

Optimización del proceso de bioadsorción de Cr (VI) mediante biomasa de *Opuntia*

Avilés, M.D., Angosto, J.M. y Fernández-López, J.A.
 Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Universidad Politécnica de Cartagena.
 Paseo de Alfonso XIII 52, 30203 Cartagena (Murcia)
 Teléfono: 968327077
 E-mail: mdolores.aviles@gmail.com

Resumen. En este estudio se presentan las condiciones óptimas de operación para la eliminación de cromo hexavalente en disoluciones acuosas con bajas concentraciones, mediante el empleo de biomasa de *Opuntia* protonada (*ectodermis*). La bioadsorción de Cr (VI) depende en gran medida del pH, consiguiéndose la mayor eliminación a pH 2. La optimización del proceso indica, que a temperatura ambiente, la dosis más efectiva de biomasa es 1 g/L y una concentración metálica inicial de 30 mg/L. Los resultados obtenidos revelan que estamos ante un bioadsorbente de bajo coste, que podría utilizarse para la eliminación de metales pesados en efluentes industriales.

1. Introducción

La contaminación de las aguas por metales pesados constituye un importante problema para el medio ambiente en general, por las características nocivas de éstos, y de ahí que los países desarrollados sean cada vez más estrictos en la adopción de legislación medioambiental, con objeto de promover la adopción de medidas preventivas, y desarrollar nuevas tecnologías, que permitan disminuir de manera considerable el nivel de metales pesados en los efluentes industriales [1].

En este sentido, la bioadsorción se presenta como una tecnología eficaz y económica para la eliminación de metales pesados de efluentes acuosos, cuando están presentes en bajas concentraciones, frente a otras técnicas clásicas de separación. En los últimos años, el proceso de bioadsorción ha sido ampliamente estudiado para la biorremediación de efluentes industriales contaminados con metales pesados [2].

Por otro lado, la gran cantidad de subproductos industriales producidos por la acción humana, exigen la búsqueda de posibles usos alternativos de estos residuos de diferente naturaleza, que minimicen el impacto ambiental ocasionado en su gestión. La valorización y reciclado de estos subproductos como bioadsorbentes de metales pesados, puede constituir una alternativa atractiva desde el punto de vista medioambiental.

La biomasa utilizada en estos procesos de bioadsorción puede tener un origen diverso, siendo las bacterias, hongos y algas los principales organismos estudiados [3]. En los últimos años, la biomasa de origen vegetal constituye un gran potencial para utilizar como material bioadsorbente debido a su abundancia, a su bajo coste y fácil disponibilidad [4].

En muchos estudios, con objeto de incrementar la capacidad de eliminación de metales pesados de los efluentes acuosos, la biomasa se suele someter a tratamientos previos como ácidos, bases, detergentes, etc. [5]. Los complejos mecanismos que intervienen en el proceso de bioadsorción exigen de un estudio físico-químico para conocer el comportamiento de un determinado bioadsorbente.

El objetivo del presente trabajo es realizar un estudio preliminar del potencial de la *ectodermis* del fruto de *Opuntia* para eliminar iones Cr (VI) en efluentes acuosos en bajas concentraciones, para lo que procederá a estudiar los efectos del pH, dosis de biomasa empleada y concentración inicial del metal a eliminar.

2. Materiales y métodos

2.1. Acondicionamiento de la biomasa

Los frutos de *Opuntia* eran recolectados en Alhama (Murcia). Tras la eliminación de los gloquidios, los frutos se lavaron con agua destilada y se pelaron para obtener la *ectodermis*, que se secó en estufa a 60 °C hasta peso constante. Posteriormente, la muestra se trituró y se tamizó, obteniendo varias fracciones. Se eligió la fracción comprendida entre 0,85-0,5 mm, para realizar el presente estudio.

Para la protonación de la biomasa se añadieron 10 g de *ectodermis* en 145 mL de H₂SO₄ 1M durante 24 horas. Después, la biomasa se lavó tres veces con agua destilada, se secó a temperatura ambiente durante tres días y almacenada en un desecador hasta su utilización.

2.2. Experimentos de bioadsorción

Inicialmente se preparó una disolución de Cr (VI) en una concentración de 1g/L usando K₂Cr₂O₇ (Panreac, Barcelona) y agua desionizada (Milli-Q).

Las diferentes disoluciones de Cr (VI) se prepararon a partir de esa inicial por dilución. El valor de pH era ajustado en cada caso, con la adición de NaOH 0.1M o HCl 0.1M.

Los experimentos de bioadsorción se realizaron en frascos erlenmeyer que contenían 100 mL de la disolución sintética de Cr (VI), y se colocaron en un agitador orbital a 150 rpm, durante 48 horas y a temperatura ambiente.

Para estudiar el efecto del pH (2 a 8) se prepararon disoluciones de Cr (VI) de 10 mg/L y se le añadieron 0.05 g de biomasa protonada. Los valores de pH eran determinados con un pH-metro Crison GPL 22 (Barcelona). En el estudio de las diferentes dosis de bioadsorbente, se añadieron 0.5, 1 y 2 g/L a disoluciones que contenían 10 mg/L de Cr (VI). Para estudiar la influencia de las concentraciones de Cr (VI) se emplearon disoluciones de 5, 10, 30, 50 y 70 mg/L, a las que se les añadieron 1 g/L de biomasa.

