

Agradecimientos.

Este trabajo es financiado por COLCIENCIAS y la UNAB proyecto No. 1241-05-11483.

Bibliografía.

1. Fedosova A.V., 1999. *Los algoritmos estocásticos de las aproximaciones externas para la solución de los problemas convexos de programación semi-infinita. Resumen ejecutivo de la tesis doctoral. DIALOG – MGU, Rusia.*
2. Gustafson S.-A., Kortanek K.O., 1973. *Mathematical models for air pollution control: determination of optimum abatement policies. Models for environmental pollution control. Edited by R.A. Deininger. Ann Arbor: Ann Arbor Science Publishers, Inc., p. 251-265.*
3. Reemtsen R., 1991. *Discretization methods for solution of semi-infinite programming problems. Jour. Of Optim. Th. And Appl., V. 71(No. 1): p. 85-103.*
4. Volkov Y.V., Zavriev S.K., 1997. *A general Stochastic Outer Approximations Method. SIAM J. Control Optim., V. 35 (No. 4): p. 1387-1421.*

Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana

Graciela Chalela A. MSc. Dr.rer.nat



Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana

Graciela Chalela A. MSc. Dr.rer.nat
Universidad Autónoma de Bucaramanga.
Escuela de Ciencias Naturales e Ingeniería-
Proyecto Ambiental,
e-mail: gchalela@unab.edu.co

Abstract

Microorganisms are known to remove heavy metal ions from water and their utilization as biosorbents for heavy metal removal, offers a potential alternative to the existent methods for the detoxification and recovery of toxic/precious metals present in industrial waterwastes. Many yeasts, fungi, algae, bacteria and some aquatic plants have the capacity to concentrate metals from aqueous diluted solutions, and to accumulate them inside to cell structure. To date, the most successful biotechnological processes utilize biosorption and bioprecipitation, but others processes as binding by specific macromolecules may have future potential.

Technologies using these processes are currently uses to control pollutions from diverse sources. In this investigation, the term biosorption is used to encompass uptake by whole biomass (living or dead) way physic-chemical mechanisms such as adsorption or ion exchange. Where living biomass is used, metabolic uptake mechanisms may also contribute to the process. Mention is made about systems that employ a mixture of microorganisms as well as higher plants.

Key words: Biomass, heavy metal, biosorption, bioprecipitation, microbial removal.

Resumen

La utilización de microorganismos como biosorbentes de metales pesados, ofrece una alternativa potencial a los métodos ya existentes para la detoxificación y recuperación de metales tóxicos o valiosos, presentes en aguas residuales industriales.

Muchas levaduras, hongos, algas, bacterias y macrobiota acuática tienen la capacidad de concentrar metales a partir de soluciones acuosas diluidas y de acumularlas dentro de la estructura celular microbiana. Actualmente los procesos biotecnológicos más eficientes utilizan la biosorción y la bioprecipitación, pero otros procesos tales como la unión a macromoléculas específicas pueden tener un potencial de remoción en el futuro.

Las tecnologías que utilizan estos procesos se usan generalmente para el control de la contaminación de diversas fuentes. En esta investigación el término biosorción se emplea para la utilización de la biomasa total (viva o muerta), mediante mecanismos fisicoquímicos tales como la adsorción y el intercambio iónico. El mecanismo de utilización metabólica se usa cuando se utiliza la biomasa viva. Así mismo se mencionan sistemas que emplean mezclas de microorganismos así como plantas superiores.

Palabras clave: biomasa, metales pesados, biosorción, bioprecipitación, remoción microbiana.

Introducción

Los avances en la ciencia y la tecnología desde la revolución industrial, han aumentado la capacidad del ser humano para explotar los recursos naturales. Sin embargo esto ha generado perturbaciones en los ciclos biogeoquímicos elementales. La introducción repentina de compuestos químicos xeno-

bióticos o la reubicación masiva de materiales naturales en diferentes comportamientos ambientales, con frecuencia pueden interrumpir la capacidad de autolimpieza de los ecosistemas receptores y por lo tanto dar como resultado la acumulación de contaminantes a niveles problemáticos y hasta perjudiciales. Se hace necesario acelerar la eliminación de los contaminantes para remediar los problemas existentes y disminuir el impacto de incidentes futuros mediante el control del ingreso de contaminantes.

