



Bioingeniería ambiental aplicada a una columna empacada con *Chlorella sp.* inmovilizada para la remoción de metales pesados

MA. TERESA GARZA GONZÁLEZ*, VERÓNICA ALMAGUER CANTÚ*,
JAVIER RIVERA DE LA ROSA*, JOSÉ ÁNGEL LOREDO MEDRANO*

Las actividades industriales generan una contaminación a gran escala con metales pesados (Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, entre otros) en el medio ambiente. Los mantos acuíferos y las aguas superficiales pueden comprometer seriamente el uso de este recurso como fuente para el consumo humano¹, y causar serios daños en la integridad de los sistemas acuáticos y recursos hídricos.

Las tecnologías actuales para la eliminación de metales son extremadamente caras o complicadas, especialmente en disoluciones con menos de 100 mgL⁻¹ de metales.² Además, estos métodos generan lodos altamente tóxicos y difíciles de tratar.³ Consecuentemente, urge encontrar nuevas tecnologías o materiales para remover metales.

Entre los materiales más promisorios se encuentra la biomasa de algas, ya que es un material abundante, fácil de obtener y presenta sitios ligantes de iones metálicos.^{4,5}

En la actualidad, se busca implementar de manera eficiente el uso de biomasa microbiana para la remoción y recuperación de metales pesados presentes en agua de desecho industrial.

La inmovilización de biomasa ofrece una técnica potencialmente aplicable en sistemas de columna empacada.⁶ Los soportes utilizados para la inmovilización de la biomasa microbiana son: el agar, la celulosa, los alginatos, las poliacrilamidas, la silica-gel y el glutaraldehído.^{1,7}

Esta forma de trabajo ofrece una técnica potencialmente aplicable para la adsorción de Pb²⁺, ya que facilita la operación en una columna de bioadsorción, en la que se presenta un estado no estacionario que implica una transferencia de masa entre la disolución de Pb²⁺ que se percola a través de la columna empacada.⁸

El objetivo de este trabajo es evaluar la remoción de Pb²⁺ y de disoluciones acuosas, a escala banco de laboratorio, o en una columna empacada con biomasa del alga *Chlorella sp.* inmovilizada en alginato de calcio.

*Escuela de Graduados en Ciencias, FCQ-UANL.
e-mail: tgarza@fcq.uanl.mx

Metodología

Producción e inmovilización de la biomasa

Se inocularon 20 matraces con medio BG-11, con un cultivo puro de *Chlorella sp.*, y se incubaron a temperatura ambiente durante tres semanas en periodos de luz intermitente. La biomasa se separó y se lavó con una solución de NaCl a 85%. Para obtener las esferas de biomasa inmovilizada en alginato de calcio, ésta se mezcló con alginato de sodio a 3%, en una relación 1:1. La suspensión se colocó en una bureta y se dejó gotear sobre una solución de CaCl_2 0.1M. Se adaptaron puntas de diferentes diámetros a la salida de la bureta, a fin de obtener esferas de diferentes tamaños.

Experimentos en microcolumna a nivel laboratorio

Se planteó un diseño factorial 2^3 , en el que las variables a estudiar fueron el tamaño de esfera, pH inicial y concentración de la disolución metálica (tabla I). Se utilizaron columnas de 10 cm de alto por 1 cm de ancho, empacadas con la biomasa inmovilizada, y se hizo pasar la disolución metálica en un flujo ascendente de $1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, los resultados obtenidos en esta parte de la metodología sentaron las bases para las condiciones de experimento en escala banca de laboratorio.

Experimentos en la columna a escala banco de laboratorio

La columna utilizada fue de 50 cm de altura de

Tabla I. Diseño factorial 2^3 para la selección de las condiciones de operación.

Variable	Alto	Bajo
pH	5	2
Tamaño de esfera (mm)	5	2
$[\text{M}^{2+}]$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	500	100

empaques por 5 cm de diámetro de la columna. Se utilizó un flujo ascendente de $40 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, durante 420 minutos, tomando muestras a diferentes tiempos (5, 10, 20, 40, 60, 120, 180, 240, 300, 360 420 min). Las condiciones de operación se presentan en la tabla II.

Técnica analítica

La determinación de la concentración de metal inicial y residual se realizó mediante la técnica de espectroscopía de absorción atómica.

Tabla II. Condiciones de operación de la columna a escala banco de laboratorio.

