hojas de diferentes árboles, residuos de madera, cáscaras de frutos secos, desechos industriales y marítimos, así como algunos biomateriales como la quitina y la quitosana (Salas Ovilla *et al.*, 2017). El exoesqueleto del camarón se ha utilizado en la remoción de diferentes metales pesados y otros contaminantes de forma natural o pretratada, para aumentar dicha capacidad de remoción, siendo algunos ejemplos: la remoción de Cadmio de sistemas acuosos con quitina obtenida de la cascara de camarón (Castellanos Márquez *et al.*, 2010), la biosorción de Cobre (II) y Cromo (VI) con quitosano (Flores & Sepulveda, 2012), la remoción de Cromo (III) de aguas de curtido con compost y el exoesqueleto de camarón (Miranda Urrutia, 2018; Morales Enríquez, 2019), la adsorción de iones fosfato en solución acuosa con borra de café y exoesqueleto de

camarón (Moreno Marengo, 2013), la eliminación del color de aguas de efluentes industriales con quitosano obtenido del exoesqueleto del langostino blanco (*Litopenaeus Vannamei*) (García Zavala, 2017), la adsorción de Cobre usando hidrogeles de quitosano de cáscara de camarón (Sánchez Duarte *et al.*, 2017), la remoción de Cromo (VI) de aguas contaminadas utilizando quitosano obtenido del exoesqueleto de camarón (Pájaro & Díaz, 2012) y la adsorción de Plomo en agua con el exoesqueleto de camarón (Méndez Torres, 2019). También se analizó la adsorción de cristal violeta y acetaminofén, mediante los exoesqueletos de camarones secos pulverizados y sus carbones activados con diferentes agentes químicos (Suárez Campos, 2019).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad adsorbente de la cáscara (exoesqueleto) de camarón rosado del golfo de México (*Farfantepenaeus duorarum*) en la remoción de Cromo (VI) en solución acuosa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Bioadsorbente utilizado

Inicialmente, la cáscara de camarón se obtuvo de diferentes restaurantes de mariscos de la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., México, en el período julio-agosto de 2019. Para la obtención de la biomasa, el exoesqueleto se lavó 24 horas con EDTA al 10% (p/v), y posteriormente 72 horas en agua tridesionizada con agitación constante, con cambios del agua cada 12 horas, y se calentó a ebullición 60 minutos para remover el polvo y los componentes orgánicos adheridos, y se volvió a lavar en las mismas condiciones. Se secó a 80°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 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 M y/o NaOH 1 M, antes de adicionarla a la biomasa celular.

Estudios de remoción

1.0 g de la biomasa de camarón (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 Cromo (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 Cromo (VI) en solución, utilizando el método colorimétrico de la Difenilcarbazida (desarrollo de coloración rosa violeta, Greenberg *et al.*, 1998). Todos los experimentos se realizaron un mínimo de 2 veces y por duplicado.

Ensayos de biorremediación

A matraces Erlenmeyer de 250 mL conteniendo 5 g de biomasa, se les agregó 20 g de tierra contaminada con aproximadamente 297 mg Cromo (VI)/g de tierra, obtenida de una tina de lavado de una cromadora de Celaya, Gto. México, y aforando a 100 mL con agua tridesionizada. La mezcla 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. Todos los experimentos se realizaron un mínimo de 2 veces y por duplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizó el efecto del pH, tiempo y temperatura de incubación, la concentración inicial del metal y de la biomasa, sobre la bioadsorción de Cromo (VI) por la biomasa de cáscara de camarón. En relación con el tiempo de incubación y el pH inicial, se encontró que la mayor bioadsorción ocurre a las 24 horas, a un pH de 1.0, a 28°C con una remoción total del 90% del metal, mientras que, a los otros pH analizados, no se observó remoción alguna

