

# Bioadsorción de Cadmio (II) en Solución Acuosa por Biomosas Fúngicas

Ismael Acosta, María de Guadalupe Moctezuma-Zárate, Juan F. Cárdenas y Conrado Gutiérrez.  
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Centro de Investigación y de Estudios de Posgrado,  
Facultad de Ciencias Químicas, Av. Dr. Manuel Nava No. 6, Zona Universitaria.,  
C.P. 78320 San Luis Potosí, S.L.P.-México (e-mail: iacosta@uaslp.mx)

---

## Resumen

Se determinó la bioadsorción de Cadmio (II) en solución por la biomasa celular de quince hongos, por el método colorimétrico de la ditiizona. La biomasa de *Mucor rouxii* IM-80 fue más eficiente en la remoción de Cadmio (II) en solución (8.2 mg/g) seguida de *M. rouxii* mutante (7.1 mg/g), *A. flavus* I (5.9 mg/g) y *Helminthosporium* sp (5.4 mg/g). Para la biomasa de *M. rouxii*-IM-80, la mayor bioadsorción fue a pH= 5.0-6.0, a 28°C durante 40 horas con 1.0 mg/200 mL de concentración inicial de Cadmio (II) y 80 mg/200 mL de biomasa celular. Se concluye que algunas biomosas fúngicas remueven eficientemente Cadmio (II) en solución y pueden utilizarse para descontaminar nichos acuáticos contaminados con este metal.

*Palabras clave: Bioadsorción, Cadmio (II), biomasa, hongos, aguas residuales*

## Biosorption of Cadmium (II) in Aqueous Solutions by Fungal Biomass

### Abstract

The biosorption of dissolved Cadmium (II) using cellular biomass of 15 fungi, using a dithizone colorimetric method, was determined. The *Mucor rouxii* IM-80 biomass was more efficient in removing Cadmium (II) from solution (8.2 mg/g), followed by the *M. rouxii* mutant (7.1 mg/g), *Aspergillus flavus* I (5.9 mg/g) and *Helminthosporium* sp (5.4 mg/g) biomasses. The highest biosorption for *M. rouxii* IM-80 was at pH 5.0-6.0, at 28°C for 40 h employing 1.0 mg/200mL of Cadmium (II) as initial concentration, and 80 mg/200 mL of fungal biomass. It was concluded that some fungal biomass efficiently removed Cadmium (II) from solution and could be used for decontamination of aquatic habitats polluted with this metal.

*Keywords: Biosorption, Cadmium (II), biomass, fungi, wastewater*

## INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua, aire y suelo por metales pesados es uno de los problemas ambientales más severos, además de ser muy difícil de resolver. Las fuentes más comunes de contaminación por dichos metales son: los procesos de petróleo, las plantas generadoras de energía y los procesos metalúrgicos. De éstos, el Cadmio es un metal pesado que alcanza el medio ambiente entre otras razones por acción antrópica, ya que es utilizado en galvanoplastia, como protector contra la corrosión, estabilizador de plásticos, etc. Su eliminación del medio ambiente es prioritaria debido a su elevada toxicidad (US-EPA, 1979), ya que es carcinogénico, embriotóxico, teratogénico y mutagénico, puede causar hiperglicemia, reducir el sistema inmunológico y anemia, debido a que interfiere con el metabolismo del hierro (Sanders, 1986).

Para su recuperación, se han utilizado métodos basados en biomásas de bacterias, hongos, levaduras y algas, las cuales tienen diferente composición química, con porcentajes de captación de los iones metálicos relativamente altos, por medio de procesos pasivos como bioadsorción, que es dependiente del grado de afinidad entre las especies metálicas o sus formas iónicas y los sitios de unión en la estructura molecular de la pared celular, es relativamente rápido, y se puede recuperar el metal y reutilizar el bioadsorbente. El modo activo de acumulación de metales por células vivas es la bioacumulación, la cual depende de la actividad metabólica de la célula. La aplicación de la bioadsorción en la purificación de aguas residuales presenta un gran potencial, pues las biomásas fúngicas son naturales, se pueden obtener fácilmente en grandes cantidades, son económicas, reutilizables, emplear dos o más de manera simultánea y remover selectivamente diferentes iones metálicos de soluciones acuosas, los cuales pueden ser fácilmente liberados y recuperados (Cañizares, 2000; Kratochvil y Volesky, 1998; (Kapoor y Viraraghavan, 1995; Sag, 2001).

