

EL USO DE LA BIOMASA DE LA CÁSCARA DE CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*) PARA LA ELIMINACIÓN DE CROMO (VI) EN SOLUCIÓN ACUOSA

Fecha de aceptación: 02/09/2024

Daniela C. Aranda González

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

Alejandra C. Hernández Terán

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

Adriana Rodríguez Pérez

Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
Centro de Investigación y Extensión de la
Zona Media. El Balandran
Cd. Fernández, San Luis Potosí
<https://orcid.org/0000-0002-6570-6579>

Juan Fernando Cárdenas González

Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
Centro de Investigación y Extensión de la
Zona Media. El Balandran
Cd. Fernández, San Luis Potosí
<https://orcid.org/0000-0002-3502-5959>

Jose 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
<https://orcid.org/0000-0001-8620-2727>

RESUMEN: El objetivo de este trabajo fue determinar la capacidad de remoción de Cr (VI) por la biomasa de la cascara de caña de azúcar, encontrando que 10 g de la biomasa analizada eliminan el 100 % del metal a las 72 horas, pH 1.0, 28°C y 100 rpm, mientras que a mayor temperatura es mayor la remoción, pues se elimina el 100% del contaminante a las 2 horas a 60°C, y si se aumenta la concentración del metal (200-1000 mg/L), no hay diferencias significativas en la remoción del mismo, aunque es más eficiente a 60°C. Si se incrementa la concentración del bioadsorbente, aumenta la remoción del metal. Finalmente, 10 g de biomasa, eliminan el 100% de Cromo (VI) presente en tierra (100 mg/g) y agua (100 mg/L) contaminadas de manera natural, a los 4 y 12 días de incubación a 28°C,

PALABRAS CLAVE: Cromo (VI), caña de azúcar, biorremediación, aguas residuales.

ABSTRACT: The objective of this work was to determine the Cr (VI) removal capacity of sugar cane husk biomass, finding that 10 g of the biomass analyzed removes 100 % of the metal after 72 hours, pH 1.0, 28°C and 100 rpm, while at higher temperatures the removal is greater, since 100% of the contaminant is removed after 2 hours at

60°C, and if the metal concentration is increased (200-1000 mg/L), there are no significant differences in the removal of the same, although it is more efficient at 60°C. If the concentration of the bioadsorbent is increased, the removal of the metal increases. Finally, 10 g of biomass removal 100% of the metal present in soil (100 mg/g) and water (100 mg/L) contaminated naturally, in 4 and 12 days of incubation to 28°C.

KEYWORDS: Chromium (VI), sugar cane, bioremediation, wastewater.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, debido a las actividades mineras, industriales, urbanas y de fundición, uno de los mayores problemas ambientales es la contaminación por metales pesados de las fuentes hídricas alrededor del mundo, pues debido a su toxicidad y efectos potencialmente nocivos sobre los diferentes sistemas ecológicos y el medio ambiente, se consideran un grave problema para los habitantes de las localidades que se abastecen de agua contaminada, y considerando que el aumento de la concentración de estos metales en las diferentes fuentes hídricas, es consecuencia de las diversas actividades antropogénicas, que son el sostén de la vida humana, ocasionando graves problemas económicos, tanto a nivel local como nacional por el incremento de los costos de los tratamientos médicos y disminución de la productividad de los habitantes de las zonas contaminadas (Ida y Thorin, 2021). Lo anterior, conlleva una gran cantidad de problemas en la vida del planeta, ya que se acumulan en las plantas, y son depositados en el suelo y transportados hasta dichas plantas, por ríos contaminados, provocando diferentes efectos como: disminución del crecimiento o amarillamiento de las hojas (clorosis). Además de ser muy peligrosos para la vida humana, donde los efectos pueden ser erupciones en la piel, malestar estomacal y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmunológico, daños en los riñones y el hígado, cáncer de pulmón, afecciones cardíacas, óseas, testiculares y del sistema nervioso central y periférico, e incluso la muerte (Razzak et al., 2022).

