

Biorremediación de Cr(VI) con Biomasa de SCOBY de Kombucha

Biorremediación de Cr(VI) con Biomasa de SCOBY de Kombucha

Daniela Ayala-Camarena^{1*}, Adán Topiltzin Morales-Vargas², Vicente Peña-Caballero³

¹ Universidad de Guanajuato, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, Campus Celaya-Salvatierra, Programa de Ingeniería en Biotecnología, Av. Mutualismo Esq. Prolongación Río Lerma S/N, Celaya, Gto. C. P. 38060. Correo: d.ayalacamarena@ugto.mx . Teléfono:461 134 6005

Resumen

La contaminación por cromo hexavalente, particularmente en el estado de Guanajuato debido a la actividad minera y de curtidos, ha incrementado significativamente, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas para el tratamiento de efluentes contaminados. El cromo hexavalente (Cr(VI)) es un contaminante altamente tóxico, soluble y oxidante, en comparación con su forma trivalente (Cr(III)). Dada su peligrosidad, se ha considerado la biorremediación como una alternativa viable para la remoción de este metal presente en agua, utilizando biomasa y sustancias exopoliméricas, como los exopolisacáridos derivados de la kombucha.

En este estudio, se empleó biomasa proveniente de SCOBY (por sus siglas en inglés Symbiotic Culture Of Bacteria and Yeast) de kombucha para la adsorción de Cr(VI) en un sistema de bajo volumen (10 mL) y de bajo costo. La adsorción se llevó a cabo en condiciones controladas de pH (cerca de 0), temperatura (entre 27 y 30°C) y agitación (150 rpm), evaluando diferentes concentraciones iniciales de Cr(VI) (40, 60, 80, 100, 250 y 300 ppm) y masa del bioadsorbente (0.1 g). La determinación del Cr(VI) se realizó mediante la técnica de difenilcarbazida. Para caracterizar el proceso de adsorción, se utilizaron modelos cinéticos de pseudo primer y segundo orden, así como modelos de isoterma de Langmuir y Freundlich para describir el equilibrio de adsorción.

Los resultados obtenidos revelaron una capacidad de remoción de Cr(VI) del 98%, lo que sugiere que la biomasa de kombucha podría ser una alternativa eficiente y económica para la eliminación de cromo hexavalente en soluciones acuosas. Este enfoque promete ser un método alternativo viable para mitigar la contaminación por Cr(VI) en cuerpos de agua afectados.

Palabras clave: Cromo Hexavalente. SCOBY de kombucha. Biorremediación. Adsorción. Exopolisacáridos

Abstract

Hexavalent chromium contamination, particularly in the state of Guanajuato due to mining and tanning activities, has significantly increased, prompting the search for alternatives to treat contaminated effluents. Hexavalent chromium (Cr(VI)) is a highly toxic, soluble, and oxidizing contaminant compared to its trivalent form (Cr(III)). Given its hazardous nature, bioremediation has been considered a viable solution, utilizing biomass and exopolymeric substances, such as those derived from kombucha exopolysaccharides.

In this study, biomass from SCOBY (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast) of kombucha was employed for the adsorption of Cr(VI) in a low-volume, cost-effective system. Adsorption was conducted under controlled pH, temperature, and agitation conditions, evaluating different initial Cr(VI) concentrations and bioadsorbent masses. Cr(VI) determination was performed using the diphenylcarbazine method. To characterize the adsorption process, pseudo-first and pseudo-second order kinetic models were used, along with Langmuir and Freundlich isotherm models to describe adsorption equilibrium.

The results demonstrated a Cr(VI) removal capacity of 98%, suggesting that kombucha biomass could serve as an efficient and economical alternative for the removal of hexavalent chromium from aqueous solutions. This approach shows promise as a viable alternative method to mitigate Cr(VI) contamination in affected water bodies.

Introducción

El cromo hexavalente (Cr(VI)) es un contaminante altamente tóxico y persistente en el medio ambiente, que ha generado una preocupación considerable, especialmente en regiones con actividades industriales intensivas, como la minería y el curtido de pieles [Saha, Nandi, & Saha, 2011]. En particular, el estado de Guanajuato, México, ha sido identificado como una zona crítica debido al vertido de efluentes industriales que contienen cromo, lo cual ha provocado una significativa contaminación de cuerpos de agua y suelos. Este tipo de contaminación no solo amenaza los ecosistemas acuáticos, sino que también plantea graves riesgos para la salud humana, debido a que el Cr(VI) es altamente cancerígeno y puede causar daños severos en órganos vitales si es ingerido, inhalado o absorbido a través de la piel [Saha, Nandi, & Saha, 2011].