(Figura 1). La bioadsorción del metal es muy rápida, sobre todo al inicio, debido a la gran área de superficie disponible del bioadsorbente. La velocidad de captura está controlada por la velocidad a la cual el adsorbato es transportado del exterior al interior de las partículas del bioadsorbente (Verma *et al.*, 2006). Se ha reportado una máxima remoción de 50 mg/L de Cromo (VI) a las 18 horas, utilizando quitosano cuaternario entrecruzado, a temperatura ambiente (Díaz *et al.*, 2013), una eliminación de 7 mg/L de Cromo (VI) a los 45 minutos con quitosano (Flores & Sepúlveda, 2012), un tiempo óptimo de incubación de 60 minutos para la remoción de 240-260 mg/L de Cromo (III) de aguas residuales de curtiembres con quitosano obtenido de desechos de camarón (Duarte *et al.*, 2009), una remoción del 27.3% de 500 mg/L del mismo metal a los 90 minutos con quitosano (Buitrón Ortega, 2015), 60 minutos para la remoción de 300 mg/L de Cadmio con quitina obtenida en laboratorio a partir de cascara de camarón (Castellanos Marquéz *et al.*, 2010), un 98.1% de adsorción de 10 mg/L de fosfato a las 12 horas con exoesqueleto de camarón (Moreno Marengo, 2013), y un porcentaje de remoción del 78.96% de 3 mg/L de Plomo a los 120 minutos con el exoesqueleto de camarón (Quevedo Cuenca, 2017).

Con respecto al efecto del pH de incubación, se encontró un pH óptimo de 1.0, pues a las 24 horas se remueve el 90% del metal (Figura 1). Estos resultados son similares para algunas biomazas diferentes a la cascara de camarón como la de flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) (Acosta-Rodríguez *et al.*, 2020), cascara de Piña (*Ananas comosus*) (Acosta-Rodríguez *et al.*, 2019) y Brocolí (*Brassica oleraceae*) (Olivo Fat *et al.*, 2019). Pero, son diferentes a lo reportado para la remoción de 50 mg/L de Cromo (VI) con quitosano cuaternario entrecruzado, con una mayor capacidad de adsorción a un pH óptimo de 4.5 (Díaz *et al.*, 2013), un pH de 2.0 para la remoción del mismo metal de aguas contaminadas, usando quitosano obtenido del exoesqueleto de camarón (Pájaro & Díaz, 2012), pH de 4,0 para la adsorción de 52 mg/L de Cromo (III) analizando quitosano de desechos de camarón (Duarte *et al.*, 2009). El Cromo (VI) se encuentra como HCrO_4^- , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, CrO_4^{2-} , $\text{Cr}_4\text{O}_{13}^{2-}$, $\text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-}$ (Rollison, 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 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 estos valores de pH (Gutiérrez-Corona *et al.*, 2016).

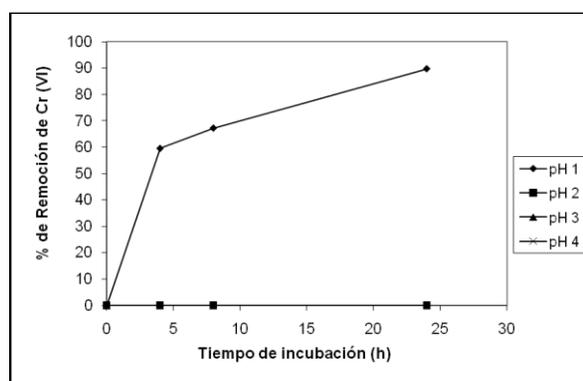


Fig. 1: Efecto del pH y tiempo de incubación sobre la bioadsorción de Cr (VI) en solución. 50 mg/L. 1 g de biomasa, 28°C con agitación constante (100 rpm), pH 1.0 ♦, pH 2.0 ■, pH 3.0 ▲ y pH 4.0 ×.

En relación a la temperatura, la más alta remoción se observó a 60 y 70°C, (Figura 2), pues a las 4 horas se remueve el 100% del metal en solución; resultados que son coincidentes con los de las biomazas de la flor de Jamaica (*H. sabdariffa*) (Acosta-Rodríguez *et al.*, 2020), con una remoción total del metal a 50 y 60°C en 40 minutos y de 300 minutos a 28°C, Amaranto (*Amarantus caudatus*) (Rodríguez *et al.*, 2017), el cual a 60°C elimina el 100% de Cromo (VI) a los 75 minutos, mientras que a 28°C, el tiempo requerido para la remoción total del metal es de 4 horas, y para la biomasa de Espinaca (*Spinacea Oleraceae*) (Flores-Rivera *et al.*, 2019), se observó una remoción total del metal a los 30 y 90 minutos de incubación a 60°C y 28°C. Pero, estos resultados son

diferentes a lo reportado para la remoción de acetaminofén, utilizando los exoesqueletos de camarones secos pulverizados y sus carbones activados con diferentes agentes químicos, donde sí se aumenta la temperatura, disminuye la remoción del mismo (Suárez Campos, 2019).

