



# Cinética de adsorción de Cr<sup>3+</sup>, Cr<sup>6+</sup> y Pb<sup>2+</sup> en fibra natural biosorbente

## Autores

Parra Reyes, J.A. (UNIVERSIDAD DEL CAUCA) ; Pérez, E.H. (UNIVERSIDAD DEL CAUCA)

## Resumo

Se evaluó la capacidad de adsorción de la fibra de fique (*Furcraea* sp.) en la remoción de las especies metálicas Cr<sup>3+</sup>, Cr<sup>6+</sup> y Pb<sup>2+</sup> en muestras de agua, determinando los modelos matemáticos que explican la isoterma de adsorción y el modelo cinético que sigue cada analito al interaccionar con el biosorbente. Los resultados obtenidos muestran que la fibra de fique presenta una buena capacidad de adsorción de los analitos estudiados, con q<sub>max</sub> de 123,81 mg/g para Cr<sup>3+</sup>; 2,56 mg/g para Cr<sup>6+</sup> y 125,37 mg/g para Pb<sup>2+</sup>. Así mismo y de acuerdo a los modelos cinéticos ajustados a cada especie metálica, los analitos Cr<sup>3+</sup> y Pb<sup>2+</sup> evidencian quimisorción, mientras que para Cr<sup>6+</sup> se sugieren interacciones de fisorción y electrostáticas entre la fibra y el metal.

## Palavras chaves

*Residuo agroindustrial de; Biosorción; Especies metálicas*

## Introdução

Las fibras vegetales, especialmente las plantas fibrosas, se han empleado como materiales textiles y papeleros, destacando en estos usos fibras como lino, paja de arroz, agave, yute y algodón (VIDAL; HORMAZÁBAL, 2016). En Colombia se destaca la cabuya, fibra extraída de la planta de fique (*Furcraea* sp.) como una de las fibras de mayor demanda por su uso en la elaboración de materiales de amarre y confección de telas de embalaje y sacos de empaque (ECHEVERRI-ECHEVERRI et al., 2015). Según reportes del Ministerio de Agricultura de Colombia (2021) en el año 2020 habían 15790 ha cultivadas con fique en todo el país, donde el departamento del Cauca representa un 37% del área sembrada de fique (5780 ha) y un 36% de la producción de cabuya (7043 Ton). Sin embargo, solo el 4% del peso total de la hoja es aprovechado durante el proceso de desfibrado como cabuya en las aplicaciones comerciales, mientras que el 96% restante corresponde a subproductos agroindustriales (jugo y bagazo), los cuales son desaprovechados y eliminados directamente en el ambiente causando problemas de contaminación (OVALLE-SERRANO et al., 2018; QUINTERO et al., 2012). Diversos estudios realizados sobre la fibra de fique muestran su potencial en diversos procesos como la producción de nano fibras poliméricas (GUANCHA- CHALAPUD et al., 2020) y resinas renovables (MINA HERNANDEZ et al., 2020), así como su aplicación como material adsorbente lignoceluloso en la biosorción del fungicida clorotalonil (QUINCHÍA-FIGUEROA et al., 2010); esto permite plantear su uso como un proceso alternativo para la remoción de contaminantes, entre ellos metales pesados, a diferencia de otros procesos convencionales como la precipitación química y la extracción con solventes orgánicos (ABDOLALI et al., 2014). Los procesos de biosorción permiten una captación pasiva de moléculas en su superficie mediante la interacción con los componentes poliméricos principales como son la celulosa y la lignina, además de ventajas económicas al emplear fuentes vegetales disponibles en la región, lo cual ha permitido diversificar la utilización de diversos materiales en la implementación de esta técnica (TRAN et al., 2016). Algunos

materiales lignocelulosos estudiados en los procesos de biosorción de metales pesados presentan baja capacidad de adsorción como en el caso del Cu (4,64 mg/g) en paja de cebada (PEHLIVAN et al., 2012), Ni (16,34 mg/g) en cascara de coco (SOUSA et al., 2010) y Zn (7,84 mg/g) en bagazo de agave (VELAZQUEZ-JIMENEZ et al., 2013). Por lo tanto, se evaluó la implementación de los residuos del aprovechamiento agroindustrial del fique como biomaterial biosorbente de las especies metálicas Cr3+, Cr6+ y Pb2+ en muestras acuosas, caracterizando las propiedades fisicoquímicas que más influyen en el proceso y su influencia en los modelos matemáticos de isotermas de adsorción y ajuste del modelo cinético.