La problemática del Cr(VI) se agrava por su alta solubilidad y movilidad en el agua, lo que facilita su propagación en el medio ambiente. A diferencia de su forma trivalente (Cr(III)), que es menos tóxica y soluble, el Cr(VI) es un agente oxidante potente que puede penetrar fácilmente las membranas celulares, causando daño a nivel molecular [Saha, Nandi, & Saha, 2011]. Por estas razones, la eliminación efectiva del Cr(VI) de las aguas contaminadas es una prioridad tanto en el ámbito ambiental como en el sanitario.

Tradicionalmente, la remoción de Cr(VI) de cuerpos de agua se ha abordado mediante métodos químicos convencionales, como la reducción química, la precipitación y la adsorción en materiales sintéticos [Awasthi et al., 2017]. Sin embargo, estos enfoques a menudo son costosos y pueden generar subproductos secundarios que también requieren tratamiento, lo que limita su aplicabilidad a gran escala. Además, los métodos químicos pueden tener impactos ambientales negativos, como la generación de residuos tóxicos o el agotamiento de recursos naturales [Kumar & Bishnoi, 2017].

En este contexto, la biorremediación ha emergido como una alternativa prometedora y sostenible para el tratamiento de aguas contaminadas con Cr(VI). Esta se basa en el uso de organismos vivos o sus productos metabólicos para eliminar o neutralizar contaminantes del ambiente, ofreciendo un enfoque más ecológico y potencialmente más rentable en comparación con los métodos químicos tradicionales. Entre las diversas estrategias de biorremediación, el uso de biomasa y sustancias exopoliméricas, como los exopolisacáridos, ha mostrado un gran potencial debido a su capacidad para adsorber metales pesados de soluciones acuosas [Kumar & Bishnoi, 2017].

Por consiguiente, se observó que la kombucha, una bebida fermentada ampliamente conocida por sus beneficios para la salud se produce a partir de una Cultura Simbiótica de Bacterias y Levaduras (SCOBY), que genera una matriz rica en exopolisacáridos. Estos exopolisacáridos tienen propiedades únicas que los hacen efectivos en la adsorción de metales pesados, lo que sugiere que podrían ser utilizados como un bioadsorbente en la remoción de Cr(VI) [Zhao & Wang, 2020].

El desarrollo de tecnologías basadas en la biorremediación, como el uso de biomasa de kombucha, no solo contribuye a la protección del medio ambiente, sino que también abre nuevas oportunidades para la aplicación de métodos naturales en el tratamiento de contaminantes, destacando la importancia de la investigación en soluciones innovadoras y sostenibles para los problemas ambientales actuales. [Gupta & Rastogi, 2018].

Este estudio se centra en la investigación del potencial de la biomasa de kombucha para adsorber Cr(VI) en soluciones acuosas. Para ello, se llevó a cabo una serie de experimentos en condiciones controladas de pH, temperatura y agitación, evaluando la capacidad de adsorción del Cr(VI) bajo diferentes concentraciones iniciales y masas del bioadsorbente. La caracterización del proceso de adsorción se realizó mediante la aplicación de modelos cinéticos de pseudo primer y segundo orden, así como modelos de isothermas de Langmuir y Freundlich, que permitieron entender la dinámica y el equilibrio de adsorción en este sistema.

Metodología

Producción de SCOBY

Para elaborar un SCOBY a base de té negro y piloncillo, se hirvió un litro de agua y se disolvieron 100 gramos de piloncillo. Se añadieron entre 2 y 3 bolsas de té negro y se dejó reposar hasta que la mezcla estuviera a temperatura ambiente. Posteriormente, se transfirió a un frasco de vidrio limpio, se agregó Kombucha previamente fermentada. El frasco se cubrió con una gasa y se fermentó en un ambiente cálido (20-30°C) por entre 7 y 14 días. Durante este tiempo, se fue formando una capa de celulosa (el SCOBY) en la superficie, que fue monitoreada en términos de crecimiento.



Figura 1. Celulosa de Kombucha (SCOBY). Elaboración propia.