Estos contaminantes se descargan en la atmósfera y en los ambientes acuáticos y terrestres, principalmente como solutos o partículas y pueden alcanzar concentraciones elevadas, especialmente cerca del sitio de descarga. Los efectos de los metales sobre el funcionamiento de los ecosistemas varían considerablemente y son de importancia económica y de salud pública. Entre los mecanismos moleculares que determinan la toxicidad de los metales pesados se encuentran. 1. El desplazamiento de iones metálicos esenciales de biomoléculas y bloqueo de sus grupos funcionales. 2. Modificación de la conformación activa de biomoléculas, especialmente enzimas. 3. Ruptura de la integridad de las biomoléculas y 4. Modificación de otros agentes biológicamente activos.

Debido a su movilidad en los ecosistemas acuáticos naturales y su toxicidad para las formas superiores de vida, los iones de metales pesados presentes en los abastecimientos de aguas superficiales y subterráneos, se les ha dado prioridad como los contaminantes inorgánicos más importantes en el ambiente. Aún cuando se encuentren presentes en cantidades bajas e indetectables.³

Los avances tecnológicos para el tratamiento de la contaminación por metales tóxicos consisten en el uso selectivo y en el mejoramiento de procesos naturales para el tratamiento de residuos particulares. Los procesos por los cuales los organismos interactúan con los metales tóxicos son muy diversos (Figura 1) Existen en la práctica tres categorías generales de procesos biotecnológicos para el tratamiento de

Acciones metabólicas celulares

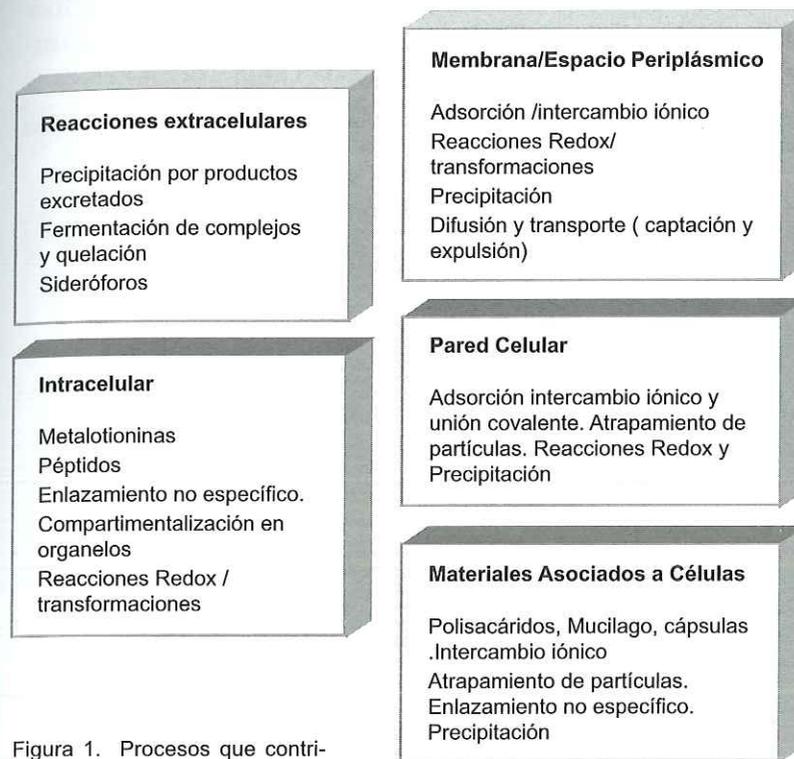


Figura 1. Procesos que contribuyen a la captación microbiana y destoxificación de metales. (Adaptación de la autora, basada en Gadd)

residuos líquidos que contienen metales tóxicos: la biosorción; la precipitación extracelular y la captación a través de biopolímeros purificados y de otras moléculas especializadas, derivadas de células microbianas.²¹

Metodología

El término "Biosorción" se utiliza para referirse a la captación de metales que lleva a cabo la biomasa microbiana esco-

gida, viva o muerta, a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico. Cuando se utiliza biomasa viva, los mecanismos metabólicos de captación también pueden contribuir en el proceso. (Tabla 1). (Figura 2)

Tabla 1. Comparación de Biosorción de metales pesados por células inertes o células vivas.