Como paso previo a las determinaciones analíticas de las concentraciones de Cr (VI), las muestras eran filtradas utilizando un filtro de 0.45 μm PVDF Millex. Las determinaciones de Cr (VI) se realizaron mediante ICP-Masas (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA).

Los resultados eran expresados como % de cromo eliminado, calculado con la siguiente expresión: $\text{Cr (VI) eliminado} = (C_0 - C_f / C_0) \times 100$, donde C_0 y C_f son las concentraciones iniciales y finales respectivamente, y como q_e , que representa la cantidad en mg de Cr (VI) eliminado por cada gramo de bioadsorbente empleado.

3. Resultados y discusión

3.1. Efecto del pH en el proceso de bioadsorción de Cr (VI)

El pH de la disolución es un parámetro importante en el proceso de bioadsorción, tanto por la extracción de iones metálicos de la disolución acuosa como por la competencia con los protones por los centros activos. Por tanto, desde el momento que el pH influye significativamente en la eliminación de metales pesados, es un parámetro fundamental a estudiar para establecer las mejores condiciones de bioadsorción de los iones Cr (VI).

Por ello, se ha realizado un estudio de la influencia del pH de la disolución acuosa en la cantidad de iones Cr (VI) eliminados, manteniendo constantes el resto de parámetros (concentración de metal, temperatura y dosis de adsorbente), con la finalidad de establecer el pH óptimo del proceso de bioadsorción.

En la figura 1, se muestra la cantidad de Cr (VI) eliminado, expresado como mg Cr (VI)/g de bioadsorbente utilizado para el rango de pH de 2 a 8,

utilizando *Ectodermis* de *Opuntia* protonada y con un tiempo de contacto de 48 horas. Como se puede observar, la cantidad máxima de Cr (VI) eliminado tiene lugar para un valor de pH 2.

Resultados similares a los obtenidos en este estudio han sido encontrados por otros autores [6-7], que indican que en sus estudios de bioadsorción con iones Cr (VI), la mayor eliminación ocurre a un valor de pH de 2 y que este valor de pH es independiente de la concentración metálica.

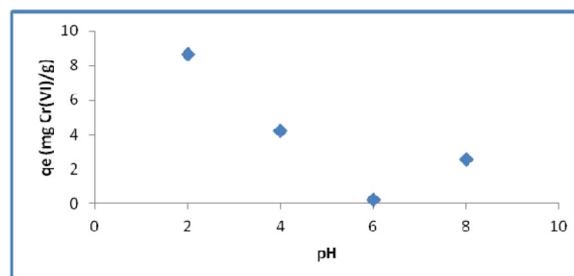


Fig. 1. Efecto del pH en la bioadsorción de Cr (VI) usando *Ectodermis* de *Opuntia* protonada (tiempo contacto: 48 h; temperatura ambiente; dosis de bioadsorbente 0.5 g/L).

González Bermúdez *et al.* [7] señalan que la disminución de Cr (VI) eliminado con el aumento del pH puede ser debido al descenso de la fuerza de atracción electrostática entre los iones metálicos y el adsorbente. A valores de pH bajos, debido a la mayor fuerza de atracción, el porcentaje de Cr (VI) eliminado es alto. Estos valores sugieren que el valor de pH, afecta a la solubilidad de los iones metálicos y al estado de ionización de grupos funcionales de la pared celular del bioadsorbente. Además, podemos observar que las menores cantidades de Cr (VI) eliminado se obtienen para un valor de pH 6, lo que puede ser debido a un proceso de precipitación del Cr (VI).

Podemos concluir que con los datos que hemos obtenido en nuestro estudio, la mayor cantidad de Cr (VI) eliminado es de 8,67 mg/g de bioadsorbente empleado, y se consiguió para un valor de pH 2, por lo que este valor de pH será definido como pH óptimo a emplear en el resto de experimentos a realizar.

3.2. Efecto de la dosis de bioadsorbente en el proceso de bioadsorción de Cr (VI)

La cantidad de iones Cr (VI) eliminado en función de las dosis de bioadsorbente empleado se recoge en la figura 2, en la que se expresa en mg de Cr (VI) eliminado por g. de bioadsorbente empleado y como % de Cr (VI) eliminado, obteniéndose como mejor dosis de adsorbente la de 1 g/L, ya que se consigue un 84 % de eliminación de Cr (VI), y un valor de q_e 8,34 mg de Cr (VI)/ g. de adsorbente. Este valor de dosis de adsorbente será empleado en los siguientes ensayos.

Algunos investigadores han encontrado que el aumento en la eliminación del ión metálico con el aumento de la dosis de bioadsorbente es debido a la mayor disponibilidad de sitios activos o a la mayor área superficial a mayores concentraciones de adsorbente [8].