Secado y molienda de la Biomasa

Una vez formado el SCOBY se retiró y pasó por un lavado exhaustivo para eliminar los residuos de té de la celulosa y se sometió a un proceso de secado dentro de un horno de secado a 60°C durante 3 días (marca Riossa). Posterior al secado, la biomasa fue molida por medio de un molino de café (marca Bogner).

Microsistemas

Para los microsistemas se realizaron dos soluciones, una solución patrón de 500 ppm de Cr(VI) (Hiper Quim) y una solución ácida de H₂SO₄ al 98% (Hiper Quim). Se utilizaron Vórtex (marca Heathrow Scientific) para tubos falcón de 15 mL y en cada uno de los vórtex fueron colocados dos tubos falcón con los microsistemas correspondientes. En cada tubo para armar los microsistemas se agregaron diferentes cantidades de las soluciones dependiendo de la concentración de Cr(VI) que se requería en cada microsistema, llegando a un total de 10 mL por microsistema, como se indica en la tabla 1.

Tabla 1. Preparación en microsistemas

40 ppm	60 ppm	80 ppm	100 ppm	250 ppm	300 ppm
5 mL de H ₂ SO ₄	4 mL de H ₂ SO ₄				
0.8 mL de Cr VI	1.2 mL de Cr VI	1.6 mL de Cr VI	2 mL de Cr VI	5 mL de Cr VI	6 mL de Cr VI
4.2 mL de H ₂ O	3.8 mL de H ₂ O	3.4 mL de H ₂ O	3 mL de H ₂ O		

Una vez armados los microsistemas de 10 mL, se prosiguió a agregar 0.1 g de la biomasa seca previamente molida en cada uno de los microsistemas para así poder colocar los tubos falcón dentro de los vórtex y

dejarlos en agitación constante. Se tomaron muestras por duplicados en los tiempos 0, 1 y 2 h para poder medir la absorbancia en los distintos tiempos.

Después de cada medición las muestras fueron centrifugadas por 5 min a 10 000 rpm (en una centrifugadora Z 207 A Hermle) para poder separar la biomasa del sobrenadante. Se retiró el precipitado y el sobrenadante fue sometido a un análisis de muestra con difenilcarbazida [Zhao & Wang, 2020].

Tratamiento de las muestras

En dicho análisis de muestra fueron utilizadas una solución de H_2SO_4 al 50% y una solución de difenilcarbazida como indicador. El análisis fue realizado en matraces de aforo de 5 mL y fue medido dentro de un espectrofotómetro de placa a una longitud de onda de 540 nm (marca Thermo Scientific).



Figura 2. Microsistemas en Vórtex. Elaboración propia.

Resultados y discusión

En este estudio se evaluó la capacidad de los exopolisacáridos de kombucha para la remoción de Cr (VI) en soluciones acuosas, utilizando diferentes concentraciones iniciales de cromo, las cuales fueron: 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm, 100 ppm, 250 ppm y 300 ppm a través de microsistemas y analizados por medio de la técnica de difenilcarbazida.

Los resultados indicaron que la eficiencia de remoción de Cr(VI) varía según la concentración inicial y el tiempo de contacto. A través de todas las concentraciones evaluadas, se observa una tendencia decreciente en la inicial remoción a medida que aumenta la concentración de Cr(VI). Este comportamiento es coherente con estudios previos realizados por Gupta y Rastogi en 2018, sobre adsorción de metales, donde concentraciones más bajas permiten una mayor disponibilidad de sitios activos en la superficie del adsorbente, lo que maximiza la remoción de contaminantes.