También se han utilizado otras biomásas para remover el Cd (II) en solución como: Carbón activado (Leyva-Ramos et. al., 2005) mazorca de maíz y corteza de *Pinus pinaster* (Vázquez et.al., 2005). Por lo anterior, este trabajo se propuso estudiar la bioadsorción de Cd (II) en solución por 15 biomásas fúngicas.

## METODOLOGÍA

### *Bioadsorbentes*

Se utilizaron 15 biomásas fúngicas, los hongos *Aspergillus flavus* I-V y *Aspergillus fumigatus* I-II resistentes a plomo aislados de una mina de Zimapan, Hgo., México (temp. media anual de 18.30°C y 1780 m sobre el nivel del mar); *Helminthosporium* sp, *Cladosporium* sp, *Mucor* sp-1 y *Mucor* sp-2, resistentes a zinc, plomo y cobre aisladas del aire de una zona cercana a una planta procesadora de Zinc en San Luís Potosí, S.L.P., México (temp. media anual de 18.67°C y 1860 m sobre el nivel del mar), *M. rouxii* mutante resistente a cobre y plomo, obtenida por mutagénesis con Etilmetanosulfonato, *M. rouxii* IM-80 (silvestre); las levaduras *Candida albicans* y *Cryptococcus neoformans* resistentes a cromo (VI) y aisladas de una tenería de la ciudad de León, Gto., México (temp. media anual de 18.86°C y 1786 m sobre el nivel del mar).

### *Obtención de la biomasa celular*

El crecimiento de los hongos se llevó a cabo inoculando  $1 \times 10^6$  células/mL en caldo tioglicolato (8 g/L), a 28°C con agitación constante (100 rpm). 4 días después de la incubación, se obtuvo la biomasa por filtración en papel Whatman No. 2. Posteriormente se centrifugó (3000 rpm, 5 min), se lavó 3 veces con agua tridesionizada, se secó (80°C, 2 h) en estufa bacteriológica, se molió en mortero y se pesaron 80 mg en matraces Erlenmeyer de 250 mL, y se esterilizaron a 15 libras/30 min (Acosta et. al., 2004).

### *Soluciones de Cadmio (II)*

Se trabajó con 200 mL de una solución de 1.0 mg/200mL de concentración de Cd (II) obtenida disolviendo 0.2272 g de CdCl<sub>2</sub> en 1 L de agua tridesionizada. Se ajustó el pH de la dilución a analizar según sea el caso con NaOH y/o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M, antes de adicionarla a las biomásas celulares.

### *Estudios de bioadsorción*

80 mg de biomasa celular se mezclaron con 200 mL de una solución de 1.0 mg/200mL de concentración del metal (pH= 5.0 +/-0.2 y 28°C) y se incubaron con agitación constante (100 rpm). A diferentes tiempos se tomaron alícuotas de 10 mL cada una, se centrifuga-

ron a 3000 rpm (5 min), y al sobrenadante respectivo se le determinó la concentración de Cd (II). Para el efecto del pH, se varió el pH inicial de la solución, con NaOH 1N y/o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N, según el caso, a valores iniciales de 1.0 a 9.0. Para la temperatura, se varió ésta a 28, 37 y 42°C, mientras que para la concentración inicial de metal, se utilizaron cantidades iniciales crecientes en un rango de 0.5 a 2.5 mg/200mL. Los experimentos se realizaron por duplicado en matraces Erlenmeyer de 250 mL, previamente lavados con HNO<sub>3</sub> 1:10 (v/v) y enjuagados con agua tri-desionizada estéril.