ϵ	0.3
g biomasa	7.17
S	$2.03 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
Z	0.5 m
Diámetro	0.05 m
W_B	$3.7 \times 10^{-5} \text{ Kg} \cdot \text{mol} \cdot \text{seg}$

Resultados

De acuerdo a los experimentos a nivel laboratorio, se determinó que las condiciones a las que se favorece la remoción de Pb^{+2} fueron a pH 5 y tamaño de esfera de 5 mm.

En la columna empacada a escala banco de laboratorio, con un flujo de $40 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ de la disolución de Pb^{+2} , con el fin de expresar las relaciones de continuidad para el metal en cada una de las fases en una sección de la columna, se resolvió el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales para el balance de materia por diferencias finitas.⁷

Para el sólido:

$$(1-\epsilon)Sdz \frac{\partial c_{Ms}}{\partial t} = (k_x a)(x_M - x_{M0})Sdz \quad (1)$$

Para

$$\epsilon Sc \frac{\partial x_M}{\partial t} = -W_B \frac{\partial x_M}{\partial z} - S(k_x a)(x_M - x_{M0}) \quad (2)$$

Donde ε se refiere a la fracción del volumen de la columna ocupado por el líquido, S es el área de la sección transversal de la columna (vacía), c_{Ms} son los moles de metal adsorbidos por unidad de volumen de fase sólida, x_M es la fracción molar global de metal en la fase fluida, x_{M_0} se refiere a la fracción molar interfacial de metal en la fase fluida, suponiendo que está en equilibrio con c_{Ms} , k_x es el coeficiente de transferencia de masa en la fase fluida, a es el área de contacto por unidad de volumen de relleno de la columna.

Ambas ecuaciones se resuelven simultáneamente con la distribución de equilibrio en la interfase, $x_{M_0} = mc_{As}$, siendo m una constante, y siendo las condiciones límite:

$$\begin{aligned} \text{C.L.}_1 & \text{ para } t' = 0 \quad C_{Ms} = 0 \text{ para cualquier } z > 0 \\ \text{C.L.}_2 & \text{ para } z = 0 \quad x_M = x_{M1} \text{ para cualquier } t' > 0 \end{aligned}$$

Al aplicar el software MATLAB® para la simulación del proceso, se encontró que el coeficiente de transferencia de masa fue $k_x = 1.55 \times 10^9 \text{ kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$. (figura 1)

Asimismo, se determinó la capacidad de adsorción de la columna, y los resultados se muestran en la figura 2, en la que se observa que la

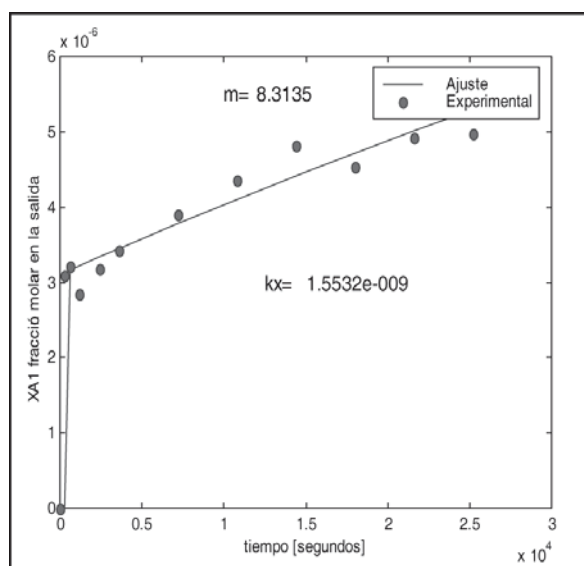


Fig. 1. Biosorción en columna empacada.

biomasa inmovilizada no alcanzó su capacidad máxima al tiempo en que se detuvo la corrida experimental (420 min), lo que indica que la columna tiene una capacidad superior a 200 mg g^{-1} .

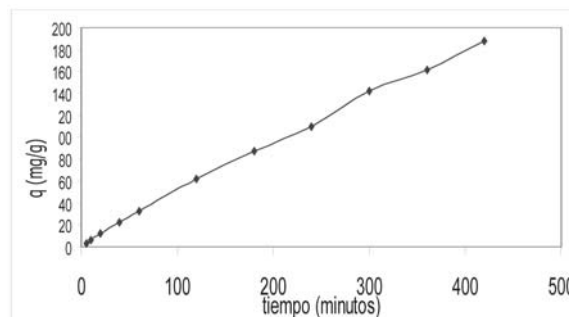


Fig. 2. Capacidad de biosorción de Pb^{2+} de la columna empacada.