Adsorción mediante biomasa inerte inmovilizada	Tratamiento con células vivas inmovilizadas
Ventajas	
<ol style="list-style-type: none"> 1. No necesita de nutrientes o de disposición de nutrientes, ni productos metabólicos. 2. Los procesos no están sujetos a limitaciones biológicas. 3. La selección de la técnica de inmovilización no está influenciada por limitaciones de toxicidad o inactivación térmica. 4. Son muy rápidos y eficientes en la remoción de metales, la biomasa se comporta como un intercambiador de iones. 5. Los metales pueden ser liberados fácilmente y luego recuperados. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aunque cada célula puede llegar a saturarse, el sistema se auto-restablece debido al crecimiento. 2. Los metales se depositan en un estado químico alterado y menos sensible a la desorción espontánea. 3. La actividad puede utilizar sistemas multienzimáticos. 4. Se pueden mejorar las cepas por medio de selección o por manipulación genética. 5. Se puede emplear dos o más organismos de una manera sinérgica. 6. El crecimiento microbiano puede ser controlado, bien sea por agitación o aireación

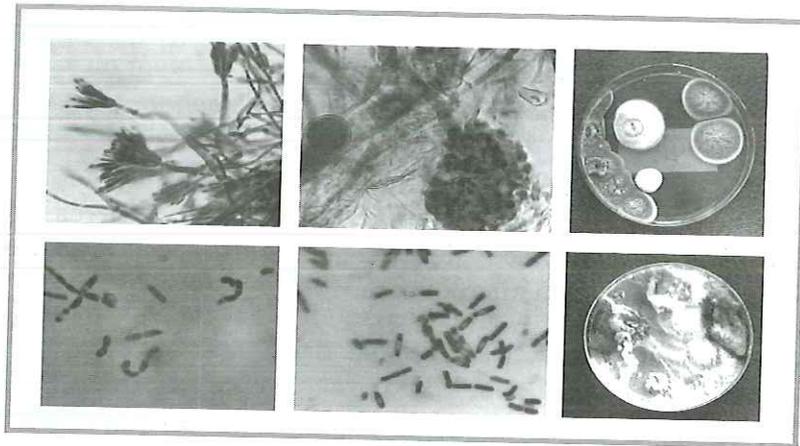


Figura 2. Biomasa Potencial: Bacterias y mohos.

La biomasa microbiana puede ser usada en su estado natural o modificada, por ejemplo por medio de un tratamiento alcalino, para mejorar la eficiencia de biosorción.^{8,9,19} La biomasa de *Bacillus circulans* se trata con álcali para potenciar su acción. (Tabla 2) (Figura 3). O la biomasa puede ser inmovilizada (Figura 4)

Tabla 2. Biomasa de uso potencial como biosorbente de metales pesados.

- Saccharomyces boulardii (Industrias de Probióticos)
- Penicillium notatum (industria de antibióticos)
- Rhizopus oryzae (industria alimentaria)
- Aspergillus niger (industria de ácido cítrico y enzimas)
- Bacillus circulans. (industria de aminoácidos)
- Streptomyces spp. (industria farmacéutica)
- Lodos activados. PTAR
- Biomasa de desecho industrial: caña de azucar.
- Biocompost
- Spirulina
- Chlorella

Tipos de Biorreactores

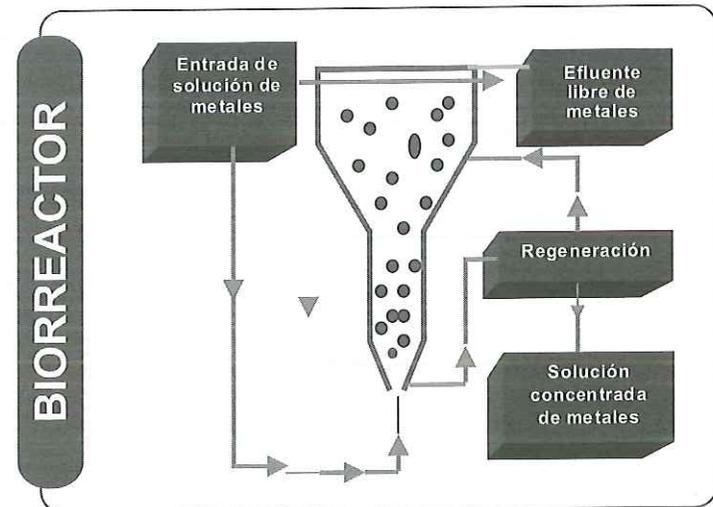


Figura 3. Procesos que utilizan biorreactores con biomasa inerte para disminuir la contaminación por metales tóxicos. Bioproceso en lecho fluidizado.