#### Determinación de la concentración de Cd (II)

Se utilizó el método colorimétrico de la ditizona, en el cual los iones Cd (II) reaccionan con la ditizona formando un complejo de color rosa-rojo, que puede ser extraído con cloroformo, determinando la concentración de Cd (II) a las soluciones problema (10 mL), y leyendo la absorbancia de las muestras a una longitud de onda de 518 nm (Greenberg et. al., 1992), obteniendo la concentración de Cd (II) de una curva de calibración preparada a partir de una solución estándar del metal, tratada de la misma manera que la muestra, teniendo en cuenta que la concentración mínima detectable es de 0.5 µg/15 mL de solución de ditizona.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Cinética de bioadsorción de Cd (II)

En relación con el tiempo de incubación sobre la bioadsorción de Cd (II), por la biomasa de la cepa IM-80 de *M. rouxii* se encontró que la mayor bioadsorción ocurre entre 24 y 40 h, ver figura 1. Los resultados anteriores, revelan que durante las primeras 14 h no hay una bioadsorción significativa, y a las 24 h va mejorando, y después de 40 h, los porcentajes de sustracción del metal no variaron. La literatura reporta tiempos menores de captación cuando se trabajó con las biomásas de *Rhizopus arrhizus* (Tobin et. al., 1984), *M. rouxii* (Yan y Viraraghavan, 2003) y *Penicillium purpurogenum* (Say et. al., 2003). La bioadsorción de los metales por los componentes de la pared celular se basa en dos mecanismos: su captura por grupos funcionales como carboxilatos, fosfatos, amino y fosfodiéster, y los mecanismos de captación resultantes de las interacciones fisicoquímicas de los fenómenos de adsorción, pero, el primer

proceso parece tener una función muy importante (Kapoor y Viraraghavan, 1995; Kratochvil y Volesky, 1998).

#### Efecto del pH sobre la bioadsorción de Cd (II)

En la figura 2 se muestra la influencia del pH de equilibrio sobre la eficiencia de remoción. La mayor actividad se evidenció a pH 5.0-6.0 ± 0.2, para *M. rouxii* IM-80. Los contrastes observados en la remoción del metal a diferentes pHs, pueden deberse a la participación de grupos carboxilato (pK= 3-5) y fosfato, que presentan una carga negativa por encima de pH 3.0, por lo que el incremento en la eliminación de Cd (II) que se observa entre pH 2.0 y 4.0, se puede atribuir al cambio en el estado iónico de estos grupos funcionales.

Esto implica que la adsorción depende en parte de la protonación o desprotonación de los polímeros que forman parte de la pared celular. A pHs menores que el pK, estos grupos se encuentran protonados, restringiendo la entrada de los iones Cd, sin embargo a pHs entre 4.0 y 6.0, los grupos responsables de la retención del metal se encuentran cargados negativamente facilitando el enlace de los iones Cd (II) positivos. A pHs mayores de 6.0 se observa una disminución en la captación, lo cual concuerda con la mayoría de los reportes, y tal vez se deba a una menor exposición de los grupos fosfato, pues a pHs mayores, los carboxilatos, óxidos e hidróxidos son más estables (Volesky y Holan, 1995).

Algunos investigadores han encontrado el pH óptimo para la remoción de Cd (II) por las biomásas de *P. purpurogenum* (Say et. al., 2003), *P. digitatum* (Galum et. al., 1987), *R. arrhizus* (Fourest y Roux, 1992) y de *M. rouxii* tratada con NaOH (Yan y Viraraghavan, 2003) en un rango de 5.0 a 6.0.

#### Efecto de la temperatura sobre la bioadsorción de Cd (II)

La más alta remoción se observó a 28°C, (Fig. 3). De otra parte, la literatura (Galum et. al., 1987; Veglio y Beolchini 1997), sostiene que la bioadsorción se incrementa a medida que se aumenta la temperatura, en este trabajo sucedió a 28°C; resultados que no son coincidentes con los de Say et. al., (2003), Galum et. al., (1987) y Puranik y Paknikar (1999), quienes observaron que a 20 y 25°C ocurre la adsorción del Cd (II) con las

biomásas de *P. purpurogenum*, *P. digitatum* y *Citrobacter* MCM B-181 (bacteria tipo de laboratorio).

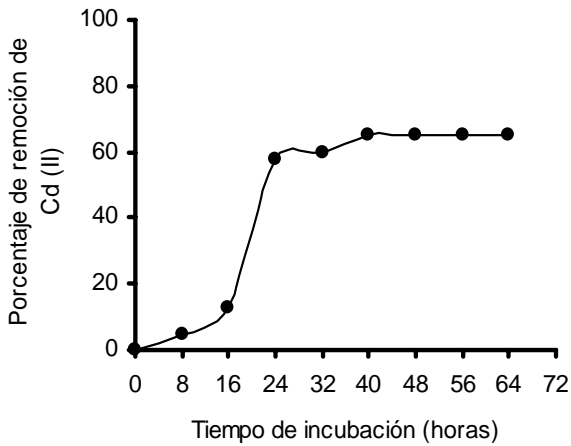


Fig. 1 Efecto del tiempo de incubación sobre la bioadsorción de Cd (II) por la cepa IM-80 de *M. rouxii*. 1.0 mg/200mL, 80 mg de biomasa, 28°C con agitación constante (100 rpm).