Por lo tanto, es de suma importancia encontrar métodos más eficientes para la retención y extracción de metales pesados de lugares contaminados y/o reducir su toxicidad para garantizar la preservación de los ecosistemas y la vida humana. Entre los diferentes métodos existentes para el control de metales pesados se han reportado: precipitación, óxido-reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnologías de membranas y recuperación por evaporación, adsorción y bioadsorción, y algunos metales pesados que se consideran peligrosos son: plomo, cobalto, estaño, hierro, cadmio, mercurio, cromo, vanadio, entre otros (Zaynab et al., 2022).

Por otra parte, el cromo hexavalente, también conocido como cromo (VI) (Cr^{6+}), es la forma tóxica del metal, mientras que algunas formas menos tóxicas de éste se encuentran de forma natural en el medio ambiente (suelo, rocas, polvo, plantas y animales), y se produce principalmente por procesos industriales (Sharma et al., 2022). La inhalación de este metal puede provocar cáncer y efectos no cancerígenos para la salud. Efectos

cancerígenos: Respirar cromo (VI) durante un período prolongado aumenta el riesgo de cáncer de pulmón y nasal, mientras que los efectos no cancerígenos, como respirar cromo (VI) a altos niveles a lo largo del tiempo, pueden causar o empeorar ciertas afecciones de salud, entre ellas: Irritación de la nariz, la garganta y los pulmones (secreción nasal, tos), síntomas de alergia (sibilancia, falta de aire), llagas nasales y niveles muy altos en el aire en los lugares de trabajo pueden provocar la perforación de la membrana que separa las fosas nasales. Además, cada vez se reconoce más como un neurotóxico (Sharma et al., 2022).

Por otro lado, se han estudiado diferentes materiales como potenciales biosorbentes para eliminar metales pesados y otros contaminantes. Esos materiales incluyen microorganismos, como bacterias, hongos, algas, desechos orgánicos y material lignocelulósico (Boakye et al., 2022), como: las biomásas de *Mentha piperita* (González Padilla et al., 2024), tabaco (*Nicotiana tabacum*) (Huerta Velázquez et al., 2024), cáscara de sandía (*Citrus lanatus*) (García Luis, et. al., 2023) y la cascara de toronja (*Citrus Paradise*) (Rodríguez Pérez et al., 2024) para la remoción de cromo (VI) en solución, con resultados altamente satisfactorios. También, se ha reportado la remoción de plomo (II) y mercurio por bagazo de caña de azúcar (Trujillo del Bossque et al., 2021; Sánchez Silva, 2020). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar la remoción de cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa de la cáscara de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

MATERIAL Y MÉTODOS

Bioadsorbente

La cáscara de caña de azúcar (*S. officinarum*), se obtuvo a partir de caña comercial obtenida de diferentes vendedores ambulantes de la zona centro de la ciudad capital San Luis Potosí, S.L.P., México, en el mes de julio del 2023. Para la obtención de la biomasa, la cáscara de caña se lavó durante 24 horas con EDTA (10% p/v), el cual sirve como agente quelante con el fin de eliminar metales contaminantes, después se lavó con agua tridesionizada por una semana con cambios de agua cada 12 horas, y se calentó a ebullición por una hora, y posteriormente se secó en estufa a 80°C por 3 días, se molió en licuadora y se guardaron en envases de vidrio ambar a temperatura ambiente hasta su uso.

MÉTODOS

Soluciones de Cromo (VI)

Se utilizó una solución de 200 mL de cromo (VI) con una concentración de 100 mg/L, obtenida por dilución de una solución patrón de 1.0 g/L, preparada en agua tridesionizada, a partir de dicromato de potasio. De acuerdo con el pH empleado para cada prueba, éste se modificó con soluciones de NaOH y/o H₂SO₄, antes de adicionarla a la biomasa.

Determinación de remoción de Cromo (VI) en distintas condiciones

De la biomasa a analizar, se pesaron 10 g y se añadieron a matraces Erlenmeyer de 500 mL y posteriormente se mezclaron con 200 mL de una solución del metal [100 mg/L de cromo (VI)], se incubaron a una temperatura de 28°C con agitación constante (100 rpm) bajo diferentes condiciones de pH (1.0, 2.0, 3.0 y 4.0), temperatura (28°C, 40°C, 50°C y 60°C), concentración de cromo (VI) (200 mg/L, 400 mg/L, 600 mg/L, 800 mg/L y 1000 mg/L) y diferentes concentraciones de biomasa (1 g, 5 g y 10 g), y de la misma manera se determinó la remoción del metal a partir de agua y tierra contaminadas.

