

Determinación de la capacidad de adsorción de cromo (VI) por biomasa bacteriana

Adsorption Capacity Determination of Chromium (VI) by Bacterial Biomass

MSc. Dannis A. Cascaret-Carmenaty, Lic. Orlindes Calzado-Lamela,

Dra. C. Rosa M. Pérez-Silva

dacascaret@cnt.uo.edu.cu; lamelat@ct.uo.edu.cu; rmaria@cebi.uo.edu.cu

Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Oriente, Cuba

• Resumen

La tecnología adsorción por biomasa bacteriana es capaz de remover los metales pesados presentes en aguas residuales. En este trabajo se realizó el aislamiento y selección de cepas bacterianas del residual de la planta galvánica; se aislaron cuatro cepas resistentes a metales pesados, de ellas la cepa AR-1 reporta la mayor capacidad de adsorción de cromo (VI). Los experimentos de bioadsorción mostraron que la biomasa obtenida de la cepa AR-1 es capaz de remover el 90,1 % de cromo (VI) de la solución patrón estudiada a un valor de pH de 6 unidades y una masa de adsorbente de $0,6 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$; sin embargo, en una matriz real con $1,16 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ se logra disminuir la concentración a $0,23 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, lo cual corresponde a un porcentaje de remoción del 80,1 %.

Palabras clave: cromo, bioadsorción, aguas residuales, contaminación, metales.

• Abstract

The bacterial biomass adsorption technology is able to removing heavy metals from wastewater. In this paper the isolation and selection of bacterial strains residual galvanic plant was performed, four isolates were resistant to heavy metals, of which the AR-1 strain has the largest adsorptivity chromium (VI). Biosorption experiments showed that the biomass obtained from the AR-1 strain is able to remove 90,1 % of chromium (VI) in the standard solution studied to a pH value of 6 units and a mass of adsorbent for $0,6 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$; however, in a real womb with $1,16 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ is achieved the concentration decreasing to $0,23 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, which corresponds to a removal percentage of 80,1 %.

Keywords: chromium, biosorption, waste waters, pollution, heavy metals.

•Introducción

Desde hace varias décadas se estudian y desarrollan métodos para disminuir o eliminar la contaminación provocada por los residuales con contenido metálico que se generan en las industrias, los cuales son vertidos sin tratamiento previo al medio ambiente. Para tratar este tipo de residual se dispone de métodos electroquímicos, técnicas de precipitación, membranas semipermeables, resinas de intercambio iónico, entre otras; si bien cada técnica es efectiva para una situación particular, el problema de aplicar procesos complicados y poco convenientes desde el punto de vista económico ha orientado la búsqueda de métodos más baratos, de fácil aplicación, soportados sobre la base de principios ecológicos.

En los últimos años se ha incrementado el interés en el empleo de sistemas biológicos para el tratamiento de las aguas contaminadas con metales pesados, cuya disposición puede agravar la contaminación ambiental. La selección de tecnologías adecuadas, teniendo en cuenta las características de los contaminantes a tratar, además del aprovechamiento del amplio espectro de reacciones metabólicas que exhiben los organismos vivos, constituye un aspecto a tener en cuenta en la concepción de sistemas de tratamiento que minimicen los impactos que ocasiona el vertido de residuales al ambiente /1, 2/. Por lo antes expuesto este trabajo tuvo como objetivo evaluar la capacidad de absorber Cr (VI) que posee la biomasa obtenida de cepas bacterianas, aisladas del residual generado en la Planta Galvánica “30 de noviembre” de Santiago de Cuba.

• Métodos experimentales

La bioadsorción de iones metálicos usualmente puede modelarse en dos tipos: 1) Modelo Langmuir, en el cual el aumento del consumo de metal por la biomasa alcanza un equilibrio; y 2) Modelo de Freundlich, en el cual el aumento del consumo del metal por la biomasa incrementa con el tiempo /2/. En esta investigación se trabajó la modelación del proceso de adsorción de Cr (VI) por el modelo de Langmuir, el que describe que el consumo de metal (mg de metal g⁻¹ de biomasa) es calculado de acuerdo con la ecuación:

$$q = (C_0 - C_e) / X \quad (1)$$

donde:

q- capacidad de bioadsorción

X- concentración de biomasa

C_0 - concentración inicial

C_e - concentración del metal en disolución en función del tiempo.