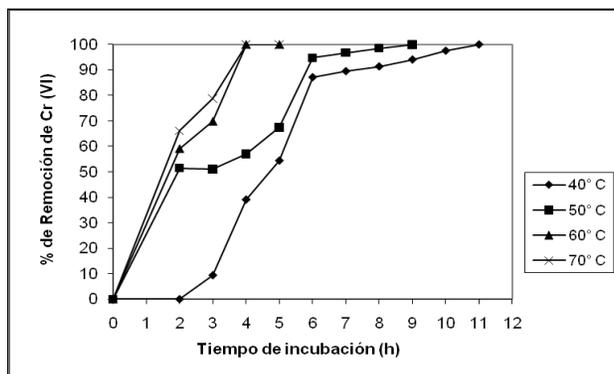


Fig. 2: Efecto de la temperatura de incubación sobre la bioadsorción de Cr (VI) en solución. 50 mg/L. 1 g de biomasa, pH 1.0, con agitación constante (100 rpm). 40°C ◆, 50°C ■, 60°C ▲, 70°C ×.

Por otra parte, a bajas concentraciones del metal (100, 200 y 300 mg/L), la biomasa estudiada, mostró las mejores respuestas de remoción, adsorbiendo el 100% a las 4 y 6 horas, respectivamente, mientras que a 500 mg/L se remueve el 100% hasta las 10 horas de incubación, pH de 1.0 +/- 0.2, con 1 g de biomasa, a 60°C y 100 rpm (Figura 3). Estos resultados son similares a los reportados para la remoción de acetaminofén, donde sí se aumenta la concentración de éste, de 3 a 15 mg/L, disminuye su eficiencia de eliminación con los exoesqueletos de camarones secos pulverizados y sus carbones activados con diferentes agentes químicos (Suárez Campos, 2019), para la remoción de Cromo (VI) y Níquel, aumentando la concentración de ambos metales de 5 a 500 mg/L con quitosano (Buitrón Ortega, 2015). También, el rendimiento en la remoción del Cromo (III) mediante quitosano de desechos de camarón, fue mayor a bajas concentraciones del metal (Duarte *et al.*, 2009), así como el porcentaje de adsorción de fosfatos disminuye con el incremento de la concentración inicial del mismo usando borra de café y exoesqueleto de camarón (Moreno Marengo, 2013), para la adsorción de 160, 250 y 416 mg/L de Cobre en solución ácida, se observó que, a menor concentración es mayor el porcentaje de remoción del metal, con 92 % de remoción con 160 mg/L y 72 y 67.3 % con 250 y 416 mg/L, respectivamente, utilizando hidrogeles de quitosana de cáscara de camarón (Sánchez Duarte *et al.*, 2017), para la adsorción de 0.5 y 1.0 mg/L de Plomo en agua con el exoesqueleto de camarón (Méndez Torres, 2019).

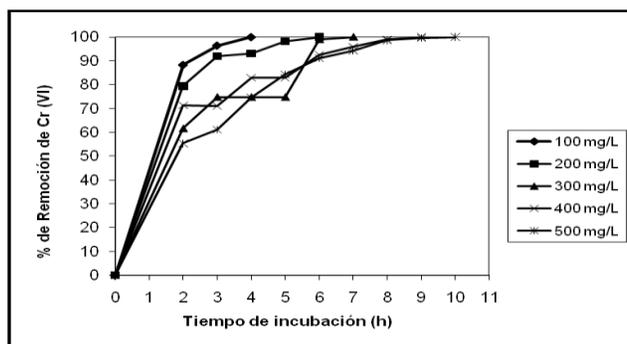


Fig. 3: Efecto de la concentración de Cr (VI) en solución. 1 g de biomasa de camarón a 60°C, pH 1.0, con agitación constante (100 rpm). 100 mg/L ◆, 200 mg/L ■, 300 mg/L ▲, 400 mg/L ×, 500 mg/L+.