## Material e métodos

El residuo agroindustrial de fique se obtuvo de una empresa especializada en el aprovechamiento de la cabuya en el municipio de Popayán (Colombia), posteriormente se realizó un tratamiento de adecuación de la muestra (lavado, secado, molienda y tamizaje) y se caracterizaron los grupos funcionales presentes en la fibra usando espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), la caracterización superficial empleando microscopia de barrido electrónico (SEM) y los parámetros fisicoquímicos por protocolos establecidos y basados en normas internacionales (AOAC, 1990). Caracterizada la fibra y de acuerdo con parámetros previamente optimizados, se determinó la máxima capacidad de adsorción de los analitos en las muestras de fique, para lo cual se seleccionaron 5 niveles de concentración para Cr3+, Cr6+ y Pb2+ (10, 25, 50, 75 y 100 mg/L), donde el estimado de cada metal adsorbido se estableció por la diferencia entre la concentración de metal suministrado y la concentración del metal que permaneció en la solución una vez se alcanzó el equilibrio. Los datos experimentales obtenidos fueron ajustados a los modelos matemáticos de Langmuir, Freundlich, Redlich-Petersone y Sips, determinando la capacidad máxima de adsorción y la afinidad del biosorbente para cada especie metálica con base en el modelo con el mejor ajuste lineal de acuerdo con coeficiente de determinación. Finalmente se determinó la cinética de biosorción de las especies metálicas, donde se varió el tiempo de adsorción entre 0 y 240 minutos, con el fin de determinar la influencia de este parámetro en el proceso de biosorción. Una vez obtenidos los resultados se aplicaron las ecuaciones de pseudo-primer orden, pseudo-segundo orden y Elovich para determinar cuál de las ecuaciones describe mejor el proceso de biosorción de cada especie metálica. La cuantificación de cada especie metálica se realizó con un espectrofotómetro de absorción atómica con accesorio de ionización por llama, donde los resultados se analizaron con un nivel de confianza > 95% y empleando el software estadístico IBM SPSS STATISTICS versión 23.

## Resultado e discussão

Los resultados obtenidos para la caracterización fisicoquímica de la fibra de fique (tabla 1) muestran que el elemento con mayor contenido porcentual de la fibra es el carbono con un 48,95 %, teniendo en cuenta que muchos grupos funcionales responsables de la unión de iones metálicos en la superficie de los biosorbentes contienen un gran porcentaje de carbono, como los grupos carboxílicos (-COOH), amida (-CONH2) o carbonilo (R-C=O), los cuales se encuentran presentes en la fibra de acuerdo con el espectro infrarrojo (figura 1), por lo que la retención de los metales se verá favorecida por el contenido de carbono presente en la fibra de fique (BATISTA et al., 2009). La micrografía SEM (figura 2) permite observar que la fibra de fique está recubierta por estructuras ordenadamente empaquetadas de forma rectangular, que se presenta como una fibra rugosa, de aspecto rígido y heterogénea, los cuales no presentan homogeneidad debido a la presencia de compuestos como lignina, hemicelulosa y pectina, entre otros, que actúan como aglutinantes impidiendo la desfibrilación de las cadenas de celulosa. El análisis del proceso de biosorción de las especies metálicas estudiadas (tabla 2) permitió establecer la capacidad que tiene la fibra de fique, observando que los porcentajes de adsorción de Pb2+ son mayores al 95% en todo el rango de concentraciones, siguiendo una tendencia exponencial; comportamiento similar muestra el Cr3+ con porcentajes de adsorción mayores al 83 % . Sin embargo, los resultados obtenidos para el Cr6+ muestran que a medida que su concentración aumenta, disminuye la capacidad de retención de la fibra por este metal, su adsorción varió entre el 15 y el 57 %. Estos datos son significativos teniendo en cuenta que la fibra cuenta con un alto porcentaje de carbono, así como de grupos funcionales derivados de carbonilos de la lignina, los cuales tienen una alta afinidad para retener estos iones metálicos y que la heterogeneidad de la superficie de la fibra puede contribuir a que se presenten diferentes interacciones superficiales, electrostáticas y químicas que permitan la unión de las especies metálicas con la fibra. Una vez elaboradas las isotermas de biosorción (Figuras 3 - 5), se observa que la interacción de los metales estudiados con el material lignocelulósico de fique muestra que la forma de las isoterma es de tendencia exponencial en el rango estudiado, las cuales se ajustan a los modelos matemáticos de Sips (Cr3+ y Pb2+) y Freundlich (Cr6+) las cuales consideran que la superficie del material es heterogénea, con sitios activos de diferente energía, lo que sugiere una adsorción en

