

## Biosorción $Pb^{2+}$ , $Cd^{2+}$ , $Zn^{2+}$ y $Cr^{3+}$ con levadura de panadería

G. L. Dimas<sup>a</sup>, R. Miranda<sup>a</sup>, C. A. Sosa<sup>a</sup>, M. E. Cantú<sup>a</sup>, J. Rivera<sup>a</sup>, Diana Bustos<sup>a</sup>, Sergio Fernández<sup>a</sup> y M. E. Rodríguez<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

\*E-mail: elena.rodriguezcnt@uanl.edu.mx

Recibido 11 de abril de 2013, Aceptado 14 de mayo de 2013

### Resumen

En esta investigación se estudiaron las interacciones de  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  y  $Cr^{3+}$  en el proceso de biosorción por levadura de pan; para conocer la afinidad de los metales hacia la biomasa. Se determinaron las isotermas de adsorción en sistemas sencillos y sistemas múltiples, ambas pruebas se llevaron a cabo a pH 5, 30 °C y 150 rpm por 6 horas. La biomasa se analizó antes y después del proceso de biosorción por FT-IR, para determinar los grupos funcionales que participan en el proceso. En los sistemas sencillos el orden de afinidad y capacidad máxima de adsorción fue el siguiente:  $Cr^{3+}$  (82.17) >  $Pb^{2+}$  (51.85) >  $Zn^{2+}$  (33.96) >  $Cd^{2+}$  (30.06) en mg/g. El  $Cr^{3+}$  presenta mayor capacidad de adsorción por la levadura de pan, debido a que micro-precipitó como hidróxido sobre la superficie de la célula. En los sistemas múltiples, los resultados mostraron que el  $Pb^{2+}$  y el  $Cr^{3+}$  inhibieron la capacidad de adsorción de  $Cd^{2+}$  y  $Zn^{2+}$  debido a sus propiedades. Los grupos funcionales presentes en la biomasa que participan en la remoción son los grupos carboxilo, amino y fosfato. Los resultados muestran que la biomasa de levadura de panadería tiene buena capacidad para la remoción de los metales  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  y  $Cr^{3+}$  en sistemas sencillos y múltiples.

**Palabras clave:** metales, biosorción, levadura de panadería

### 1. Introducción

Hoy en día la contaminación del medio ambiente por metales pesados es una preocupación creciente debido al riesgo a la salud por la exposición de éstos con los seres humanos y los animales [1]. Este problema de contaminación se debe a la rápida industrialización y urbanización [2] que provocan grandes desechos acuosos tóxicos por ejemplo: los efluentes de plantas de galvanizado, metalurgia y recubrimientos metálicos contienen grandes concentraciones de metales disueltos, [1] que se descargan en ríos y lagos. En México, la industria minera constituye una de las actividades económicas de mayor tradición, la cual se centra en la extracción de metales y se dedica principalmente a la producción de Cu, Zn, Ag, Pb y Au. Esta actividad tiene un alto impacto ambiental, ya que afecta desde el subsuelo hasta la atmósfera, incluyendo suelos y cuerpos de agua. Debido al procesamiento de los recursos minerales, se han generado grandes cantidades de residuos sólidos, líquidos y gaseosos que han favorecido la aparición de una gran cantidad de sitios contaminados a lo largo de todo el país [3]. Otras fuentes de contaminación en el país son la industria metal-mecánica y de pinturas.

Actualmente existen técnicas tradicionales al tratamiento de aguas residuales, pero generan gran cantidad de residuos y su costo es muy alto, especialmente cuando se aplican en ambientes con

concentraciones de metales por debajo de 100 mgL<sup>-1</sup> [4]. Entre las técnicas de tratamiento de aguas se encuentran las siguientes: Precipitación química, Procesos Electroquímicos, Osmosis inversa, Ultrafiltración, Intercambio iónico y Adsorción.

Estos problemas han llevado a desarrollar alternativas ecológicas y económicas, las cuales, además de aprovechar y aplicar los procesos naturales que ocurren en un ecosistema para depurar un residuo contaminante, ofrecen la posibilidad de recuperar los recursos presentes en el mismo para su posterior utilización, generándose además, un valor económico que contribuye a la sostenibilidad del sistema [5]. En los últimos años se estudió la técnica de biosorción la cual ha dado buenos resultados en la remoción de metales pesados con diferentes tipos de biomasa. La biosorción es un proceso pasivo de unión de cationes a la biomasa muerta o viva, [6] debido a la existencia de fuerzas no compensadas en la superficie de ésta [7]. Entre las ventajas de esta técnica es que es un proceso sencillo, de bajo costo, no se necesitan nutrientes para el proceso, el material adsorbente puede regenerarse y existe una gran variedad de biomasa [8, 9]. En los siglos XVIII y XIX se empezó a estudiar la remoción de metales utilizando como biomasa microorganismos vivos, pero sólo en las últimas tres décadas se han utilizado microorganismos vivos y no vivos como adsorbentes de metales de