En la figura 4, se muestra que, al aumentar la cantidad de biomasa, también se incrementa la remoción de Cromo (VI) en solución, ya que 3 g de biomasa remueven 50 mg/L del metal a los 10 minutos de incubación, pues hay más sitios de bioadsorción del metal (Cervantes *et al.*, 2001). Importa mencionar que, si se utilizan 5 y 10 g de biomasa, la cantidad de Cromo (VI) removido aumenta considerablemente (Figura 5), pues a los 60 y 30 minutos se elimina 1 g/L del metal en solución a 60°C. Se han reportado resultados similares para la remoción de acetaminofén, en el cual, la cantidad removida del medicamento por los exoesqueletos de camarones secos disminuye al aumentar su concentración en medio acuoso (Suárez Campos, 2019), para la remoción de Cromo (III) de aguas de curtido a concentraciones de 5, 10, y 20 g/L de biomasa del exoesqueleto de camarón (Morales Enríquez, 2019) También, el porcentaje de adsorción de fosfatos aumenta con el incremento de la concentración inicial de borra de café y exoesqueleto de camarón (Moreno Marengo, 2013), un aumento en la remoción de color en efluentes industriales, a concentraciones mayores de quitosano de langostino blanco (*L. Vannamei*) de 55 a 86 mL (García Zavala, 2017), para hidrogeles de quitosano de cáscara de camarón, si se aumenta la cantidad de éste, también aumenta la eliminación de 416 mg/L de Cobre en solución ácida (Sánchez Duarte *et al.*, 2017). Pero, son diferentes para la biosorción de Cromo (VI) de aguas contaminadas por quitosano reticulado, donde a menor concentración del adsorbente se remueve más eficientemente el contaminante (Díaz *et al.*, 2013).

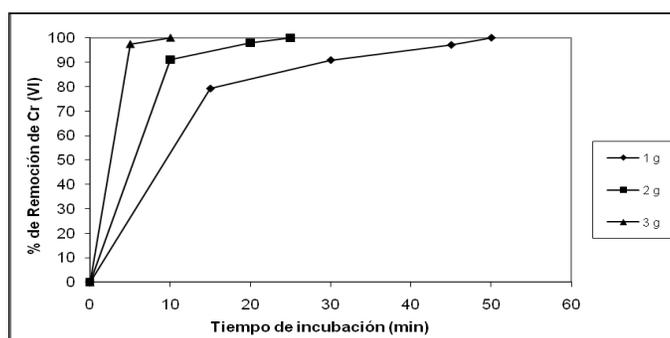


Fig. 4: Efecto de a concentración de biomasa de camarón sobre la bioadsorción de Cr (VI) en solución. 50 mg/L a 60°C, pH 1.0, con agitación constante (100 rpm). 1 g ♦, 2 g ■, 3 g ▲.

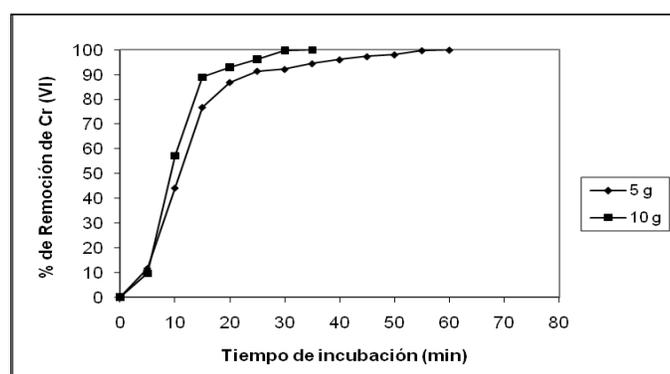


Fig. 5: Efecto de 5 y 10 g de biomasa de camarón sobre la remoción de 1 g/L de Cr (VI), 60°C, pH 1.0, con agitación constante (100 rpm). 5 g ♦ y 10 g ■

La presencia de otros metales en solución como Cadmio, Plomo, Mercurio y Cobre (50 mg/L), no interfieren de manera significativa con la remoción de Cromo VI en solución (Figura 6), lo cual puede deberse al pH óptimo de remoción encontrado (1.0), y coincide con algunos reportes de la literatura para otras biomazas, donde se reporta que la presencia de otros metales no interfiere significativamente en la adsorción de Cromo (VI) por la cáscara de arroz modificada químicamente con hidróxido de potasio y/o ácido fosfórico (Eggs *et al.*, 2012), la biosorción de

Cromo (VI) y Cobre (II) por quitina, quitosano y el hongo *Rhizopus arrhizus* (Sag & Aktay, 2002), para la remoción de Cromo (VI) por el hongo *Mucor hiemalis* (Tewari *et al.*, 2005) y para la remoción de Cadmio (II) de soluciones acuosas utilizando olote de maíz (Leyva-Ramos *et al.*, 2005).