Posteriormente, a diferentes tiempos de incubación, se tomaron alícuotas de 5 mL, removiendo la biomasa por centrifugación a 3 000 rpm (10 min) y al sobrenadante se le determinó la concentración de cromo (VI) en solución, utilizando el método colorimétrico de la difenilcarbazida, que determina la cantidad del metal presente en solución por medio de la producción de una coloración rosa violeta, las muestras se leyeron por duplicado en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 540 nm (Greenberg et al., 1992). Todos los experimentos se realizaron mínimo 2 veces y por duplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del tiempo de incubación y pH

El tiempo óptimo para la eliminación de 100 mg/L del metal fue de 72 horas, pH 1.0, con 10 g/200 mL del bioadsorbente a 28°C y 100 rpm (Figura 1).

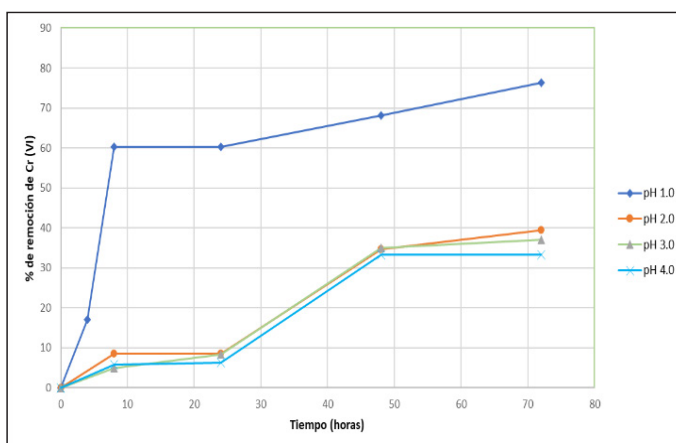


Figura. 1. Efecto del tiempo de incubación y pH sobre la remoción de cromo (VI) en solución. 100 mg/L Cr (VI), 100 rpm, 28°C, 10 g biomasa.

Efecto de la temperatura de incubación

En relación con la temperatura, se observó que a mayor temperatura es mayor la remoción, pues se elimina el 100% del contaminante a las 2 horas a 60°C, mientras que a 28°C, la mayor remoción se observa a las 72 horas. (Fig. 2)

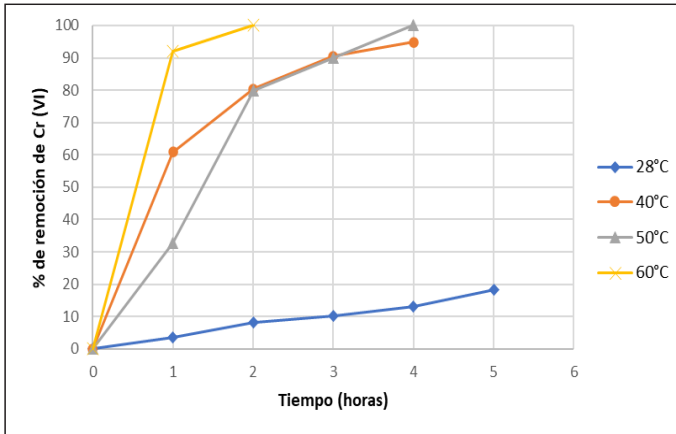


Figura 2. Efecto de la temperatura de incubación sobre la remoción de cromo (VI). 100 mg/L Cr (VI). pH 1.0. 100 rpm. 10 g de biomasa. 5 h.

Efecto de la concentración inicial del metal sobre la adsorción del mismo.

Con respecto al efecto de diferentes concentraciones del metal en solución, sobre la remoción del mismo, a pH 1.0 con 10 g de biomasa, a 28°C y 60°C y 100 rpm, se observó que si se aumenta la concentración del metal (200-1000 mg/L), no hay diferencias significativas en la remoción del mismo, aunque hay mayor eliminación a 60°C, pues el metal se remueve a las 2 horas, mientras que a 28°C, es mayor el tiempo de incubación (48 horas) (Figs. 3 y 4).