soluciones acuosas. Con el tiempo se ha estudiado el proceso de biosorción con diferentes tipos de biosorbentes, entre los cuales se encuentran; algas marinas (*Sargassum natans*, *Caulerpa sp.*), bacterias (*Bacillus subtilis*), hongos (*Rhizopus arrhizus*), levaduras (*S. cerevisiae*), los residuos microbianos de la fermentación alcohólica de la industria alimentaria (levadura residual de cerveza) así como residuos agroindustriales (cáscara de toronja y otros) [10].

La levadura de panadería (*Saccharomyces cerevisiae*) se produce en gran escala en la industria y es una biomasa muy económica, por lo que, en este trabajo se realizó el estudio de las interacciones existentes entre los metales  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  y  $Cr^{3+}$  y la biomasa de levadura de panadería cuando se encuentran en solución.

## 2. Parte experimental

### Preparación de Soluciones

Se preparó una solución stock de 10,000 mg/L de cada metal ( $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  y  $Cr^{3+}$ ) a partir de sus nitratos. De este stock se realizaron, por medio de diluciones, soluciones de 10, 20, 50, 80, 100, 150, 180 y 200 mg/L para cada metal. Las soluciones se ajustaron a un pH de 5 con NaOH y  $HNO_3$  0.01 N.

### Sistemas sencillos

Para llevar a cabo el proceso de biosorción se colocaron 150 ml de solución, en las concentraciones mencionadas anteriormente, en matraces Erlen-Meyer de 250 ml, enseguida se agregó la biomasa en una relación de 1 g/L. Los matraces se agitaron a 150 rpm a 30 °C por 6 h. Al término del proceso se tomaron muestras de 2 mL de la solución y la biomasa se separó en microcentrífuga a 10,000 rpm por 5 minutos. En el sobrenadante se determinó la concentración residual de los metales mediante Espectroscopía de Absorción Atómica. Las determinaciones se analizaron por triplicado.

### Sistemas múltiples

En el estudio de sistemas múltiples se realizó el mismo procedimiento anterior pero utilizando soluciones de mezclas de metales de acuerdo a la tabla 2.

### Caracterización de la biomasa por FT-IR

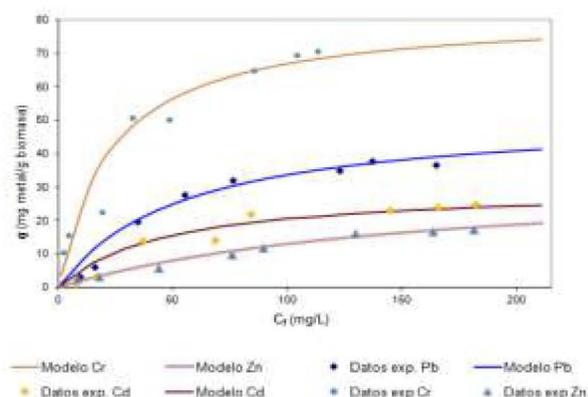
Se analizó la biomasa antes y después del proceso de biosorción con cada metal y con mezcla de metales, en el equipo de Espectroscopía de Infrarrojo con Transformadas de Fourier.

## 3. Resultados y Discusión

### Sistemas Sencillos

Se realizaron las isotermas de adsorción para sistemas sencillos de los iones metálicos  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$  y  $Zn^{2+}$  con la biomasa de levadura de panadería. Para este estudio se utilizó el modelo matemático de Langmuir para correlacionar los datos, los cuales se ajustaron adecuadamente al modelo. En la Figura 1 se encuentran las isotermas de adsorción para cada ion metálico, en las que se observa que la cantidad de ion metálico adsorbido se incrementó al aumentar la concentración inicial.

En esta figura se distingue claramente que la biomasa presenta una mayor capacidad de adsorción para el ion  $Cr^{3+}$  en comparación con los demás iones. El orden de afinidad y de capacidad máxima de adsorción fue el siguiente:  $Cr^{3+}$  (82.17)  $Pb^{2+}$  (51.85)  $>$   $Zn^{2+}$  (33.96)  $>$   $Cd^{2+}$  (30.06) en mg/L, de acuerdo con la tabla 1.



**Figura 1.** Isotermas de adsorción de  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$  y  $Zn^{2+}$  por la biomasa de levadura de pan.