El modelo cinético para la bioadsorción del metal fue:

$$\frac{dC}{dt} = -K_1(q_m - q)C + K_2 * q \quad (2)$$

donde:

K_1 y K_2 : son coeficientes de velocidad de adsorción y desorción, respectivamente

C : concentración del ion metálico

q_m : capacidad máxima de adsorción.

$$\frac{C_e}{q} = \frac{K_d}{q_m} + \frac{1}{q_m} C_e \quad (3)$$

$$K_d = \frac{K_1}{K_2} \quad (4)$$

Los parámetros de equilibrio K_d y q_m para la isoterma de Langmuir (ecuación 4) fueron determinados de los valores de la pendiente ($1/q_m$) e intercepto (K_d/q_m) por la regresión lineal obtenida de C_e/q vs $C_e/4$. Los fenómenos de biosorción se caracterizan por la retención del metal mediante una interacción fisicoquímica del metal con ligandos pertenecientes a la superficie celular. Esta interacción se produce con grupos funcionales expuestos hacia el exterior celular, pertenecientes a partes de moléculas componentes de las paredes celulares, como por ejemplo carboxilo, amino, hidroxilo, fosfato y sulfhidrilo. Es un mecanismo de cinética rápida que no presenta una alta dependencia con la temperatura, y en muchos casos puede estudiarse en detalle mediante la construcción de los modelos de isotermas de Langmuir y Freundlich /5/.

Ambos mecanismos microbianos descritos remueven los metales pesados de efluentes contaminados. Los microorganismos autóctonos que sobreviven en sitios contaminados han desarrollado mecanismos de resistencia y/o tolerancia muy útiles a la hora de la implementación de procesos de biorremediación. La experiencia para estudiar la capacidad de adsorber cromo (VI), que posee la biomasa de las cuatro cepas aisladas en soluciones acuosas, se desarrolló por

triplicado en matraces erlenmeyers de 50 mL de capacidad; dichos matraces contenían las alícuotas del metal estudiado para obtener las concentraciones deseadas y la biomasa obtenida a partir de un cultivo centrifugado.

• Resultados y discusión

En los procesos de remediación se han usado cepas del género *Pseudomonas*, *Penicillium*, *Aspergillus* y *Bacillus*, entre muchos otros microorganismos. El rol fundamental de los mismos es proporcionar sitios de nucleación adecuados asociados a las superficies celulares /5/. Las bacterias pueden ser biosorbentes muy eficientes de metales. Es por ello que las tecnologías basadas en el uso de cepas bacterianas ofrecen una alternativa viable o ayudan a las técnicas convencionales en la eliminación y/o recuperación de metales.

Selección del adsorbente y estudio del proceso bioadsorción en función del pH

Para la selección del adsorbente con mayor capacidad de remover los iones cromo (VI) en las soluciones estudiadas, se consideraron las condiciones de pH y concentración del elemento objeto de estudio en el medio natural donde fueron aisladas las cepas bacterianas. La tabla 1 reporta los resultados obtenidos para cada cepa; se observa que la cepa 1 es la que refiere mejores resultados, pues es capaz de remover el 39,6 % de los iones cromo (VI) presentes en la solución.

Tabla 1. Remoción de cromo (VI) por las cepas bacterianas aisladas

Cepa	Concentración final (mg·dm ⁻³)	% de remoción
AR- 1	0,70	39,6
AR- 2	0,92	21,0
AR- 3	1,05	9,4
AR- 4	1,09	6,0

pH: 2,9 (U) C(Cr⁶⁺) = 1,16 mg·dm⁻³

La remoción del cromo (VI) en función de los valores de pH se muestra en la figura 1 para la cepa seleccionada. De estos resultados se infiere que el valor del pH de la solución es un factor importante en los procesos de adsorción, debido a la posibilidad de adhesión que tiene la pared

celular de algunos microorganismos que contienen grupos aminos, amidas, hidroxilos y carboxilos, que pueden estar protonados o no, en dependencia del pH de la solución en contacto.

Incrementos del pH aumentan el número de cargas negativas en la superficie del adsorbente y existe un número relevante de grupos funcionales desprotonados que favorecen la atracción electroquímica de los cationes. Es interesante considerar que puede existir competencia de los cationes presentes en la solución con los iones hidronios en los sitios activos del adsorbente de naturaleza biológica. En este caso, a un valor de pH de 6 unidades se evidencia el mayor porcentaje de remoción de cromo (VI), lo cual se corresponde con la literatura reportada /6/.