multicapa (FARNANE et al., 2018). Así mismo se determinó la capacidad máxima de adsorción (q<sub>max</sub>) de 123,81 mg/g para Cr<sup>3+</sup>; 2,56 mg/g para Cr<sup>6+</sup> y 125,37 mg/g para Pb<sup>2+</sup>. El análisis de la cinética de biosorción de cada especie metálica muestra gráficamente que para los metales estudiados los modelos de pseudo primero orden y Elovich son los que mejor se ajustan a los resultados experimentales de cada proceso (figuras 6 – 8), después de lo cual se determinó matemáticamente que el modelo que mejor se ajustó a la cinética de Cr<sup>3+</sup> y Pb<sup>2+</sup> fue la ecuación de Elovich, la cual indica procesos de quimisorción entre estas especies metálicas y la fibra de fique; mientras que para el caso de Cr<sup>6+</sup> el modelo de pseudo- primer orden fue el que mejor describe los resultados cinéticos de biosorción, la cual indica que a cada ion metálico ocupa un sitio de adsorción del material biosorbente y se generan interacciones características de fisorción e interacciones de Van der Waals.

Figuras 1-5

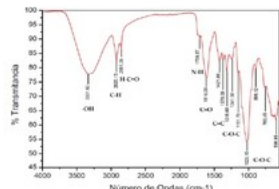


Figura 1. Espectro FTIR de la fibra de fique

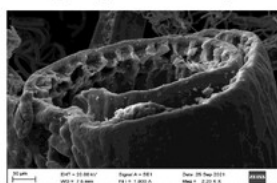


Figura 2. Micrografía SEM de la fibra de fique

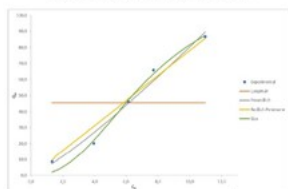


Figura 3. Isotermas de biosorción de Cr<sup>3+</sup>

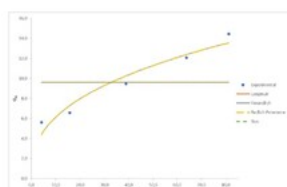


Figura 4. Isotermas de biosorción de Cr<sup>6+</sup>

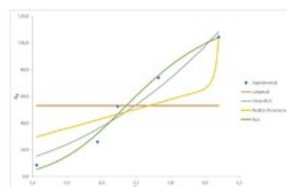


Figura 5. Isotermas de biosorción de Pb<sup>2+</sup>

Tablas 1-2 y Figuras 6-8

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de la fibra de fique

Parámetro / Análisis	Resultado porcentual (%)
Humedad	11,73 ± 0,08
Cenizas	7,37 ± 0,05
Carbono	48,93 ± 7,81
Nitrogeno	0,72 ± 0,02
Fibra	0,22 ± 0,01
Azufre	3,12 ± 0,42
Otros elementos	27,89 ± 0,79