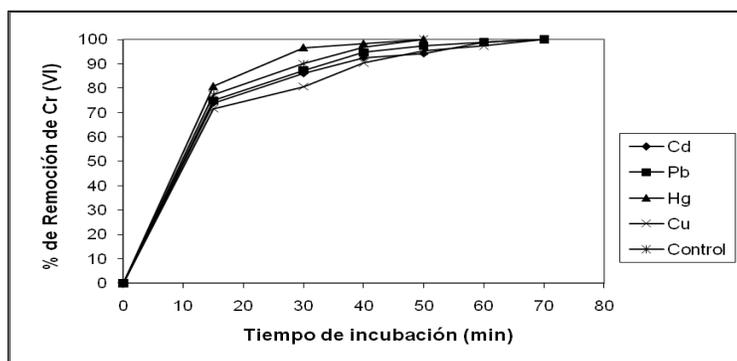


Fig. 6: Efecto de diferentes metales pesados (50 mg/L) sobre la bioadsorción de 50 mg/L de Cr (IV). 1 g de biomasa. 60°C, pH 1.0, con agitación constante (100 rpm). Cd \blacklozenge , Pb \blacksquare , Hg \blacktriangle , Cu \times , Control $*$.

Finalmente, se realizó un ensayo de biorremediación de Cromo (VI) a partir de tierra contaminada con aproximadamente 297 mg Cromo (VI)/g de tierra, obtenida de una tina de lavado de una cromadora de Celaya, Gto., México, observando que a los 4 días de incubación la remoción es muy eficiente (80%, Figura 7), lo cual coincide con los reportes de la literatura con diferentes biomásas relacionadas con los desechos de camarón como: el tratamiento de agua residual producida al obtener quitina, proteína y quitosano de los desechos del camarón, por un tratamiento físico, que consiste en una serie de filtros con distintos tamaños de poro y distintos tipos de materiales con capacidades de adsorción específicas, con agua obtenida en el mismo proceso (Escobedo & Quiñonez, 2017), la remoción de Cromo (III) de aguas de curtido por el exoesqueleto de camarón (Morales Enríquez, 2019), la eliminación de Cromo de aguas residuales de curtiembres usando quitosano obtenido de desechos de camarón (Duarte *et al.*, 2009), la remoción de color en efluentes industriales, con quitosano de langostino blanco (*L. Vannamei*) (García Zavala, 2017), la bioadsorción de Cromo hexavalente a partir de muestras de aguas residuales del proceso de galvanizado (cromado) de una industria de Cartagena, Colombia (Pájaro & Díaz, 2012), el tratamiento de aguas residuales cromadas utilizando quitosano extraído del exoesqueleto del camarón (Tafur & Quevedo, 2014), y la remoción de metales pesados en los lixiviados del relleno sanitario del cantón Mejía, Pichincha, Ecuador, por quitosano extraído del camarón (Palacios Vargas, 2018).

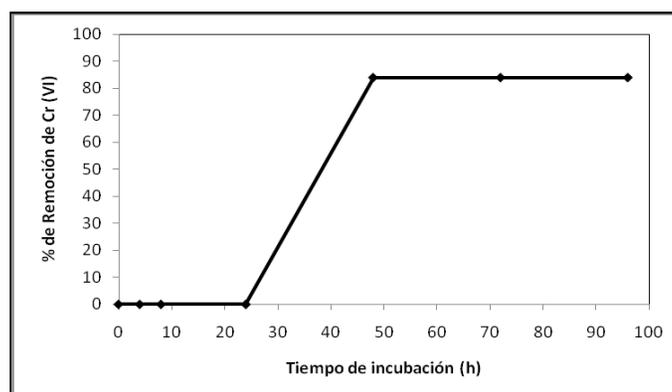


Fig. 7: Biorremediación de Cr (VI) a partir de tierra contaminada con 297 mg de Cr (VI)/g de tierra. (5 g de biomasa, 20 g de tierra, 28°C, 100 rpm).

CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos en el presente estudio, es posible extraer las siguientes conclusiones:

- 1.- La biomasa de la cáscara de camarón elimina un 90% del metal en solución, a un pH de 1.0, a las 24 horas de incubación, 1 g de biomasa y 28°C.
- 2.- La temperatura óptima de remoción de Cromo (VI) fue de 60°C-70°C, eliminando totalmente el metal a las 4 horas de incubación.
- 3.- A menor concentración de metal, es mayor la eficiencia de remoción.
- 4.- Al aumentar la cantidad de biomasa, también se incrementa la remoción de Cromo (VI).
- 5.- La presencia de otros metales no influye en la eliminación del Cromo (VI) por la biomasa analizada.
- 6.- En los ensayos de biorremediación, se encontró que la biomasa remueve rápida y eficientemente el metal a partir de tierra contaminada con Cromo (VI), por lo tanto, su aplicación será viable para el tratamiento de ésta, además, la biomasa utilizada es natural, de obtención y manejo fácil y costo accesible.

REFERENCIAS

Acosta-Rodríguez, I. Sánchez-Pérez, D. Alvarado-Zamarripa, D., Cárdenas-González, J.F., Rodríguez-Pérez, A., Martínez-Juárez, V.M. *et al.* (2020). Removal of chromium (VI) in aqueous solutions by *Hibiscus sabdariffa* biomass. *JMEST*, 7(3), 11567-11571.

Acosta-Rodríguez, I., Cárdenas-González, J.F., 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.

Barriga Gaibor, K.M. (2016). *Obtención de glucosamina por hidrólisis ácida a partir de quitina derivada de la cáscara de camarón*. Tesis Licenciatura. Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6885/1/T-UCE-0017-0022-2016.pdf>

Buitrón Ortega, D.E. (2015). *Biosorción de cromo y níquel en aguas contaminadas usando quitosano*. Tesis Licenciatura. Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5639/1/T-UCE-0017-142.pdf>

Cabrera Stevens, M.J. (2018). *Efecto de alimentos funcionales para camarón blanco (Penaeus vannamei) sobre la expresión de genes asociados a la resistencia al virus de la mancha blanca (WSSV), y a una cepa toxigénica de Vibrio parahaemolyticus (AHPND)*. Tesis Maestría. Uso y Manejo de los Recursos Naturales. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. http://dSPACE.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/2832/cabrera_m%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Castellanos Márquez, M.A., Leyva Reyes, N., Ramírez Barragán, C.A. & Andrade Ortega, J.A. (2010). *Desempeño de la quitina obtenida a partir de cáscara de camarón en la remoción de cadmio de sistemas acuosos*. Instituto Tecnológico de Orizaba "Coloquio de Investigación Multidisciplinaria". Evento Internacional, septiembre 30-octubre 01, Orizaba, Veracruz. 956-961.

Cervantes, C., Campos-García, J., Devars, S., Gutiérrez-Corona, J.F., Lozano-Talavera, H., Torres-Guzmán, J.C. *et al.* (2001). Interactions of chromium with microorganisms and plants, *FEMS Microbiol. Rev.* 25: 333-347.

CONAPESCA-Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (2020). Informe Anual 2019-2020. 17 de abril. [www.gob.mx > conapesca > archivo > prensa](http://www.gob.mx/conapesca/archivo/prensa)

Díaz, C., Jacinto, Ch., Medina, R., Navarro, A., Cuizano, N. & Llanos, B. (2013). Estudio de la biosorción de Cromo (VI) con quitosano cuaternario reticulado para su aplicación en biorremediación de aguas contaminadas. *Rev. Soc. Quím. Perú*, 79 (4), 304-318.

Domínguez Carpio, Y. (2017). *Elaboración de tostadas a base de residuos de camarón*. Tesis Licenciatura. Gastronomía. Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. <https://repositorio.unicach.mx/bitstream/20.500.12114/1220/1/GAS%20664.6%20D65%202017.pdf>

Duarte E., Olivero Verbel, J. & Jaramillo, B.E. (2009). Remoción de cromo de aguas residuales de curtiembres usando quitosano obtenido de desechos de camarón. *Scientia et Technica*, XV (42), 290-295.

Eggs, E., Salvarezza, S., Ricardo Azario, R., Fernández, N. & García, M.C. (2012). Adsorción de cromo hexavalente en la cáscara de arroz modificada químicamente. *Av. Cien. Ing.*, 3 (3), 141-151.

Escobedo Lozano, A.Y. & Quiñonez Osuna, J.R. (2017). Tratamiento del agua residual que se obtiene del proceso de la obtención de la quitina-proteína-quitosano de los desechos de camarón. *Rev. Iberoam. de Polím. y Mater.*, 18 (6), 290-290.