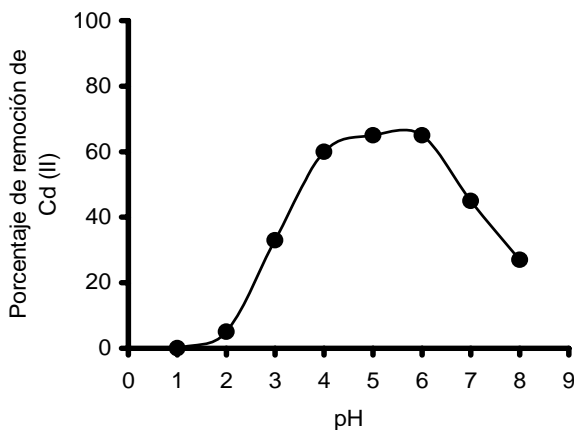


Fig. 2 Efecto del pH sobre la bioadsorción de Cd (II) por la cepa IM-80 de *M. rouxii*. 1.0 mg/200mL, 80 mg de biomasa, 28°C, 40 horas de incubación con agitación constante (100 rpm).

*Efecto de la concentración inicial de Cd (II) sobre la bioadsorción*

A una concentración de 1.0 mg/200mL, la biomasa de *M. rouxii* IM-80, mostró las mejores respuestas de remoción del metal, tal como lo deja ver la figura 4. Algunos autores (Kapoor y Viraraghavan, 1995; Say et.al., 2003; Tobin et. al., 1984) sostienen que la cantidad de metal eliminado por las biomásas de diferentes microorganismos, tales como *R. arrhizus*, *P. purpurogenum* aumenta en proporción directa con el incremen-

to de la concentración del ión metálico en solución. De nuevo se encuentran discrepancias con los resultados de esta investigación, por cuanto la biomasa utilizada en el estudio mostró la mayor capacidad de bioadsorción a una concentración de 1.0 mg/L.

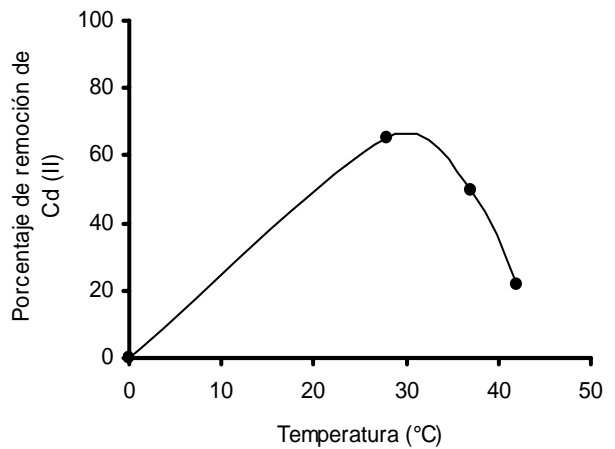


Fig. 3 Efecto de la temperatura de incubación sobre la bioadsorción de Cd (II) por la cepa IM-80 de *M. rouxii*. 1.0 mg/200mL, 80 mg de biomasa, 40 horas de incubación con agitación constante (100 rpm).

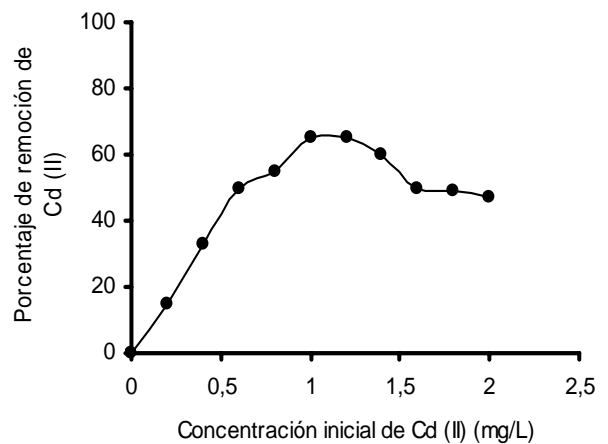


Fig. 4 Efecto de la concentración sobre la bioadsorción de Cd (II) en solución por la cepa IM-80 de *M. rouxii*. 28°C, 40 horas de incubación con agitación constante (100 rpm).