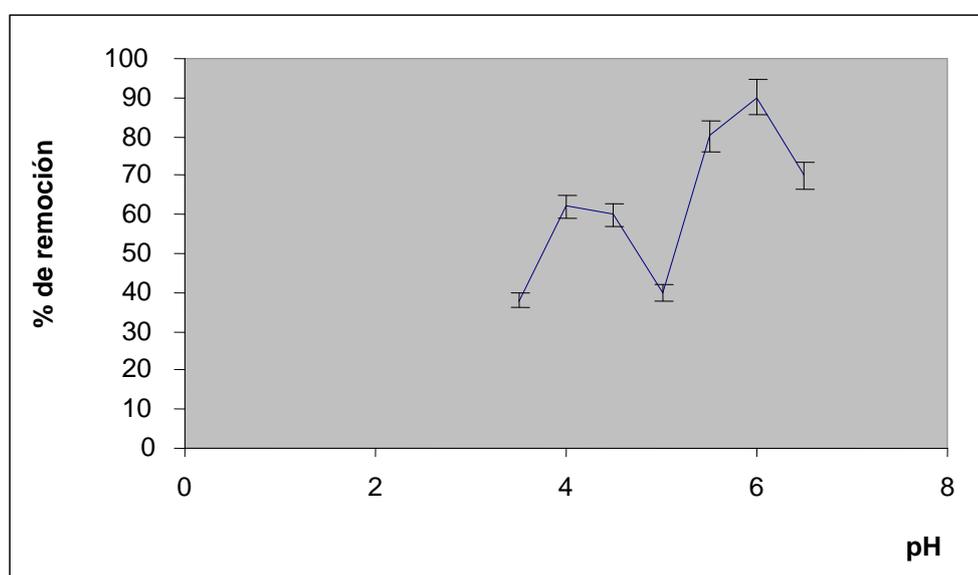


Fig. 1 Remoción de Cr (VI) en función del pH

Esta tendencia de dependencia del pH indica que la remoción del metal, además de asociarse físicamente, puede estar ocurriendo a través de un mecanismo de intercambio iónico.

En la actualidad se ha trabajado con adsorbentes de naturaleza diferente, y los resultados del proceso de adsorción en función del pH pueden ser variables según la naturaleza y composición de los sitios de adsorción del material estudiado. Pueden referirse los resultados obtenidos con *Sargassum sp.*, *R. arrhizus*, *R. nigricans*, *Larrea tridentata*, *Medicago sativa* y *Mucor meihi*, que reportan valores óptimos de adsorción en función del pH de 3,0; 2,0; 2,0; 6,0; 5,0 y 4,0 unidades, respectivamente /7-9/.

La biomasa obtenida por la cepa AR-1 reporta los mejores niveles de adsorción del elemento estudiado bajo las condiciones experimentales ensayadas. El nivel de concentración de cromo (VI) analizado es de $1,16 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, teniendo en cuenta que es el valor medio de concentración

de cromo (VI) en el residual, un valor de pH de 6 unidades determinado en los experimentos de dependencia de la adsorción en función del pH y una dosis de adsorbente de $0,6 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$ según se establece /10/. Bajo estas condiciones el biomaterial es capaz de alcanzar un porcentaje de remoción del 90,1 % del elemento metálico. Es de vital importancia el hecho de que esta cepa presenta cadenas con esporas terminales, característica estructural que le permite una mayor resistencia a condiciones extremas del medio en que habita.

Estudio del tiempo óptimo de adsorción

El estudio del tiempo óptimo de adsorción de cromo (VI) fue realizado con la cepa AR-1. La cantidad de cromo (VI) adsorbida por la biomasa seleccionada en el experimento realizado se muestra en la tabla 2. Se observa que la adsorción del cromo (VI) es dependiente del tiempo, lo cual sugiere que la retención del ion puede ser a través de la interacción con grupos funcionales localizados en la superficie de la biomasa bacteriana utilizada. A partir de los 30 min de contacto del adsorbente con la solución estudiada fue adsorbido el 90,1 % del cromo (VI) existente en el medio y se alcanzó rápidamente el equilibrio.

Tabla 2. Remoción de Cr (VI) en función del tiempo de contacto

Tiempo (min)	% de remoción
5	68,0
10	75,2
15	80,3
30	90,0
60	90,1
90	90,1

Estudio de la capacidad de adsorción

El experimento para estudiar la capacidad que posee la biomasa de la cepa bacteriana seleccionada (cepa AR-1) de adsorber los iones cromo (VI) en disoluciones acuosas, se desarrolló por triplicado en matraces erlenmeyers de 100 mL de capacidad; dichos matraces contenían la masa de adsorbente establecida ($0,6 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$) y las soluciones del metal a los niveles de concentración establecidos.