Flores-Rivera, M.A., Tovar-Oviedo, J., Cárdenas-González, J.F., Rodríguez-Pérez, A., Martínez Juárez, V.M. & Acosta-Rodríguez, I. (2019). Bioremediation of chromium (VI) by the use of residue of *Spinacea oleraceae* biomass. *JMEST*, 6 (12), 11166-11170.

Flores Valdivia, N.A. & Sepúlveda, E.A. (2011). *Biosorción de Cobre (II) y Cromo (VI) de aguas contaminadas usando quitosano*. 6º Congreso de Ciencia y Tecnología Escolar Explora-CONYCIT de la Región Metropolitana. Campus San Joaquín de la PUC de Chile. Octubre de 2011. 1-13. www.juniordelagua.cl

Fonseca Moreno, E. (2010). Industria del camarón: su responsabilidad en la desaparición de los manglares y la contaminación acuática. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 11 (5), 1-20.

García Zavala, C.A. (2017). *Obtención de quitosano a partir de exoesqueleto de langostino blanco (Litopenaeus Vannamei), para el tratamiento de efluentes industriales*. Tesis Licenciatura. Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior. Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo. Universidad Señor de Sipan. Perú-Pimentel. <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/4085>

Greenberg, A.E., Clesceri, L.S. & Eaton, A.D., (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18a. ed. American Public Health Association. Washington DC. 3.58-3.60.

Gutiérrez-Corona, J.F., Romo-Rodríguez, P., Santos-Escobar, F., Espino-Saldaña, A.E. & Hernández-Escoto, H. (2016). Microbial interactions with chromium: basic biological process and applications in environmental biotechnology. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 32 (191), 1-9.

Kapahi, M. & Sachdeva, S. (2019). Bioremediation Options for Heavy Metal Pollution. *J. of Health & Pollution*, 9 (24), 1-20.

Lemus Centes, J.F., Martínez Zimeri, L.A., Navarro, M.A. & Posadas, A. (2007). Obtención y uso de quitosano para tratamientos dérmicos a partir de exoesqueleto de camarón. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Landívar. *Boletín Electrónico*, 07, 1-13. http://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin07/URL_07_QUI01.pdf

Leyva-Ramos, R., Bernal-Jacome, L.A. & Acosta-Rodríguez, I. (2005). Adsorption of cadmium (II) from aqueous solution on natural and oxidized corncob. *Sep. and Purif. Technol.*, 45, 41-49.

Martínez Córdova, L.R., Martínez Porchas, M. & Cortés Jacinto, E. (2009). Camaronicultura mexicana y mundial; ¿Actividad sustentable o industria contaminante? *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 25 (3), 181-196.

Méndez Torres, W.P. (2019). *Adsorción de plomo en agua utilizando el exoesqueleto de camarón*. Tesis Licenciatura. Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/39654/1/TESIS.pdf>

Miranda Urrutia, J.C. (2018). *Estudio de adsorción de cromo III de aguas residuales de curtiembres con la utilización de compost*. Tesis Licenciatura. Ingeniería Ambiental en Prevención y Remediación. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad de las Américas, Quito, Ecuador. <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/9815/1/UDLA-EC-TIAM-2018-24.pdf>

Morales Enríquez, M.F. (2019). *Remoción de cromo III de aguas de curtido mediante la utilización del exoesqueleto de camarón*. Tesis Licenciatura. Ingeniería Ambiental en Prevención y Remediación. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad de las Américas, Quito, Ecuador. <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/10594/1/UDLA-EC-TIAM-2019-03.pdf>

Moreno Marengo, A.R. (2013). *Estudio de diferentes bioadsorbentes como posibles retenedores de fosfatos en agua*. Tesis Maestría. Ciencias Químicas. Depto. de Química. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. <http://bdigital.unal.edu.co/42905/1/52978683.2013.pdf>

Olivo Fat, P., Purata Díaz, M.E., Reyes Barbosa, A.S., Cárdenas González, J.K., Rodríguez Pérez, A., Martínez Juárez, V.M. *et al.* (2019). Remoción de Cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa de Brócoli (*Brassica oleracea* L. var. Itálica). *Remdis*, 6 (2), 17-25.

Ovando, M. (2013) La acuicultura y sus efectos en el medio ambiente. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 2 (3), 61-80.