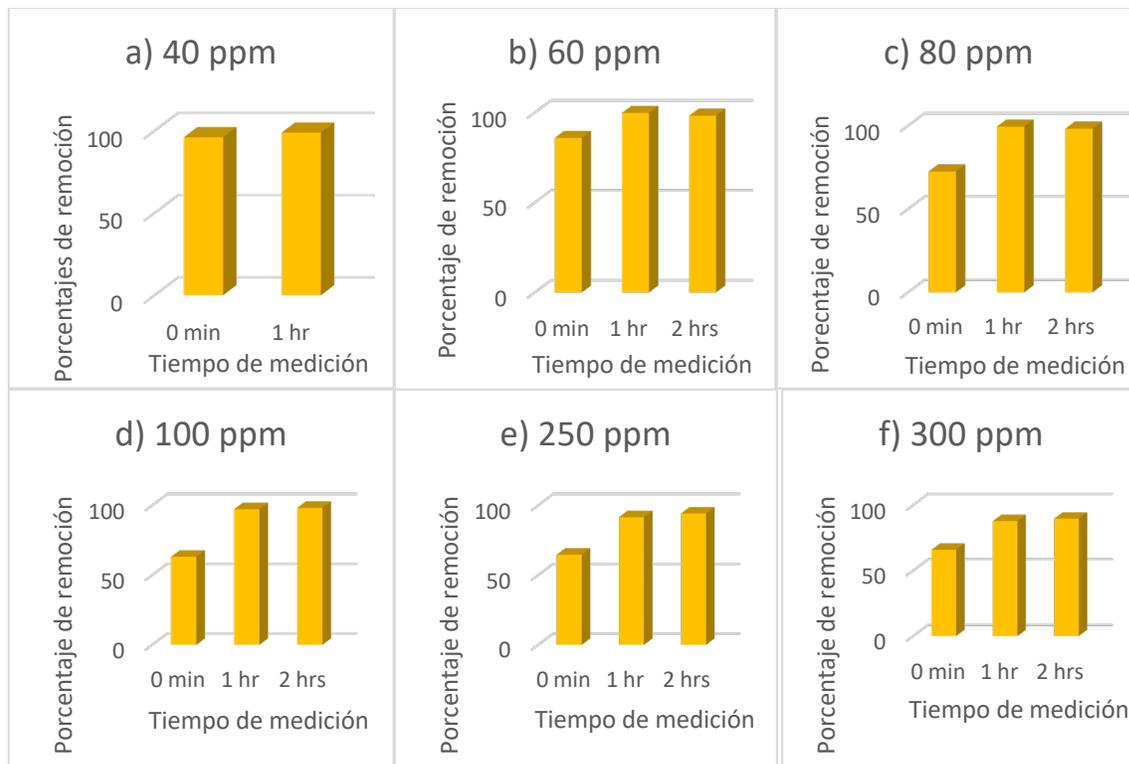


Figura 3. Gráficas con porcentaje de remoción de acuerdo con el tiempo de la medición.

- A) Porcentaje de remoción dentro de un microsistema con 40 ppm de Cr(VI). B) Porcentaje de remoción dentro de un microsistema con 60 ppm de Cr(VI). C) Porcentaje de remoción dentro de un microsistema con 80 ppm de Cr(VI). D) Porcentaje de remoción dentro de un microsistema con 100 ppm de Cr(VI). E) Porcentaje de remoción dentro de un microsistema con 250 ppm de Cr(VI). F) Porcentaje de remoción dentro de un microsistema con 300 ppm de Cr(VI).

Como podemos observar en las gráficas de la Figura 3, a 40 ppm, la remoción inicial es del 95.96%, lo que sugiere una saturación mínima de los sitios de adsorción, permitiendo un rápido inicio del proceso. Con la concentración de 60 ppm, la eficiencia inicial baja al 85.89%, pero aún es considerable, alcanzando un 99.76% después de 1 hora, lo que indica una mayor capacidad del sistema para manejar concentraciones más altas. En concentraciones más altas, como 80 ppm y 100 ppm, se observa una disminución más pronunciada en la remoción inicial (72.43% y 63.10%, respectivamente). Esto indica una mayor saturación de los sitios activos desde el principio, lo que explica la eficiencia inicial más baja [Awasthi et al., 2017].

Esto sugiere que, aunque la biomasa de kombucha tiene una alta capacidad de adsorción, a concentraciones más altas de Cr (VI), los sitios activos se saturan más rápidamente, lo que limita la capacidad de remoción en los primeros momentos del proceso [Awasthi et al., 2017].

La remoción rápida observada en concentraciones bajas es indicativa de un proceso de adsorción de primer orden, donde la tasa de remoción es proporcional a la concentración de Cr(VI) presente en la solución. Sin embargo, a concentraciones más altas (250 ppm y 300 ppm), el comportamiento del sistema parece alinearse más con un modelo, en el cual la tasa de remoción depende de la ocupación de los sitios de adsorción disponibles [Kumar & Bishnoi, 2017]. A concentraciones más bajas (40 ppm y 60 ppm), se alcanza casi el 100% de remoción en 1 hora, lo que indica una rápida adsorción en la primera fase del proceso. La saturación de los sitios activos no es un factor limitante en estas concentraciones [Awasthi et al., 2017]. Con concentraciones de 250 ppm y 300 ppm, se observan mayores tiempos para alcanzar la saturación de los sitios activos, con una remoción máxima de 94.09% y 89.56%, respectivamente, después de 2 horas. Esto sugiere que, a concentraciones más altas, la cinética del proceso cambia, probablemente debido a la competencia por los sitios de adsorción.