La adsorción de iones metálicos usualmente puede modelarse utilizando el modelo de Langmuir, en el que el aumento del consumo de metal por la biomasa alcanza el equilibrio en función del tiempo /11/.

La isoterma de adsorción de Langmuir es un modelo no lineal que está basado sobre un equilibrio de primer orden. En este modelo, el metal adsorbido cubre una monocapa en la superficie homogénea del sólido, donde todos los sitios de unión tienen una energía uniforme de adsorción sin interacción entre las moléculas adsorbentes.

El modelo de la adsorción de Langmuir fue utilizado para evaluar el comportamiento del fenómeno de la adsorción. Este modelo se utilizó para estimar los valores máximos del consumo de los iones cromo (VI) por la biomasa.

La tabla 3 describe los parámetros del modelo de Langmuir y el coeficiente de correlación para la bioadsorción del cromo (VI). La capacidad máxima de adsorción del metal (q_m) alcanza un valor de $0,0155 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ a un valor de pH óptimo de 6 unidades.

Tabla 3. Parámetros cinéticos de la isoterma de adsorción de Langmuir para cromo (VI)

Metal	pH	Langmuir		
		kd	q_m ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	r^2
Cr (VI)	6,0	0,001 2	0,015 5	0,987 1

El comportamiento gráfico del proceso de adsorción según el modelo linealizado de la isoterma de Langmuir se observa en la figura 2; se obtienen las constantes de adsorción y un coeficiente de correlación de 0,987 1. La tendencia lineal de este comportamiento en las condiciones del experimento demuestra que el proceso puede estudiarse utilizando el modelo seleccionado; aunque normalmente este es más apropiado para el estudio de sistemas al estado gaseoso /4/.

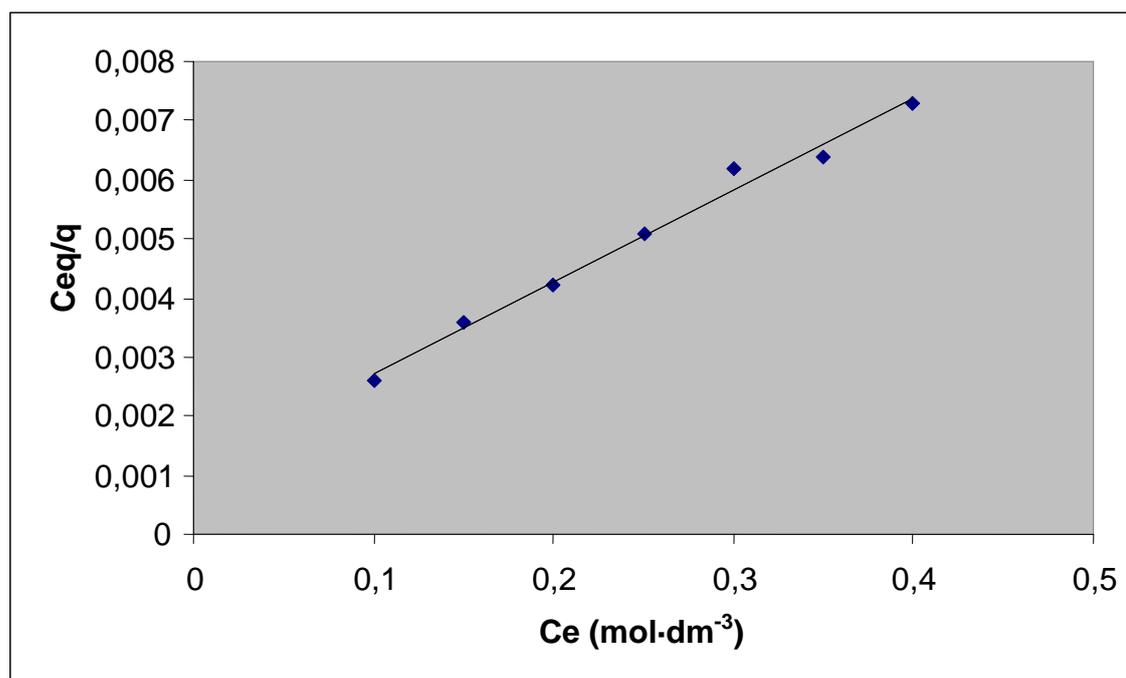


Fig. 2 Isoterma de adsorción de Langmuir para la adsorción de Cr (VI)