Pájaro, Y. & Díaz, F. (2012). Remoción de cromo hexavalente de aguas contaminadas usando quitosano obtenido de exoesqueleto de camarón. *Rev. Colomb. Quím.*, 41 (2), 283-298.

Palacios Vargas, W.P. (2018). *Evaluación de la efectividad del quitosano como removedor de metales pesados en los lixiviados del relleno sanitario del Cantón Mejía, Pichincha, Ecuador*. Tesis Maestría. Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales. Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2890/1/Tesis%20de%20Investigaci%20c3%b3n%20Final%20Palacios%202018..pdf>

Quevedo Cuenca, J.W. (2017). *Determinación de la capacidad de bioadsorción de plomo aprovechando las propiedades del exoesqueleto de camarón*. Tesis Licenciatura. Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales. Universidad Politécnica Salesiana. Sede Cuenca. Cuenca, Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14300/7/UPS-CT007025.pdf>

Rodríguez, A., Pacheco, N.C., Cárdenas, J.F., Tovar, J., Martínez, V.M. & Acosta, I. (2017). Bioadsorción de Cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa de Amaranto (*Amaranthus caudatus*). *Av. Cien. Ing.*, 8 (2), 11-20.

Rollinson, C. (1973). *Chromium, molybdenum and tungsten*, in: *Comprehensive Organic Chemistry*, 3a. ed. Ed. Dickson, T. Pergamon Press, Oxford, UK, 691-694.

SADER-Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020). Informe Técnico. 16 de abril. 2020. [www.gob.mx > agricultura](http://www.gob.mx/agricultura)

Sag, Y. & Aktay, Y. (2002). Kinetic studies on sorption of Cr(VI) and Cu(II) ions by chitin, chitosan and *Rhizopus arrhizus*. *Biochem. Engineer. J.*, 12, 143-153.

Salas Ovilla, R., Gálvez López, D. & Rosas Quijano, R. (2017). *La Quitina: Lo mejor de los desechos marinos*. *Revista Ciencia UANL*, 20 (84), 6-10.

Sánchez-Duarte, R.G., Martínez-Macías, M.R., Correa-Murrieta, A., Saldivar-Cabrales, J., Sánchez-Machado, D.I. & López-Cervantes, J. (2017). Síntesis de hidrogeles de quitosano a partir de cáscara de camarón para ensayos de adsorción de cobre. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 33 (Especial sobre Ingeniería Ambiental. Universidad Estatal de Sonora). 93-98.

Suárez Campos, D.A. (2019). *Evaluación de exoesqueletos de camarones y sus carbonizados como descontaminantes para reducir su impacto ambiental*. Tesis Maestría. Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias. Depto. De Farmacia. Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/11275/1/SuarezDavid_2019_ExoesqueletosCamaronesCarbonizados.pdf

Tafur Bravo, L.K. & Quevedo Salas, R.K. (2014). *Alternativa para el tratamiento de aguas residuales cromadas con quitosano extraído del exoesqueleto de camarón*. Tesis Licenciatura. Ingeniería Agroindustrial. Facultad de Ingeniería Agronómica. Universidad del Tolima. Ibagué-Tolima. <http://repository.ut.edu.co/bitstream/001/1250/1/RIUT-FBA-spa-2014-Alternativa%20para%20el%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20cromadas%20con%20Quitosano%20extra%20%20del%20exoesqueleto%20de%20camar%C3%B3n.pdf>

Tewari, N., Vasudevan, P. & Guha, B. (2005). Study on biosorption of Cr(VI) by *Mucor hiemalis*, *Biochem. Engineer. J.*, 23, 185-192.

Vega-Villasante, F., García-Guerrero, M.U., Cortés-Jacinto, E. Yamasaki-Granados S., Montoya-Martínez, C.E., Vargas-Ceballos, M.A. *et al.* (2015). *Los camarones de agua dulce del género Macrobrachium: biología, ecología y explotación*. Eds. Cifuentes Lemus, J.L. y Cupul Magaña, F.G. Temas sobre Investigaciones Costeras. 1ª. Ed. Cap. 13. 273-315. Universidad de Guadalajara.

Verma, A., Chakraborty, S. & Basu, J.K. (2006). Adsorption study of hexavalent chromium using tamarind hull-based adsorbents. *Sep. Purif. Technol.*, 50, 336–341.

