



# Aplicación de diseños experimentales al proceso de biosorción de Hg<sup>2+</sup> empleando el residuo agroindustrial de fique

## Autores

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

## Resumo

Se evaluó la aplicación de los DoE Plackett-Burman y Box-Behnken en la capacidad de adsorción de la fibra de fique en la remoción de Hg<sup>2+</sup> en muestras de agua, optimizando los factores que tienen más efecto significativo. Posteriormente se determinó los modelos matemáticos que explican la isoterma de adsorción y el modelo cinético que sigue el Hg<sup>2+</sup> al interaccionar con el fique. Los resultados obtenidos muestran que la fibra de fique presenta una buena capacidad de adsorción de Hg<sup>2+</sup>, el cual se ajustó al modelo de Freundlich que explica un proceso de biosorción multicapa en superficies heterogéneas, con una capacidad máxima de adsorción 8,60 mg/g. Así mismo, el modelo cinético que mejor se ajustó fue el de Elovich, lo que indica que hay quimisorción de este metal en la fibra de fique.

## Palavras chaves

*Fique; Biosorción; Mercurio*

## Introdução

El mercurio es un metal tóxico, el cual forma amalgamas con metales como: oro, plata, cobre y potasio entre otros, que se liberan de forma natural al ambiente como resultado de la ruptura de minerales de rocas y suelos por exposición al viento y agua, sin embargo, debido a actividades antropogénicas se incrementa su presencia en el agua principalmente la minería (FOWLER & ZALUPS, 2022). Las tecnologías de tratamiento de aguas superficiales empleadas actualmente para la remoción de metales pesados son la precipitación química, intercambio iónico, filtración con membrana y procesos electroquímicos entre otras, siendo estas eficientes en la remoción de metales, pero a su vez producen lodos que contienen compuestos tóxicos cuya disposición final es difícil de controlar, generando costos elevados por su almacenaje (KANAMARLAPUDI et al., 2018). En busca de desarrollar sistemas amigables con el ambiente para la mitigación de contaminantes en efluentes, se han trabajado con tecnologías verdes que tienen como características su naturaleza económica, reutilización y biodegradabilidad de materias primas, dentro de las cuales se destacan la utilización de algas, los hongos, las cepas bacterianas y principalmente los desechos y residuos agrícolas (ADENIYI & IGHALO, 2019). Por lo tanto, se planteó en este trabajo estudiar el uso del residuo agroindustrial de la fibra de fique como biosorbente en la remoción de mercurio en muestras de agua, optimizando mediante los diseños experimentales (DoE) de Plackett Burman y Box-Behnken las condiciones fisicoquímicas para lograr la mayor remoción de este metal, además de estudiar el modelamiento de la biosorción del metal mediante ecuaciones matemáticas que describen las distintas isotermas de adsorción y modelos cinéticos.

## Material e métodos

Para identificar los factores con mayor efecto significativo en el proceso de biosorción de Hg<sup>2+</sup> en el residuo de la fibra de fique, se utilizó un diseño de Plackett-Burman para descartar las variables que no son significativas en este proceso (Tabla 1). Una vez verificados los parámetros que más influyen en la biosorción, se desarrolló un diseño experimental Box-Behnken con el fin de encontrar los valores óptimos de las variables para implementar el proceso de biosorción, determinándose posteriormente la máxima capacidad de adsorción. 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 Hg<sup>2+</sup>, basándose en el modelo con el mejor ajuste lineal de acuerdo con el coeficiente de determinación. Para evidenciar la cinética de biosorción de se mantuvo constante los parámetros optimizados excepto el tiempo con el fin de determinar la influencia de este en el proceso de biosorción, aplicando las ecuaciones de pseudo-primer orden, pseudo-segundo orden y Elovich para determinar cuál de las ecuaciones describe mejor el proceso de biosorción de mercurio. La cuantificación de Hg<sup>2+</sup> se realizó con un espectrofotómetro de absorción atómica con accesorio de ionización por vapor frío, los resultados se analizaron con un nivel de confianza > 95% y empleando el software estadístico IBM SPSS STATISTICS versión 23.