Tabla 2. ANOVA para el diseño de Plackett-Burman de biosorción de Hg<sup>2+</sup>

Especie metálica	Concentración suministrada (mg/L)	Concentración Adsorbida (µg/g)	% Adsorción
Cr <sup>3+</sup>	20	8,62 ± 0,23	86,78 ± 2,16
	25	20,14 ± 0,77	83,63 ± 3,21
	50	46,22 ± 0,90	88,26 ± 1,73
	75	43,58 ± 1,31	89,23 ± 1,78
	100	86,66 ± 0,65	88,75 ± 0,67
Cr <sup>6+</sup>	10	5,60 ± 0,19	57,18 ± 1,66
	25	6,57 ± 0,13	29,90 ± 0,94
	50	9,45 ± 1,06	19,53 ± 4,57
	75	12,08 ± 2,99	15,50 ± 3,93
	100	14,44 ± 2,07	15,10 ± 4,58
Pb <sup>2+</sup>	10	8,65 ± 0,51	95,46 ± 5,28
	25	26,03 ± 0,25	97,79 ± 0,95
	50	32,58 ± 0,24	98,78 ± 0,95
	75	73,97 ± 0,25	98,97 ± 0,34
	100	104,37 ± 0,25	99,11 ± 0,24

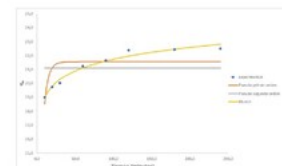


Figura 6. Cinética del proceso de biosorción de Cr<sup>3+</sup>

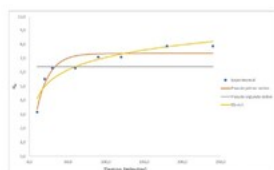


Figura 7. Cinética del proceso de biosorción de Cr<sup>6+</sup>

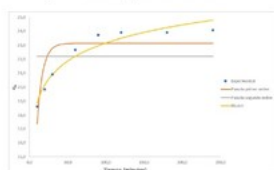


Figura 8. Cinética del proceso de biosorción de Pb<sup>2+</sup>

## Conclusões

Los datos experimentales obtenidos en este estudio muestran que el residuo agroindustrial de fique tiene un alto potencial para ser utilizado en los procesos de biosorción de las especies metálicas estudiadas, lo cual puede ser una evidencia relevante en aspectos ambientales para el tratamiento de aguas, destacándose la alta capacidad de adsorción de Cr<sup>3+</sup> (123,81 mg/g) y Pb<sup>2+</sup> (125,37 mg/g). Los datos encontrados indican que la fibra de fique muestra un proceso de adsorción de los metales estudiados que puede ser descrita por adsorciones en multicapa, superficie heterogénea y con diferentes interacciones de unión entre la fibra y el metal, como quimisorción, fisiorción e interacciones electrostáticas, de acuerdo con los modelos cinéticos y las isothermas encontradas para cada especie metálica.

## Agradecimientos

Al departamento de química, grupo de Investigación Agroquímica, Unidad de Análisis Industriales de la Universidad del Cauca y al laboratorio de Análisis Ambientales SENA Cauca.

## Referências

ABDOLALI, A.; GUO, W. S.; NGO, H. H.; CHEN, S. S.; NGUYEN, N. C.; TUNG, K. L. Bioresource Technology Typical lignocellulosic wastes and by-products for biosorption process in water and wastewater treatment: A critical review. *Bioresource Technology*, 160, p. 57–66, 2014.

AOAC: ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis. In K. Helrich (Ed.), Association of Official Analytical Chemists (15th ed.), 2015.

BATISTA, A. P. S.; ROMÃO, L. P. C.; ARGUELHO, M. L. P. M.; GARCIA, C. A. B.; ALVES, J. P. H.; PASSOS, E. A.; ROSA, A. H. Biosorption of Cr (III) using in natura and chemically treated tropical peats. *Journal of Hazardous Materials*, 163(2–3), p. 517–523, 2009.