Se analizaron en las mismas condiciones, otras 14 biomásas fúngicas, siendo las más eficientes en la remoción de Cd (II) la de la cepa silvestre de *M. rouxii* IM-80, *M. rouxii* mutante y *A. flavus*-I, con 8.2, 7.1 y 5.9 mg de Cd (II)/mg de biomasa, respectivamente, seguidas de *Helmintosporium* sp (5.4), *C. neoformans* (5.0) y *A. fumigatus* II (4.5), mientras que las demás biomásas analizadas fueron

menos eficientes en la remoción, a las 40 h de incubación a 100 rpm, pH de 5.0-6.0 y 28°C. Ver figura 5.

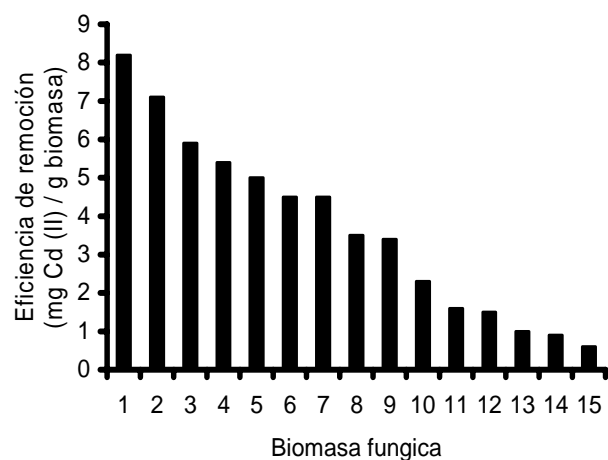


Fig. 5 Eficiencia de remoción de Cd (II) en solución por las biomosas fúngicas. 1.- *M. rouxii* IM-80, 2.- *M. rouxii* mutante, 3.- *A. flavus* I, 4.- *Helminthosporium* sp, 5.- *C. neoformans*, 6.- *A. fumigatus* II, 7.- *C. albicans*, 8.- *A. flavus* IV, 9.- *A. flavus* V, 10.- *A. flavus* III, 11.- *A. flavus* II, 12.- *A. fumigatus* I, 13.- *Mucor* sp I, 14.- *Mucor* sp II, 15.- *Cladosporium* sp

Importa mencionar que la cantidad de Cd (II) removido por cada gramo de biomasa, resulta mayor a los valores reportados por Massaccesi et. al. (2002) con hongos aislados de sedimentos contaminados en La Plata (Argentina), Fourest y Roux (1992) para *R. arrhizus* y por Galum et. al. (1987) con *P. digitatum*. Sin embargo, son semejantes a los de Yan y Viraraghavan, (2003) y los de Norris y Kelly (1977) para la biomasa de *M. rouxii* tratada con NaOH y la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, respectivamente, pero son menores a los encontrados para *P. chrysogenum*, *R. arrhizus*, y *P. purpurogenum* (Holan y Volesky, 1995; Tobin et. al. 1984, Say, et. al. (2003).

Se desconocen las razones que expresan las diferencias de bioadsorción de Cd (II) de las biomosas estudiadas en este trabajo, pues la remoción del metal depende de diversos factores, como la composición química de la pared celular de las biomosas, pH, temperatura, materia orgánica, textura de la biomasa y la presencia de otros iones (Volesky y Holan, 1995; Cañizares, 2000; Kapoor y Viraraghavan, 1995; Sag, 2001). Las eficiencias de remoción encontradas, indican

una posible aplicación de algunas de estas biomosas como bioadsorbentes naturales en sitios contaminados por Cadmio.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que algunas de las biomosas fúngicas analizadas remueven eficientemente Cd (II) en solución. A las concentraciones estudiadas, la cepa silvestre de *M. rouxii*, *M. rouxii* mutante, *A. flavus*-I, *Helminthosporium* sp, *C. neoformans* y *A. fumigatus* II pueden utilizarse solas o mezcladas, para tratar de eliminar el Cd (II) presente en aguas residuales industriales.