Conclusiones

El pH y el tamaño de la esfera influyen en biosorción de Pb^{2+} en la biomasa inmovilizada del alga *Chlorella* sp., independientemente de la concentración de la disolución metálica. La biosorción de Pb^{2+} se favorece en disoluciones metálicas de pH 5 y con esferas de biomasa inmovilizada de 5mm de diámetro.

El coeficiente de transferencia de masa para biosorción de Pb^{2+} en la columna, empacada con biomasa del alga *Chlorella* sp. inmovilizada, fue de $k_x = 1.55 \times 10^9 \text{ kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$, y la capacidad de remoción de la columna fue superior a 200 mg g^{-1} .

Los resultados de este trabajo sugieren que el sistema estudiado es una alternativa atractiva para utilizarse en la remoción de los iones metálicos de medios acuosos contaminados.

Resumen

Se realizaron cinéticas de sorción de Pb^{2+} a escala laboratorio, con una columna empacada con biomasa del alga *Chlorella* sp. inmovilizada en alginato de calcio. Se aplicó un diseño experimental 2^3 al variar el pH, el tamaño de la esfera y la

concentración de Pb^{2+} . Posteriormente, la biosorción de Pb^{2+} se estudió en el mismo sistema a escala banco de laboratorio, con un flujo de $40 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$. Se determinó que las mejores condiciones de operación para la biosorción fueron pH 5 y un tamaño de esfera de 5 mm de diámetro, tanto en 100 y $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. El coeficiente de transferencia de masa se determinó al ajustar los datos experimentales a las ecuaciones de continuidad, y fue $k_x = 1.55 \times 10^9 \text{ kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$.

Palabras clave: Biosorción, Columna empacada, Biomasa inmovilizada, Pb^{2+} , Coeficiente transferencia de masa.

Abstract

The kinetic of Pb^{2+} biosorption was carried out at laboratory scale using a packed column with biomass of *Chlorella sp.* immobilized in calcium alginate. A 2^3 experimental design was applied by varying the pH, the pellets size, and the metal concentration. Subsequently the Pb^{2+} biosorption was studied in the same system at bench scale with a flow of $40 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$. It was found that the best operational conditions using 100 and $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ were pH 5 and sphere diameter of 5 mm. The transfer of mass coefficient was determined by adjusting the experimental data to the continuity equations, $k_x = 1.55 \times 10^9 \text{ kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$.

Keywords: Biosorption, Packed column, Immobilized biomass, Pb^{2+} , Transfer of mass coefficient.

Referencias

1. Vullo Diana L. Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. *Revista Química Viva*, 2: 1-18. (2003).
2. Paknikar, K.M; Palnitkar, U.S. y Puranik, P. R., 1993. Biosorption of metals from solution by micelial waste of *Penicillium chrysogenum*. *Biohydrometallurgical Technologies*. Ed. by Torma, A.E., Apel, M.L. y Brierlay, C.L., 229-235.
3. Alimohamadi, M., G. Abolhamd, and A. Keshtkar. Pb(II) and Cu (II) Biosorption on *Rhizopus arrhizus* Modeling Monoand Multi-Component Systems. *Minerals Eng.*, 18:13-14, 1325-1330 (2005).
4. Lodeiro, P; B. Cordero; J. L. Barriada, R. Herrero, and M.E. Sastre de Vicente, Biosorption of Cadmium by Biomass of Brown Marine Macroalgae, *Bioresource Technol.* 96:16, 1796-1803 (2005).
5. Hansen, H.K., A. Ribeiro, and E. Mateus, Biosorption of Arsenic(V) with *Lessonia nigrescens*, *Miner. Eng.*, 19:5, 486-490 (2006).
6. Chang J. and J. Huang. Selective adsorption/recovery of Pb, Cu and Cd with multiple fixed beds containing immobilized bacterial biomass. *Biotechnol Prog.* 14:5, 735-740, (1998).
7. Figueira M. and B. Volesky. Biosorption column preformance with a metal mixture. *Environ.Sci. Technol.* 34: 4320-4326 (2000).
8. Bird R.B., Stewart W.E., Lightfoot E.N., (2003) Fenómenos de transporte. Ed. Reverté, S.A., México. ISBN 968-6708-17.

Recibido: 16 de agosto de 2009

Aceptado: 10 de septiembre de 2009