## Resultado e discussão

Los datos obtenidos del diseño de Plackett-Burman ANOVA (tabla 2) muestran que el factor del volumen de solución es el más significativo ( $p < 0,05$ ) para la biosorción de Hg<sup>2+</sup> y se corrobora gráficamente mediante el uso del diagrama de Pareto (figuras 1) Sin embargo, la fibra de fique tiene una alta capacidad de retención de agua, lo que disminuye el volumen que puede cuantificarse en la solución, lo que genera mayor error en la determinación de Hg<sup>2+</sup>. Por lo tanto, se dejan fijos los factores de volumen (30,0 mL), temperatura (25,0 °C) y cantidad de adsorbente (1,0000 g). La optimización de los factores pH, tiempo y tamaño de partícula mediante el empleo del diseño Box-Behnken muestra que el tiempo es el factor que más influye en la biosorción de este metal, debido a que su interacción cuadrado es el efecto más significativo, de acuerdo con ANOVA (tabla 3) y Pareto (figura 2), además la gráfica de probabilidad normal (figura 3) muestra que el tiempo presenta un coeficiente negativo, por lo que a un valor bajo o intermedio del factor se aumenta el porcentaje de adsorción. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, los parámetros optimizados son un pH de 4,0, tiempo de 248 minutos y tamaño de partícula 200  $\mu\text{m}$ , como se aprecia en el gráfico de superficie de respuesta (figura 4). Los estudios de adsorción mostraron que la fibra de fique presenta un porcentaje de adsorción superior al 88 % de cada uno de los niveles de concentración estudiados, encontrando que la isoterma que mejor se ajusta al comportamiento del proceso es la de Freundlich (figura 5) y el modelo cinético de Elovich (figura 6), lo que permite sugerir que la biosorción se genera en multicapa, con superficie heterogénea e interacciones de quimisorción entre el metal y la fibra.

Tablas 1-3

Tabla 1. Factores analizados en el diseño Plackett-Burman para la biosorción de las especies metálicas

Variable / Factor	Niveles del Factor	
	Bajo (-1)	Alto (+1)
Temperatura (°C)	5,0 ± 1,0	25,0 ± 1,0
Tiempo (Minutos)	30 ± 1,0	480 ± 1,0
pH	4,0 ± 0,1	10,0 ± 0,1
Volumen de solución (mL)	15,0 ± 0,1	30,0 ± 0,1
Tamaño de partícula ( $\mu\text{m}$ )	$\leq 200$	$\leq 1000$
Cantidad de biosorbente (g)	1,0000 ± 0,0002	2,0000 ± 0,0002

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

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	972,92	162,15	3,22	0,027
Lineal	6	972,92	162,15	3,22	0,027
Temperatura (°C)	1	67,69	67,69	1,34	0,262
Tiempo (min.)	1	144,27	144,27	2,87	0,109
pH	1	104,40	104,40	2,07	0,168
Volumen Solución (mL)	1	406,65	406,65	8,08	0,011
Cantidad Biosorbente (g)	1	32,13	32,13	1,63	0,219
Tamaño Partícula ( $\mu\text{m}$ )	1	167,76	167,76	3,33	0,086
Error	17	355,97	30,35		
Falta de ajuste	5	583,02	116,60	5,13	0,010
Error puro	12	272,96	22,75		
Total	23	1828,89			