**Tabla 1.** Constantes de Langmuir de la biosorción de  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  y  $Cr^{3+}$  por levadura de pan.

	Pb	Cd	Cr	Zn
$q_{max}$ (mg/g)	51.85	30.06	82.17	33.96
$b$ (L/mg)	0.019	0.021	0.044	0.006
$R^2$	0.979	0.975	0.924	0.895

Estos resultados coinciden con los de Naeem, quien en 2006 reportó que la afinidad de los metales por células de *Saccharomyces cerevisiae* fue de  $Pb^{2+} > Zn^{2+} > Cd^{2+} > Sr^{2+}$ , a un pH de 5 [11]. Otros investigadores, Chen y Wang,

obtuvieron el siguiente orden de afinidad:  $Pb^{2+} > Ag^+ > Cr^{3+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Cd^{2+} > Co^{2+} > Sr^{2+} > Ni^{2+} > Cs^+$ , a un pH de 4 también con células de *Saccharomyces cerevisiae* como biosorbente [12].

En esta investigación se trabajó a un pH de 5 y comparando con el pH utilizado por Chen; *et al*, se deduce que al trabajar a este pH el  $Cr^{3+}$  presentó microprecipitación como hidróxido sobre la superficie de la célula, mostrando por consiguiente una  $q_{max}$  más alta que el plomo. La biosorción de metales por células de levadura, *Saccharomyces cerevisiae*, ha sido reportada como asociada a la penetración del metal a través de la pared celular [13]. En algunos casos, la adsorción sobre la superficie celular externa es un sistema de defensa de la biomasa contra los metales pesados tóxicos, donde los microorganismos producen una capa polimérica externa que permite la penetración del metal a través de la pared celular [14]. Esto se conoce como mecanismo de microprecipitación en el cual los iones son removidos de la solución a través del proceso de precipitación, causado por los compuestos producidos por el sistema de defensa de las células.

### Sistemas múltiples

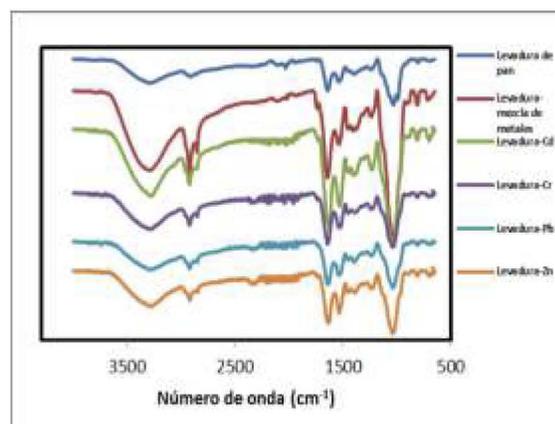
En la Tabla 2 se exhiben los valores de  $q$  de cada metal en las mezclas de iones para la biomasa de levadura de pan. Los resultados muestran que el  $Pb^{2+}$  y el  $Cr^{3+}$  actúan como inhibidores de la capacidad de adsorción de  $Cd^{2+}$  y  $Zn^{2+}$ . Y estos últimos iones compiten por los sitios de unión con la biomasa. Esto se observa porque en la mezcla donde  $Cd^{2+}$  tiene una concentración alta, la capacidad más afectada es hacia el  $Zn^{2+}$  y lo mismo ocurre cuando el  $Zn^{2+}$  está en mayor concentración. Esto se debe a que el  $Cd^{2+}$  y  $Zn^{2+}$  se encuentran en el mismo grupo de la tabla periódica, teniendo propiedades muy semejantes. El comportamiento de  $Pb^{2+}$  y  $Cr^{3+}$  se debe a sus propiedades, en el caso de  $Pb^{2+}$  tienen mayor electronegatividad e índice covalente ( $X^2_{m,r}$ ), por lo cual tiende a formar con mayor facilidad compuestos de coordinación con los grupos funcionales que presenta la biomasa y el  $Cr^{3+}$  tiene una constante de estabilidad de formación de hidróxidos mayor, por lo que se considera que se está precipitando como hidróxido. Por estas razones presentan mayor capacidad de remoción por la biomasa.