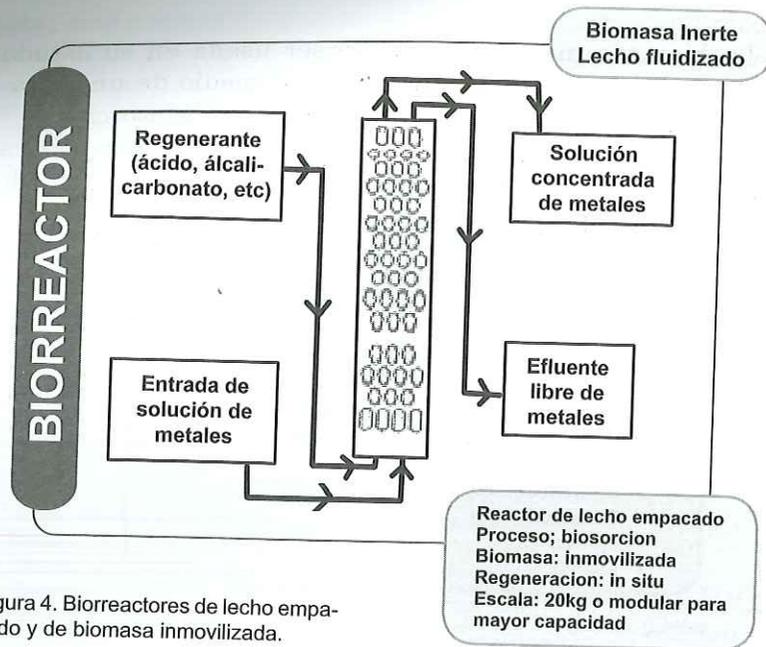
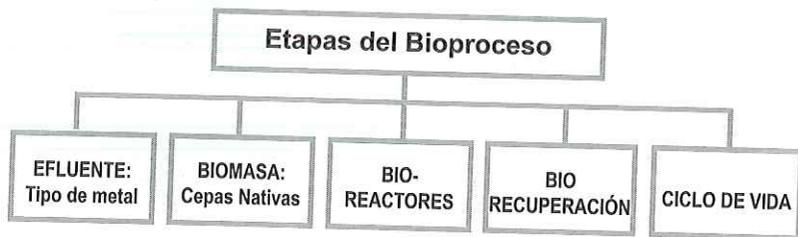


Figura 4. Biorreactores de lecho empacado y de biomasa inmovilizada.

Conclusiones



El desarrollo potencial de los sistemas microbianos para la recuperación de metales, depende de muchos factores que incluyen la capacidad, eficiencia y selectividad del biosorbente, su facilidad de recuperación, su equivalencia con los tratamientos físicos y químicos actualmente en uso, así

como su economía y tolerancia en contra de interferencias de otros componentes de los efluentes o de las condiciones de operación. Se ha sugerido que para poder competir con las tecnologías existentes, las eficiencias de remoción tienen que ser >99% y sus capacidades de carga deben ser >15 mg/g.¹¹

Existe una amplia variedad de mecanismos que pueden estar involucrados en la acumulación microbiana de metales pesados y sin duda ciertos tipos de biomasa o productos derivados de ella, tienen gran capacidad y pueden actuar como agentes altamente eficientes para la eliminación de metales; las selección de las cepas microbianas y el lugar de aislamiento son sin duda dos factores decisivos en la eficiencia del bioproceso⁴

La selectividad constituye un problema para muchos sistemas de biosorción de metales, pero ésta puede disminuirse dependiendo de las concentraciones relativas de los diferentes metales presentes. Además se puede alcanzar un cierto grado de selectividad a través de una selección de cepas microbianas aisladas¹⁻³⁻⁷⁻¹⁰⁻¹¹.