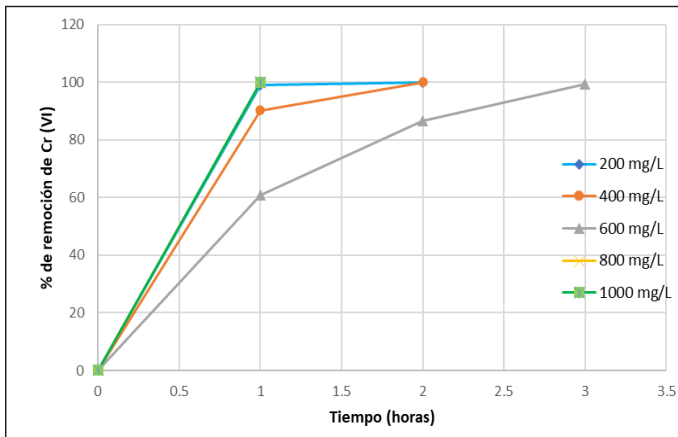


Figura 3.- Efecto de la concentración de cromo (VI) sobre la remoción del mismo. 10 g de biomasa. 100 rpm, pH 1.0. 60°C.

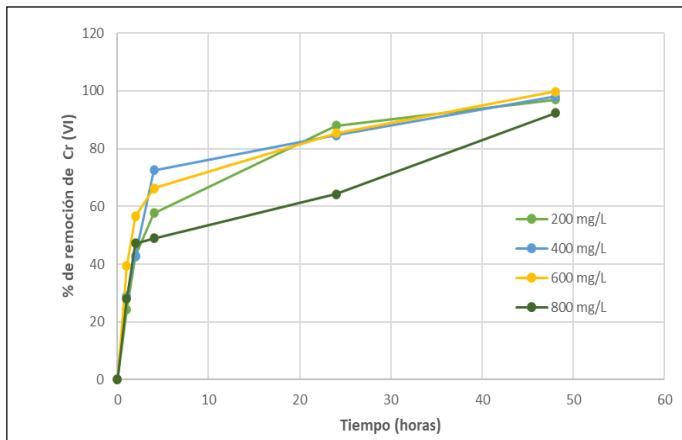


Figura 4.- Efecto de la concentración de cromo (VI) sobre la remoción del mismo. 10 g de biomasa. 100 rpm, pH 1.0. 28°C.

Efecto de la concentración del bioadsorbente

En la figura 5, se muestra el efecto de la concentración inicial de la biomasa sobre la remoción del metal, encontrando que, si se incrementa la concentración del bioadsorbente, aumenta la remoción del metal, pues con 10 g de biomasa, se observa una eliminación total del metal a las 72 horas, mientras que con 1 g de biomasa se obtiene un 60% de remoción en el mismo tiempo de incubación.

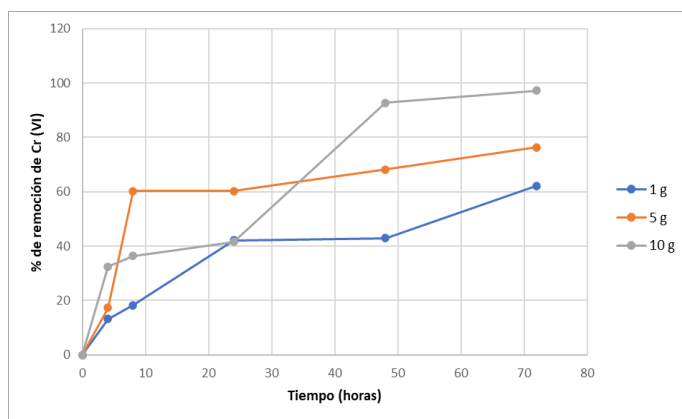


Figura 5.- Efecto de la concentración del bioadsorbente sobre la remoción de cromo (VI). 100 rpm, pH 1.0. 28°C.