**Tabla 2.** Concentraciones iniciales y valores de  $q$  en sistema multimetalico por Levadura de pan.

Concentración inicial (mg/L)				$q_{Pb}$	$q_{Cd}$	$q_{Cr}$	$q_{Zn}$
Pb	Cd	Cr	Zn	(mg/g)	(mg/g)	(mg/g)	(mg/g)
20	23	17	19	6.045	1.342	7.409	1.760
73	23	12	19	23.704	0.779	5.178	1.555
20	89	20	19	5.821	4.005	9.655	0.190
20	23	54	19	2.662	0.130	6.410	0.000
20	24	20	74	5.597	1.082	9.739	3.770

### Caracterización por FT-IR

En la Figura 2 se muestran los espectros de FTIR de la biomasa de levadura de pan antes y después del proceso de biosorción. En el número de onda de  $3280\text{ cm}^{-1}$  se encuentra una banda característica de la intensidad de la vibración del enlace H-O, indicando la presencia del grupo hidroxilo y carboxilo. Este último se corrobora con las bandas características a  $1645\text{ cm}^{-1}$  y  $1249\text{ cm}^{-1}$  correspondientes a la tensión por vibración del doble enlace del carbonilo C=O y al enlace sencillo C-O, respectivamente. En  $1543\text{ cm}^{-1}$  se observa una banda de tensión N-H que es característica de los grupos amino ( $-NH_2$ ). Alrededor de  $1031\text{ cm}^{-1}$  se encuentran bandas intensas características de la tensión P-O de grupos fosfatos. Las bandas de los espectros cambiaron después del proceso de biosorción dependiendo del metal que se encuentra enlazado a la biomasa. En los espectros de la biomasa tratada con cada uno de los metales estudiados (Pb, Cd, Cr y Zn) las bandas son menos pronunciadas debido a que los grupos funcionales presentes en la pared celular están interactuando con estos metales.



**Figura 2.** Espectro de FTIR de Levadura de pan antes y después del proceso de biosorción.

#### 4. Conclusiones

Las isotermas de adsorción para levadura de pan para iones  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$  y  $Zn^{2+}$  se ajustaron adecuadamente al modelo de Langmuir. La evaluación de las capacidades de adsorción mostraron el siguiente orden:  $Cr^{3+}$  (82.17) >  $Pb^{2+}$  (51.85) >  $Zn^{2+}$  (33.96) >  $Cd^{2+}$  (30.06) mg/g de biomasa.

En los sistemas múltiples se determinó que el  $Pb^{2+}$  y el  $Cr^{3+}$  inhiben la capacidad de adsorción de  $Cd^{2+}$  y  $Zn^{2+}$  en levadura de panadería. El  $Cd^{2+}$  y  $Zn^{2+}$  compiten por los mismos sitios de unión a la biomasa.

De la caracterización de las biomásas por FT-IR se encontró que las biomásas de levadura de pan poseen grupos carboxilos, aminos y fosfatos que participan principalmente en el proceso de biosorción.

#### 5. Referencias

1. Chen, S.; et al. *Bioinorg. Chem. and Appl.* 2009, 1-7.
2. Park D., Park, J. M. *Biotechnol. Bioprocess Eng.* 2010, 15: 86-102.
3. Monge, O.; Valenzuela, J. L.; Acevedo, E.; Certucha, M. T.; Almendrás, F. J. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 2008, 24 (3), 107-115.
4. Garza, M. T. Aislamiento de Microorganismos con alta capacidad de tolerar y remover  $Pb(II)$ ,  $Cr(VI)$ ,  $Cd(II)$ ,  $Cu(II)$ ,  $Zn(II)$  y  $Ni(II)$ . Tesis de doctorado, Universidad de la Habana, La Habana, Cuba. 2005.
5. Muñoz, T. M. C.; et al. Remoción de metales pesados en aguas residuales utilizando una macrófita acuática (*eleocharis acicularis*) muerta, Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México. 2007.
6. Ying, C. P. Biosorption of copper(II) and chromium(VI) onto activated sludge: isotherms and kinetic models. Universiti Sains Malaysia. 2007.
7. Muñoz, J. C.; Tapia, N. Biosorción de Plomo (II) por cáscara de naranja "Citrus Cinensis" pretratada. Facultad de Química e Ingeniería Química. E. A. P. de Química. Lima Perú, 2007.
8. Basha, S.; Jha, B. J. *Chem. Eng.* 2008, 55, 449-455.
9. Cañizares, R. O. Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Rev. Latinoam. Microbiol.* 2000, 42, 131-143.
10. Saikaew, W.; Kaewsarn, P.; Saikaew, W. *Eng. Technol.* 2009, 56, 287-291.
11. Naeem, A.; Woertz, J. R.; Fein, J. B. *Environ. Sci. Technol.* 2006, 40, 5724-5729. (2006).
12. Chen, C.; Wang, J. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2007, 74, 911-917.
13. Peng, T. Y.; Koon, T. W. *Microb. Util. Renewable Resour.* 1993, 8, 494-504.
14. Scott, J. A.; Palmer, S. J. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 1990, 33, 221-25.