Tanto la biomasa viva como la muerta y sus productos derivados o excretados pueden acumular metales. La Biomasa de células vivas tiene posibilidades en procesos comerciales y la biomasa microbiana procedente de lodos activos parece ser un sistema eficiente y de fácil disponibilidad, derivada de los biotratamientos de aguas residuales.

Se enfatiza en la producción de metalotioninas, en la acumulación de metales particulados, en la precipitación extracelular y en la formación de complejos procesos bioquímicos que llevan a cabo biomasa de células vivas. El proceso de biorecuperación de contaminantes a partir de biomasa viva puede ser difícil no solo a causa de los metales pesados, sino también debido a las condiciones ambientales del Bioproceso como la temperatura, el pH y las concentraciones y tipo de metales. Para facilitar los métodos se debe proceder con procesos iniciales de adaptación de la biomasa

a diferentes concentraciones de los metales a recuperar o a descontaminar. Se debe tener en cuenta además el efecto de la aireación y de la agitación.⁷⁻⁸

Parece ser que el uso de biomasa muerta tiene ventajas sobre las células vivas: no es necesario adicionar nutrientes, resulta inmune a la toxicidad o a condiciones de operación adversas, la recuperación de los metales es más fácil por medio de tratamientos que permiten la regeneración de la biomasa y la propia biomasa puede obtenerse de manera más económica, como un producto industrial de desecho. Para algunos tipos de biomasa y elementos como el uranio y el torio, la eliminación parece ser completamente por un proceso de biosorción independiente del metabolismo.⁴⁻⁵

Cuando se trata de la recuperación de metales valiosos, el consenso general es utilizar preparaciones de células microbianas inmovilizadas vivas o muertas o en forma de copos o masas.¹¹⁻¹²

Cuando no se trata de elementos valiosos, en donde no resulta de interés su recuperación, la biomasa contaminada resulta un problema; por lo tanto cualquier proceso deberá producir volúmenes bajos y residuos que se puedan reutilizar en procesos de reciclaje al incorporarlos de nuevo a su ciclo de vida.⁴

Bibliografía.

1. **Bedell, G.W. y D. W. Darnall.** 1990 *Immobilization of non viable biosorbent, algal biomass for the recovery of metal ions.* In: *Biosorption of Heavy Metals.* B. Volesky (ed.) CRC Press. Boca Raton FL. Pp. 312-326
2. **Belliveau, B.H. M. E. Starodub. C. Cotter y J.T. Trevors.** 1987 *Metal resistance and accumulation in bacteria* *Biotechnol. Adv.* 5:101-127
3. **Beveridge J.T.** 1989 *In: Metal Ions and Bacteria.* T. J. Beveridge y R.J. Doyle (eds) John Wiley & Sons New York pp. 1-20
4. **Chalela, G. 2.001.** *Biosorción de cadmio por medio de Aspergillus niger y Rhizopus oryzae.* Universidad Industrial de Santander. CINBIN.

5. **Chalela, G. 2.001.** *Biosorción de mercurio por medio de Pseudomonas spp Circinella spp.* Universidad Industrial de Santander. CINBIN.
6. **Brierley. C.L.** 1990 a. *Bioremediation of metal contaminated surface and groundwater,* *Geomicrobiol. J.* 8: 201-223
7. **Brierley J.A.** 1990 b. *En: Biosorption of Heavy Metals.* B. Volesky (ed) CRC Press. Boca Raton. FL pp 305-311
8. **Brierley J.A. y C.L. Brierley.** 1983. *Biomineralization and Biological metal accumulation.* Reidel Publ. Dordrech, pp. 499-509
9. **Brierley J.A. G. M. Goyak y C.L. Brierley.** 1986 *En Immobilisation of ions by Bio-sorption* H. Eccles y S. Hunt (eds) Ellis - Horwood. Chichester spp. 105-117
10. **Brierley, C.L. D. P. Kelly K. J. Seal y D. J. Best.** *Biotechnology. Principles and Applications* I.J. Higgins. D.J. Best y J. Jones (eds) Blackwell. Oxford pp. 163-212
11. **De Rome. L. Y G.M. Gadd,** 1991 *Use of pelleted and immobilized yeasts and fungal biomass for heavy metal and radionuclide recovery,* *J. Ind Microbiol* 7:97-104
12. **Ehrlich, H.L Y C.L. Brierley (eds)** 1990 *Microbial Mineral Recovery* McGraw Hill.