Remoción de Cromo (VI) a partir de residuos industriales contaminados

Se realizó un ensayo de biorremediación de cromo (VI), a partir de agua y suelo contaminados con 100 mg/g de tierra y 100 mg/L de agua contaminada (ambos ajustados), a partir de muestras obtenidas de una tenería de Celaya, Gto, México, utilizando 10 g de la biomasa a analizar, observando que la biomasa elimina el 100% de cromo (VI) presente en tierra y agua contaminadas de manera natural, a los 4 y 12 días de incubación a 28°C (Figuras 6 y 7).

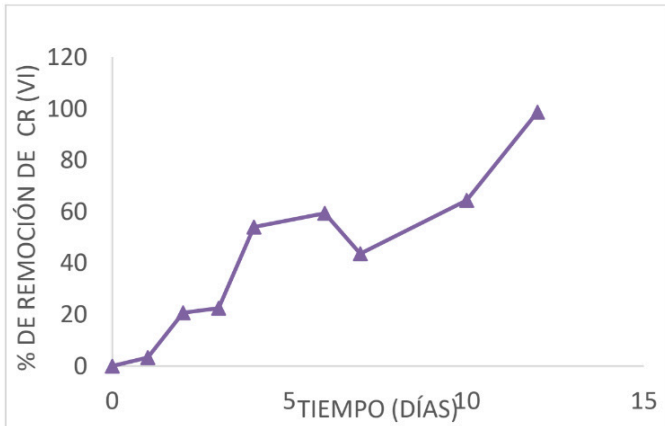


Figure 6. Remoción de cromo (VI) a partir de residuos industriales. 10 g de biomasa. 28°C, 100 rpm, 190 mL de agua contaminada (100 mg Cr (VI)/L, ajustado, pH 6.8).

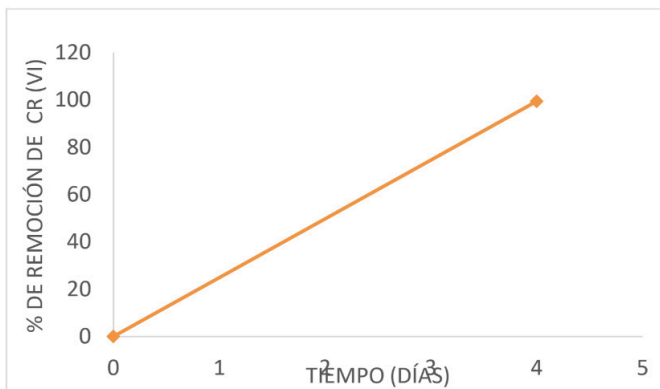


Figure 7. Remoción de cromo (VI) a partir de residuos industriales. 10 g de biomasa. 28°C, 100 rpm, 180 mL de agua tridesionizada, 10 g de tierra contaminada (100 mg Cr (VI)/g suelo, ajustado, pH 7.2).

Finalmente, en la tabla 1, se muestran los porcentajes de adsorción de Cromo (VI) utilizando diferentes bioadsorbentes.

Adsorbente	pH	Capacidad de adsorción (mg/L)	Referencia
<i>Avena sativa</i>	1.0	100	Pacheco <i>et al.</i> , 2017
<i>Dioscorea rotundata</i>	2.0	325.88	Villabona <i>et al.</i> , 2022
<i>Emblica Officinalis</i>	2.0-3.0	416	Kushwah & Chakra-Borty, 2021
<i>Oriza sativa</i> L.	5.2	94.3	Khalil <i>et al.</i> , 2021
<i>Allium cepa</i> L.	1.0	49	Prokopov <i>et al.</i> , 2021
<i>Oriza sativa</i> L.	1.0	50	Rodríguez-Pérez <i>et al.</i> 2022
<i>Heinsia crinita</i>	2.0	49.45	Dawodu <i>et al.</i> , 2020
<i>Pisum sativum</i>	2.0	5	Kebede <i>et al.</i> , 2022
<i>Eichhornia crasipes</i>	1.5	2.5	Ardila-Arias <i>et al.</i> , 2022
<i>Nicotiana tabacum</i>	2.0	72	Huerta Velázquez <i>et al.</i> , 2024
<i>Saccharum officinarum</i>	1.0	100	Este trabajo

Tabla 1. Comparación de los porcentajes de remoción de Cromo (VI) con otros bioadsorbentes