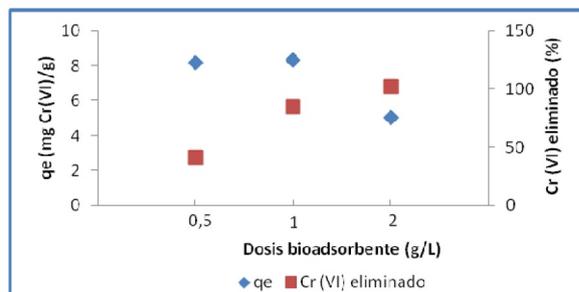


Fig. 2. Efecto de la dosis de adsorbente en el proceso de bioadsorción usando *ectodermis* de *Opuntia* (tiempo de contacto 48 h; temperatura ambiente; concentración inicial de metal de 10 mg/L; pH: 2).

3.3. Efecto de la concentración inicial de Cr (VI)

Se estudió el efecto de la concentración inicial de metal a diferentes concentraciones (5, 10, 30, 50 y 70 mg/L), como se muestra en la figura 3. Se puede observar que la cantidad de Cr (VI) eliminado aumenta conforme aumenta la concentración inicial del metal. Cuando la concentración de Cr (VI) aumenta de 5 a 70 mg/L; la cantidad extraña aumenta de 2,17 a 8,27 mg/g. En cambio, las mejores condiciones teniendo en cuenta de manera simultánea los dos parámetros estudiados, sería la concentración inicial de Cr (VI) de 30 mg/L, que muestra un valor de q_e de 5,31 mg/g y un % de Cr (VI) eliminado de 17,5%.

Tal y como señala Yu *et al.* [10], a bajas concentraciones metálicas, el ratio número de moles de iones metálicos con respecto al área superficial disponible es muy grande, y por consiguiente, el proceso de bioadsorción es independiente de la concentración inicial. En cambio, a altas concentraciones metálicas, los sitios disponibles son menores, y entonces, el porcentaje de iones metálicos eliminados depende de la concentración inicial.

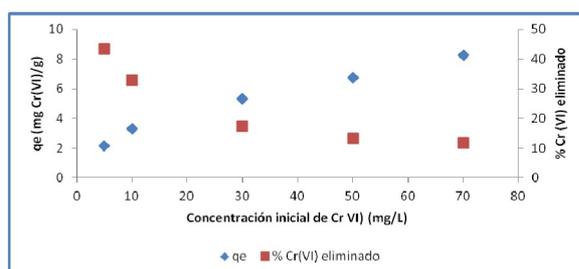


Fig. 3. Efecto de la concentración inicial de Cr (VI) en el proceso de bioadsorción usando *ectodermis* de *Opuntia* (tiempo de contacto 48 h; temperatura ambiente; dosis de adsorbente: 1 g/L; pH: 2).

4. Conclusiones

La *ectodermis* de *Opuntia* protonada es un material adsorbente de bajo coste, que puede utilizarse para eliminar iones Cr (VI) en disoluciones acuosas en bajas concentraciones. Este trabajo demuestra que a temperatura ambiente, las mejores condiciones de bioadsorción se consiguen para un valor de pH 2, una dosis de bioadsorbente de 1g/L y con una concentración metálica inicial de 30 mg/L.

Referencias

- [1] Gupta, V. P., Jain, C.K., Ali, I., Sharma, M., Saini, V.K. (2003) Removal of cadmium and nickel from wastewater using bagasse foy ash a sugar industry wate. *Water Res.* 37: 4038-4044.
- [2] Volesky, B., Weber, J., Park, J.M. (2003) Continuous-flow metal biosorption in a regenerable *Sargassum*. *Water Res.* 37: 297-306.
- [3] Jain, A.K., Gupta, V. K., Jain, S., Suhas (2004) Removal of chlorophenols using industrial wastes. *Environ. Sci. Technol.* 38: 1195-1200.
- [4] Mona, S., Kaushik, A., Kaushik, C. P. (2011) Bioporsion of reactive dye by wate biomass of *Nostoc linckia*. *Ecol. Eng.* 37: 1589-1594.
- [5] Altun, T., Pehlivan, E. (2012) Removal of Cr (VI) from aqueous solutions by modified walnut shells. *Food Chem.* 132: 693-700.
- [6] Yang, L., Chen, J. P. (2008) Biosorption of hexavalent chromium onto raw and chemical modified *Sargassum* sp. *Bioresour. Technol.* 99: 297-307.
- [7] Aksu, Z., Ertugrul, S. Dönmez, G. (2009) Single and binary chromium (VI) and Remazol Black B biosorption properties of *Phormidium* sp. *J. Hazard. Mater.* 168: 310-318.
- [8] Gonzalez Bermudez, Y., Rodríguez Rico, I. L., Guibal, E., Calero de Hoces, M., Martín-Lara, M.A. (2012) Biosorption of hexavalent chromium from aqueous solution by *Sargassum muticum* brown alga. Application of statistical design for process optimization. *Chem. Eng. J.* 183:68-76.
- [9] Yu, L.J., Shukla, S.S., Dorris, K. L., Shukla, A., Margrave, J. L. (2003) Bioporsion of chromium from aqueous solutions by maple sawdust. *J. Harzard. Mater.* 100: 53-63.