Para comprender mejor la naturaleza del proceso de adsorción, se pueden ajustar los resultados a los modelos de isoterma de Langmuir y Freundlich. El modelo de Langmuir asume una adsorción en una capa monomolecular sobre una superficie homogénea, mientras que el modelo de Freundlich es más adecuado para superficies heterogéneas con diferentes energías de adsorción.

Conclusión:

La alta capacidad de remoción (hasta 99.76% a 60 ppm en 1 hora) demuestra que los exopolisacáridos de kombucha son un adsorbente altamente eficiente para la eliminación de Cr(VI) en soluciones acuosas. Este nivel de eficiencia, combinado con los tiempos relativamente cortos para lograr la remoción completa, hace que este biomaterial sea una alternativa viable a los métodos convencionales de tratamiento, como la precipitación química o la filtración con membranas.

Desde una perspectiva económica, el uso de biomasa derivada de la kombucha para la remoción de metales pesados representa un método de bajo costo en comparación con las tecnologías tradicionales. Además, la naturaleza biológica del proceso sugiere que este método podría tener un impacto ambiental positivo, ya que no genera subproductos tóxicos ni requiere el uso de reactivos químicos peligrosos.

Desde el punto de vista ambiental, la aplicación de este método en industrias como la minería o el curtido podría reducir significativamente las concentraciones de Cr(VI) en los efluentes, minimizando los riesgos para los cuerpos de agua y los suelos adyacentes.

De acuerdo con las normativas ambientales, como la NOM-001-SEMARNAT-1996, el límite máximo permisible de Cr(VI) en aguas residuales industriales es de 0.5 mg/L, mientras que para agua potable, la norma establece un límite de 0.05 mg/L. Estos niveles son considerablemente menores que las concentraciones iniciales evaluadas en este estudio. Los resultados obtenidos, con una remoción de hasta el 98%, sugieren que la biomasa de kombucha podría reducir las concentraciones de Cr(VI) por debajo de los niveles permitidos, posicionándose como una alternativa eficaz y económica para el tratamiento de efluentes industriales contaminados. Además de los logros demostrados en este estudio, se propone para futuras investigaciones la evaluación de la capacidad de remoción en sistemas a mayor escala y en condiciones industriales reales. También será relevante investigar la optimización del proceso de adsorción para concentraciones más elevadas de Cr(VI), a fin de ampliar su aplicabilidad en diferentes contextos industriales.

La investigación demuestra que la biomasa de kombucha es un material de adsorción altamente efectivo para la remoción de Cr(VI), especialmente en concentraciones bajas a moderadas. La eficiencia decreciente observada en concentraciones más altas resalta la necesidad de optimizar el proceso para escenarios industriales con altos niveles de contaminación. Sin embargo, la rapidez del proceso y la alta capacidad de remoción sugieren que los exopolisacáridos de kombucha tienen un gran potencial para ser implementados en aplicaciones de biorremediación.

Referencias

- Awasthi M. et al. (2017). Bioremediation of hexavalent chromium in industrial effluents using microbial biofilms: A sustainable approach. *Journal of Environmental Management*, 204, 742-753. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.012>
- Gupta, S. K., & Rastogi, A. (2018). Removal of hexavalent chromium from aqueous solutions by biosorption using kombucha-derived biomass. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(13), 12312-12320. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1517-1>
- Kumar, R., & Bishnoi, N. R. (2017). Hexavalent chromium remediation by microbial biomass and biomolecules: A comprehensive review. *Journal of Hazardous Materials*, 340, 448-462. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.06.023>
- Saha, R., Nandi, R., & Saha, B. (2011). Sources and toxicity of hexavalent chromium. *Journal of Coordination Chemistry*, 64(10), 1782-1806. <https://doi.org/10.1080/00958972.2011.583646>
- Sharma, P., & Tomar, R. (2019). Application of exopolysaccharides in bioremediation of heavy metals from wastewater: A review. *Environmental Science and Technology*, 53(2), 622-636. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b04547>
- Zhao, M., & Wang, L. (2020). Bioremediation of heavy metals using microbial exopolysaccharides: Mechanisms and applications. *Biotechnology Advances*, 43, 107568. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107568>