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo, sugieren la potencial aplicabilidad de esta biomasa para la remoción de éste y otros metales pesados de aguas residuales. Sin embargo, la capacidad de remoción puede verse afectada por altas concentraciones de los mismos contaminantes, disminuyendo la capacidad de remoción de dichas biomásas, aunque, actualmente, el uso de biomásas muertas, es una gran alternativa para tratar de eliminar los metales pesados de los diferentes sitios contaminados. Actualmente, el uso de biomásas naturales vivas y/o muertas, ésta es una gran alternativa para tratar de eliminarlos, debido a su bajo costo, gran capacidad de adsorción, fácil accesibilidad y su producción en grandes cantidades.

También, se ha reportado, que la biomasa de *S. officinarum* puede acumular eficientemente diferentes metales pesados (Trujillo del Bosque *et al.*, 2021; Sánchez Silva, 2020), pero, hay pocos reportes relacionados con la remoción de contaminantes ambientales por esta biomasa, por lo cual este trabajo es relevante para estudios posteriores para eliminar y mejorar la capacidad de remoción de esta biomasa natural.

CONCLUSIONES

La biomasa de la cascara de *S. officinarum*, mostró una buena capacidad de remoción del metal analizado en las condiciones descritas, lo cual sugiere su potencial aplicación para la biorremediación de sitios contaminados con este metal.

REFERENCES

- Ardila-Arias A.N., Arriola-Villaseñor E., Álvarez-González W., Hernández-Maldonado J.A. & Barrera-Zapata R. 2022. Aprovechamiento de residuos de *Eichhornia crasipes* para la remoción de Cr (VI) en Aguas simuladas. Revista Politécnica.18(35): 71-83. DOI: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v18n35a5>
- Boakye P., Ohemeng-Boahen G., Darkwah L, Sokama-Neuyam Y.A., Appiah-Effah E., Oduro-Kwarteng S., Osei B.A., Asilevi P.J. & Woo S.H. 2022. Waste Biomass and Biomaterials Adsorbents for Wastewater Treatment. Green Energy and Environmental Technology. 2022(0): 1–25. <https://doi.org/10.5772/geet.05>
- Dawodu F.A., Akpan B.M. & Akpomie K.G. 2020. Sequestered capture and desorption of hexavalent chromium from solution and textile wastewater onto low cost *Heinsia crinita* seed coat biomass. Applied Water Science. 10(1):1-15. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1114-6>
- García Luis, M.F., Ramos Arteaga, A., Sánchez Lucio, L.S., Rodríguez Pérez, A., Cárdenas González, J.F. & Acosta Rodríguez, I. 2023. Remoción de cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa de la cáscara de sandía (*Citrus lanatus*). Sociedad Química de México. 255-259. ISSN: 2448-914X. Versión digital. www.sqm.org.mx.
- González Padilla, M.J., Martínez Rodríguez, C.M., Contreras Briones, D., Navarro Castillo, J.F. & Acosta Rodríguez, I. 2024. Removal of chromium (VI) in solution by the *Mentha piperita* biomass. Journal of Multidisciplinary and Environmental Science and Technology. (JMEST). Vol. 11, No. 11. pp. 16522-16527. January 31. ISSN: 2458-9403. JMESTN42354307. www.jmest.org
- Greenberg A.E., Clesceri L.S. & Eaton A.D. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC, USA, 18th edition. 3.58-3.60.
- Gupta B., Mishra A., Singh R. & Thakur I.S. 2021. Fabrication of calcite based biocomposites for catalytic removal of heavy metals from electroplating industrial effluent. Environmental Technology Innovation. 21(101278). 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101278>
- Huerta-Velázquez, C.C., Cruz-García, K.B. & Acosta-Rodríguez, I. 2024. Usefulness of the Biomass of Tobacco (*Nicotiana tabacum*) for The Elimination of Chromium (VI) from Polluted Waters. Universal Journal of Green Chemistry. Vol. 2, No. 1. pp. 1-10. 21/02/2024. DOI: <https://doi.org/10.37256/ujgc.2120242220>. <https://ojs.wiserpub.com/index.php/UJGC/>
- Ida S. & Eva, T. 2021. Removal of Heavy Metals during Primary Treatment of Municipal Wastewater and Possibilities of Enhanced Removal: A Review. Water. 13 (1121): 1-26. <https://doi.org/10.3390/w13081121>
- Kebede A., Kedir K., Melak F. & Girma-Asere T. 2022. Removal of Cr(VI) from Aqueous Solutions Using Biowastes: Tella Residue and Pea (*Pisum sativum*) Seed Shell. Hindawi Scientific World Journal. Vol. 2022, Article ID 7554133, 12 pages <https://doi.org/10.1155/2022/7554133>