Evaluación de la remoción de cromo (VI) por la cepa bacteriana seleccionada en una matriz real

De la evaluación de la remoción de cromo (VI) por la biomasa obtenida a partir de la cepa AR-1 en una muestra del residual del sedimentador de la Empresa Conformadora “30 de noviembre” se obtuvo que para las condiciones de trabajo establecidas en los experimentos descritos anteriormente, el porcentaje de remoción del metal es de 80,1 % para una disminución del metal desde $1,16 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ a $0,23 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Este valor aún se sitúa por encima de los límites permisibles para las descargas de aguas residuales a las zonas costeras y cuerpos receptores ($0,1 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) (NC 521: 2007), pero puede considerarse como un buen resultado para continuar los estudios en este sentido, teniendo en cuenta que es una matriz polimetálica donde puede existir competencia de otros cationes en los sitios activos del adsorbente, dada la composición de la pared celular de la cepa bacteriana estudiada.

• Conclusiones

De cuatro cepas bacterianas resistentes a metales pesados estudiadas, la cepa AR-1 reporta la mayor capacidad de adsorción, puesto que logra remover el 90,1 % del cromo (VI) a un valor de pH de 6 unidades y una masa de adsorbente de $0,6 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$, además de ser capaz de remover los iones cromo (VI) en una matriz real de $1,16 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ a $0,23 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, lo cual corresponde a un porcentaje de remoción del 80,1 %.

• Bibliografía

1. CARMONA, M. E. R.; DA SILVA, M. A. P.; FERREIRA LEITE, S. G. “Biosorption of chromium using factorial experimental desing”. *Process biochemistry*. 2004, vol. 40, núm. 2, p. 779-788.
2. VULLO, D. L. Microorganismos y Metales Pesados: “Una interacción en beneficio del Medio Ambiente”. *Revista Química Viva*. 2003, vol. 3, núm. 2, p. 47-56.
3. GADD, G. M. “Microbial influence on metal mobility and application for bioremediation”. *Geoderma*. 2004, vol. 122, núm. 2-4, p. 109-119.
4. JONG, T.; Parry, D. L. “Adsorption of Pb(II), Cu(II), Cd(II), Zn(II), Ni(II), Fe(II), and As(V) on bacterially produced metal sulphides”. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2004, 275, p. 61-71.
5. LANGMUIR, I. “The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum”. *Journal of the American Chemical Society*. 1918, vol. 40, núm. 9, p. 1361-1403.
6. HURSTHOUSE, A. S. “The relevance of speciation in the remediation of soils and sediments contaminated by metallic elements -an overview and examples from Central Scotland, UK”. *Journal of Environmental Monitoring*. 2001, vol. 3, núm. 1, p. 49-60.
7. HUSSEIN, H.; FARAG, S.; KANDIL, K.; MOAWAD, H. “Tolerance and uptake of heavy metals by pseudomonads”. *Process Biochemistry*. 2005, vol. 40, núm. 2, p. 955-961.
8. LLOYD, J. R., et al. “Biochemical and genetic characterization of PpcA, a Periplasmic c-Type Cytochrome in *Geobacter Sulfurreducens*”. *Biochemical Journal*. 2003, vol. 369, núm. 1, p. 153-161.
9. SAG, Y.; KUTSAL, T. “Fully competitive biosorption of Chromium (VI) and Iron (III) ions from binary metal mixtures by *R. Arrihizus*: Use of the competitive Langmuir model”. *Process Biochem*. 1996, vol. 31, núm. 6, p. 573-585.
10. PÉREZ, R. M.; ÁBALOS, A.; GÓMEZ, J. M.; CANTERO, D. “Biosorption of Chromium, Copper, Manganese and Zinc by *Pseudomonas aeruginosa* AT18 Isolated from a site contaminated with petroleum”. *Bioresource Technology*. 2009, vol. 100, núm. 4, p. 1533-1538.

11. PÉREZ, R.; LAMELA, O.; CASCARET, D.; TUR, E. 2014. "Cr(VI) adsorption by *Cocos nucífera* L. in wastewater of fibrocement from Santiago de Cuba". *Revista Colombiana de Biotecnología*. 2014, vol. 16, núm. 1, p. 9-18.