## AGRADECIMIENTOS

Convenio C06-FAI-03-7.10 de la UASLP

## REFERENCIAS

- Acosta, I., X. Rodríguez, C. Gutiérrez y M.G. Moctezuma-Zarate, Biosorption of Chromium (VI) from aqueous solutions onto fungal biomass, *Bioinorganic Chemistry Applications: 2* (1,2) 1-7 (2004).
- Cañizares-Villanueva, R.O., Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana, *Revista Latinoamericana de Micro-biología: 42*, 131-143 (2000).
- Fourest, E. y J.C. Roux, Heavy metals biosorption by fungal mycelial by-products: mechanism and influence of pH, *Applied Microbiology Biotechnology: 37*, 399-403 (1992).
- Galum, M., et. al., Removal of metals ions from aqueous solutions by *Penicillium* biomass: Kinetic an uptake parameters, *Water, Air, & Soil Pollution: 33* (3,4) 359-371 (1987).
- Greenberg, A.E., L.S. Clesceri y A.D. Eaton, Standard methods for the examination of water and wastewater, 18ª edición. American Public Health Association, Washington, D.C. 3.107 (1992).
- Kapoor, A. y T. Viraraghavan, Fungal biosorption an alternative treatment option for heavy metal bearing wastewaters: a review, *Bioresource Technology: 53*, 195-206 (1995).

- Kratochvil, D. y B. Volesky, Advances in the biosorption of heavy metals, TIBTECH: 16, 291- 300 (1998).
- Leyva-Ramos, R., P.E. Díaz-Flores, A. Aragón-Piña, J. Mendoza-Barrón y R.M. Guerrero-Coronado, Adsorption of Cadmium(II) from an aqueous solution onto activated carbon cloth, Separation Science and technology: 40, 2079-2094 (2005).
- Leyva-Ramos, R., L.A. Bernal-Jacome e I. Acosta-Rodríguez, Adsorption of Cadmium(II) from aqueous solution on natural and oxidized corncob, Separation and Purification Technology: 45: 41-49 (2005).
- Massaccesi, G., C. Romero, M. Cazau y A. Bucszinsky, Cadmium removal capacities of filamentous soil fungi isolated from industrially polluted sediments, in La Plata (Argentina), World Journal of Microbiology and Biotechnology: 18, 817-820 (2002).
- Norris, P.R. y D.P. Kelly, Accumulation of cadmium and cobalt by *Saccharomyces cerevisiae*, Journal of General Microbiology: 99 317-324 (1977).
- Puranik, P.R. y K.M. Paknikar, Biosorption of lead, cadmium and zinc by *Citrobacter* strain MCM B-181: Characterization studies, Biotechnology Progress: 15, 228-237 (1999).
- Sag, Y., Biosorption of heavy metals by fungal biomass and modeling of fungal biopsorption: a review, Separation and Purification Methods 30, 1-48 (2001).
- Sanders, C.L., Toxicological aspects of energy production, New York: MacMillan Publishing Company. USA, 158-162 (1986).
- Say, R., Y. Nalan y D. Adil, Biosorption of Cadmium, Lead, Mercury and Arsenic ions by the fungus *Penicillium purpurogenum*, Separation Science and Technology: 38(9) 2039-2053 (2003).
- Tobin, J.M., D.G. Cooper y R.J. Neufeld, Uptake of metal ions by *Rhizopus arrhizus* biomass, Applied and Environmental Microbiology: 47(4), 821-824 (1984).
- US Environmental Protection Agency, Water related environmental fate of 129 pollutants. EPA-44074-79-029, Wash., D.C. (1979).
- Vázquez, G., J. González-Álvarez, S. Freire y G. Antorrena, Desarrollo de un adsorbente basado en taninos de corteza de *Pinus pinaster*, Información Tecnológica, La Serena: 16, 47-51 (2005).
- Veglio, F. y F. Beolchini, Removal of metals by biosorption: a review, Hydrometallurgy: 44, 301-316 (1997).
- Volesky, B. y Z.R. Holan, Biosorption of heavy metals, Biotechnology Progress: 11, 235-250 (1995).
- Yan, G. y T. Viraraghavan, Heavy-metal removal aqueous by fungus *Mucor rouxii*, Water Research: 37, 4486-4496 (2003).