Khalil U., Shakoor M.B., Ali, S., Ahmad S.R., Rizwan M., Alsahli A.A. & Alyemeni M.N. 2021. Selective Removal of Hexavalent Chromium from Wastewater by Rice Husk: Kinetic, Isotherm and Spectroscopic Investigation. *Water* 13(263): 1-12. [https://doi.org/ 10.3390/w13030263](https://doi.org/10.3390/w13030263)

Kushwaha P. & Chakraborty, S. 2021. Removal of Cr(VI) from Synthetic Wastewater by Low Cost Adsorbent Developed from Amla Wood Sawdust (*Embllica officinalis*). *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 10(02): 246-248. <http://www.ijert.org>

Pacheco-Castillo N.C., Cárdenas-González J.F., Moctezuma-Zárate M.G., Martínez-Juárez V.M., Rodríguez-Pérez A. & Acosta Rodríguez I. 2017. Removal of chromium (VI) in aqueous solution by oat biomass (*Avena sativa*). *Mexican Journal of Biotechnology*. 2(2): 196-205. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2017.2.2.196>

Prokopov T., Nikolova M., Taneva D. & Petkova N. 2022. Removal of Chromium (VI) from aqueous solution by extracted onion processing waste. *Studii și Cercetări Științifice Chimie și Inginerie Chimică, Biotehnologii, Industrie Alimentară*. 22(4): 399-410. ISSN 1582-540X

Razzak S.A., Faruque M.O., Alsheikh Z., Alsheikhmohamad L., Alkuroud D., Alfayez A., Zakir-Hossain S.M., Mohammad M. & Hossain M.M. 2022. A comprehensive review on conventional and biological-driven heavy metals removal from industrial wastewater. *Environmental Advances*. 7(1001689): 1-26. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100168>

Rodríguez-Pérez A., Pacheco-Castillo N., Tovar-Oviedo J., Martínez-Juárez V.M., Acosta-Rodríguez I., Muñoz-Morales A. & Cárdenas-González J.F. 2022. Remoción de Cromo (VI) en solución acuosa por la biomasa modificada de la cáscara de arroz (*Oriza sativa* L.). *Tecnología y Ciencias del Agua*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 13(3): 478-502. DOI: 10.24850/j-tyca-2022-03-10.

Sanchez-Silva, J.M., González-Estrada, R.R., Blancas-Benitez, F.J. & Fonseca-Cantabrana, A. 2020. Utilización de subproductos agroindustriales para la bioadsorción de metales pesados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23: 1-18, <https://doi.org/10.22201/fez.23958723e.2020.0.261>

Sharma P., Pratap-Singh S., Kishor-Parakh S. & Wah-Tong Y. 2022. Health hazards of hexavalent chromium (Cr (VI)) and its microbial reduction. *Bioengineered*, 13(3): 4923-4938. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2037273>

Trujillo del Bosque, A., Dopico Ramírez, D, León Fernández, V. & Díaz López, C. 2021. Remoción de PB (II) usando meollo del bagazo de la caña de azúcar como biosorbente. *Revista Cubana de Química*. 1-15.

Villabona-Ortíz A., González-Delgado Á. & Tejada-Tovar C. 2022. Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics of Chromium (VI) Adsorption on Inert Biomasses of *Dioscorea rotundata* and *Elaeis guineensis*. *Water*. 14(844): 1-15. <https://doi.org/10.3390/w14060844>

Zaynab M., Al-Yahyai R., Ameen A., Sharif Y., Ali L., Fatima M., Ali-Khan K. & Li S. 2022. Health and environmental effects of heavy metals. *Journal of King Saud University–Science*. 34(101653): 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101653>