Tabla 3. ANOVA para el diseño de Box-Behnken de biosorción de Hg<sup>2+</sup>

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	502,069	55,783	2,55	0,039
Lineal	3	9,512	3,171	0,14	0,932
pH	1	0,625	0,625	0,03	0,867
Tiempo (Minutos)	1	0,164	0,164	0,01	0,932
Tamaño Partícula ( $\mu\text{m}$ )	1	8,722	8,722	0,40	0,535
Cuadrado	3	439,403	146,468	6,70	0,003
pH <sup>2</sup>	1	20,989	20,989	0,96	0,339
Tiempo (Minutos) <sup>2</sup>	1	327,159	327,159	14,96	0,001
Tamaño Partícula ( $\mu\text{m}$ ) <sup>2</sup>	1	99,216	99,216	4,26	0,052
Interacción de 2 Factores	3	53,155	17,718	0,81	0,503
pH*Tiempo (Minutos)	1	0,516	0,516	0,02	0,879
pH*Tamaño Partícula ( $\mu\text{m}$ )	1	30,313	30,313	1,39	0,253
Tiempo (Minutos)*Tamaño Partícula ( $\mu\text{m}$ )	1	22,326	22,326	1,02	0,324
Error	20	417,396	21,870		
Falta de ajuste	3	42,785	14,262	0,61	0,615
Error puro	17	394,612	23,212		
Total	29	939,465			

## Figuras 1-6

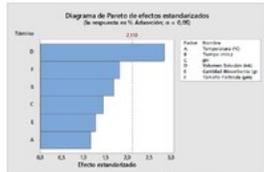


Figura 1. Diagrama de Pareto para el  $Hg^{2+}$  obtenido con el diseño Plackett-Burman

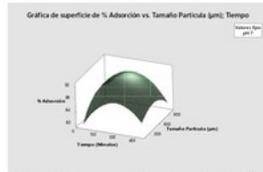


Figura 4. Diagrama de superficie para la biosorción de  $Hg^{2+}$  empleando fibra de fique

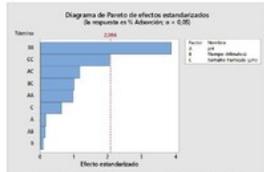


Figura 2. Diagrama de Pareto para la biosorción de  $Hg^{2+}$  obtenido con el diseño Box-Behnken

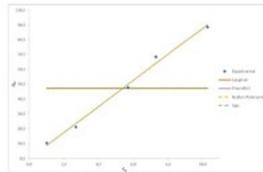


Figura 5. Isotermas de biosorción de  $Hg^{2+}$

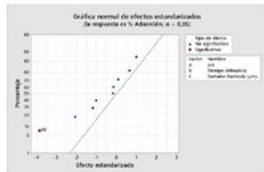


Figura 3. Gráfico normal de efectos para la biosorción de  $Hg^{2+}$  obtenido con el diseño Box-Behnken

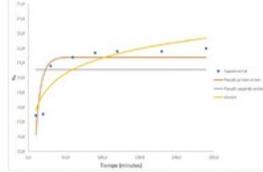


Figura 6. Cinética del proceso de biosorción de  $Hg^{2+}$

## Conclusões

La aplicación de DoE generó las condiciones óptimas de cada factor que permitió obtener el mayor porcentaje de adsorción de  $Hg^{2+}$  en agua, que permite obtener resultados reproducibles y estadísticamente significativos. El modelamiento de biosorción muestra que la fibra de fique presenta una buena capacidad de adsorción de  $Hg^{2+}$ , ajustándose a los modelos de Freundlich y Elovich que explican procesos de biosorción química, en multicapa y heterogénea con una capacidad máxima de adsorción de 8,60 mg/g.

## Agradecimentos

Al departamento de química, grupo de Agroquímica, la Unidad de Análisis Industriales y el laboratorio de Análisis Ambientales SENA Cauca por permitir realizar análisis en sus instalaciones.

## Referências

ADENIYI, A. G.; IGHALO, J. O. Biosorption of pollutants by plant leaves: An empirical review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, n. 7, p. 103100, 2019.

FOWLER, B. A.; ZALUPS, R. K. Mercury. In *Handbook on the Toxicology of Metals*, p. 539–599, 2022.

KANAMARLAPUDI, S. L. R. K., CHINTALPUDI, V. K.; MUDDADA, S. Application of Biosorption for Removal of Heavy Metals from Wastewater. In *Biosorption*, p. 69–116, 2018.

## Patrocinador Ouro

## **Patrocinador Prata**

## **Patrocinador Bronze**

# Apoio



Copyright © 2022 All Rights Reserved by ABQ