ECHEVERRI ECHEVERRI, R. D.; FRANCO MONTOYA, L. M.; GONZÁLEZ VELÁSQUEZ, M. R. (2015). Fique en Colombia (Instituto Tecnológico Metropolitano (ed.); 1st ed.). Fondo Editorial ITM.

FARNANE, M; MACHROUHI, AICHA; ELHALIL, ALAËDDINE; ABDENNOURI, M; QOURZAL, S; TOUNSADI, HANANE; BARKA, NOUREDDINE. New sustainable biosorbent based on recycled deoiled carob seeds: optimization of heavy metals remediation. *Journal of Chemistry*, v. 4, p. 1–16, 2018.

GUANCHA-CHALAPUD, M. A.; GÁLVEZ, J., SERNA-COCK, L.; AGUILAR, C. N. Valorization of Colombian fique (*Furcraea bedinghausii*) for production of cellulose nanofibers and its application in hydrogels. *Scientific Reports*, 10(1), p. 1–11, 2020.

MINA HERNANDEZ, J. H.; TORO PEREA, E. F.; MEJÍA CAICEDO, K.; MENESES JACOBO, C. A. Effect of fique fibers in the behavior of a new biobased composite from renewable Mopa-Mopa Resin. *Polymers*, 12(7), p. 1–15, 2020.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Cadena agroindustrial del fique 2014-2020. 2021.  
[http://www.agronet.gov.co/www/docs\\_agronet/2008519105246\\_BULLETS\\_CADEFIQUE\\_2008.pdf](http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2008519105246_BULLETS_CADEFIQUE_2008.pdf)

OVALLE-SERRANO, S. A.; BLANCO-TIRADO, C.; COMBARIZA, M. Y. Exploring the composition of raw and delignified Colombian fique fibers, tow and pulp. *Cellulose*, 25(1), p. 151–165, 2018.

PEHLIVAN, E.; ALTUN, T.; PARLAYICI, S. Modified barley straw as a potential biosorbent for removal of copper ions from aqueous solution. *Food Chemistry*, 135(4), p. 2229–2234, 2012.

QUINCHÍA-FIGUEROA, A. M.; RAMIREZ-CARDONA, M. E.; TAFURT-GARCÍA, G. Biosorption of Chlorothalonil on Fique's Bagasse (*Furcraea* sp.): Equilibrium and Kinetic Studies. *Journal of Materials Science and Engineering*, 4(6), p. 1–8, 2010.

QUINTERO, M.; CASTRO, L.; ORTIZ, C.; GUZMÁN, C.; ESCALANTE, H. Enhancement of starting up anaerobic digestion of lignocellulosic substrate: Figue's bagasse as an example. *Bioresource Technology*, 108, p. 8–13, 2012.

SOUSA, F. W.; OLIVEIRA, A. G.; RIBEIRO, J. P.; ROSA, M. F.; KEUKELEIRE, D.; NASCIMENTO, R. F. Green coconut shells applied as adsorbent for removal of toxic metal ions using fixed-bed column technology. *Journal of Environmental Management*, 91(8), p. 1634–1640, 2010.

TRAN, H. T.; VU, N. D.; MATSUKAWA, M.; OKAJIMA, M.; KANEKO, T.; OHKI, K.; YOSHIKAWA, S. Heavy metal biosorption from aqueous solutions by algae inhabiting rice paddies in Vietnam. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(2), p. 2529–2535, 2016.

VELAZQUEZ-JIMENEZ, L. H.; PAVLICK, A.; RANGEL-MENDEZ, J. R. Chemical characterization of raw and treated agave bagasse and its potential as adsorbent of metal cations from water. *Industrial Crops and Products*, 43(1), p. 200–206, 2013.

VIDAL, G.; HORMAZÁBAL, S. *Las Fibras Vegetales y sus aplicaciones*. Sello Editorial Universidad de Concepción, 2016.

## Patrocinador Ouro



## Patrocinador Prata



## Patrocinador Bronze

## Apoio

