

TRATAMIENTOS PARA LA REMOCIÓN DE CROMO (VI) PRESENTE EN AGUAS RESIDUALES.

Methods for removal of Chromium (VI) from wastewater.

Oscar Fabián Artunduaga Cuellar¹

Resumen

Se realizó una revisión bibliográfica; de los diferentes sistemas y métodos convencionales y utilizados en el tratamiento de aguas residuales contaminadas con Cromo (VI). Con el fin de evaluar y analizar las diferentes alternativas planteadas desde la ciencia y la industria, en cuanto a la eficacia con respecto a la remoción de este tipo de metal pesado, así como sus ventajas y desventajas.

Actualmente y debido a la importancia que se le ha dado a la remoción de los compuesto tóxicos para el ambiente y la salud; se han implementado tratamientos eficientes y menos costosos que a través del usos de sustratos o sistemas biológicos, permiten la eliminación de contaminantes inorgánicos de forma más sencilla y eficiente.

Dentro de la investigación, se logró determinar que estas tecnologías toman un papel preponderante, actualmente el método más implementado y por consiguiente que destaca entre muchos es el de la remoción del Cromo hexavalente, implementando bioadsorbentes, puesto que, se logran remociones significativas e importantes del metal pesado a escala de laboratorio.

Palabras clave: Remoción de Cromo, adsorbentes, Agua residual industrial, Tratamiento terciario

Abstract

The removal of toxic compounds has gained importance in the health and environmental field. Treatment methods, obtained from biological systems, to remove toxic compounds have been implemented for being efficient and low cost alternatives for

¹ Ingeniero Ambiental. Estudiante Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, Instructor Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Centro de Desarrollo Agroempresarial y Turístico del Huila Calle 6 con carrera 7 Esquina . La Plata, Huila Colombia.
ofac18@hotmail.com

eliminating inorganic pollutants.

A literature review about unconventional and conventional systems as well as the different methods implemented in waste-water treatment contaminated with chromium (VI) was performed. The different alternatives offered by academia and industry were evaluated and analyzed in terms of the efficiency in the removal of Chromium. Its advantages and disadvantages were also assessed.

The results show that technologies based on biological systems take a leading role today. The most relevant and studied method for removal of hexavalent chromium is the one that uses biosorbents, given the significant results in removal of heavy metals in a laboratory scale.

Keywords: Chromium Removal, adsorbents, Waste water, tertiary treatment

1. Introducción

La actividad industrial y minera supone una preocupación importante para la Salud Pública, por la toxicidad que causa el desarrollo de estas y por la amplia variedad de fuentes de exposición, al arrojar al ambiente metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, arsénico, cromo, entre otros, dañinos para la salud humana y para la mayoría de formas de vida como lo indica Bermeo, (2009).

Colombia no es ajena a esta problemática, por ejemplo, en la extracción de oro artesanal que se realiza en el bajo Cauca antioqueño, se están vertiendo aproximadamente 67 ton/año de mercurio a ríos y arroyos, con los respectivos daños que este supone a la salud y a los ecosistemas, tal como lo refiere Colombia Minera (2011). Investigadores como Alzate, A. (2008) advierte que más del 90% de pequeñas y medianas industrias de curtiembres, hacen vertimientos de sus efluentes contaminados con cromo, sin

ningún tipo de tratamiento; contaminando fuentes hídricas a lo largo y ancho del territorio nacional; ocasionando daños a la salud y el ambiente.

Las fuentes habituales de aguas residuales que contienen grandes concentraciones de cromo hexavalente; compuesto químico considerado como cancerígeno; proceden principalmente de la industria de limpieza de metales, recubrimiento, curado, refinado de fosfato y bauxita, generación de cloro, fabricación de baterías y curtiembres (Alonso J, 2008).

El cromo y en general los metales pesados ejercen efectos biológicos que son perjudiciales para la mayoría de organismos; razón por la cual han sido catalogados como una clase emergente de cáncer en humanos (Farajzadeh M. y Monji M., 2004). Además de considerarse como un alérgeno, produce irritación cutánea, y daño en el ADN.

Elevadas concentraciones de algunos de estos elementos en el ambiente o en determinados procesos pueden desencadenar una serie de problemáticas que van desde la degradación y pérdida de fertilidad de suelos (Kizilkaya et al., 2004; Arias et al., 2005), hasta afectar procesos de tratamiento de aguas residuales. (Quiñones, et al, 2014), puesto que inhiben la acción metabólica de los microorganismos utilizados en la descontaminación de los recursos naturales (agua, suelo y aire) degradados por actividades antropogénicas.

La contaminación por cromo y el impacto en la salud pública, ha conducido al hombre a buscar alternativas para resolver este problema, utilizando métodos tradicionales (Ahalya, et al, 2005) como son: Osmosis inversa, electrodiálisis, ultrafiltración, intercambio iónico y precipitación química; pero el alto costo de los métodos convencionales llevó al desarrollo de alternativas tecnológicas, 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 uso, generándose además, un valor económico que contribuye a la sostenibilidad del sistema.

Sobre el proceso de remoción de cromo (VI) existen muchas investigaciones al respecto, sin embargo no se cuenta con una compilación de los diferentes tratamientos (alternativos y convencionales) implementados para eliminación de este metal pesado tan perjudicial para el ambiente y la salud pública.

En este trabajo se realizó una selección de literatura relacionada con la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales contaminadas con cromo hexavalente.

2. Metodología

Para la recolección de la información necesaria; se efectuó una revisión bibliográfica respecto a los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales, utilizados en la remoción del cromo hexavalente en las diferentes empresas que implementan este metal pesado como insumo en sus procesos productivos para elaboración, fabricación, de bienes y servicios.

Se recopiló la información correspondiente a los diferentes procesos implementados para el tratamiento de aguas residuales industriales contaminados con Cromo hexavalente (Cr 6+) y su grado de eficiencia en la remoción del metal pesado.

Dentro de esta revisión de literatura se tuvieron en cuenta tanto los sistemas convencionales como los alternativos utilizados como tratamiento terciario en la remoción de metales pesados; puesto que el pretratamiento, tratamiento primario y secundario son utilizados principalmente para remoción de carga orgánica, sólidos suspendidos, grasas y

aceites; y los encargados de remover contaminantes inorgánicos específicos son los tratamientos terciarios. Es ahí, en donde se eliminan compuestos tan contaminantes perjudiciales para la salud y el ambiente como lo son los metales pesados; dentro de este grupo el Cromo hexavalente, muy utilizado en actividades industriales.

3. Resultados

3.1. Tratamientos terciarios

Tienen como objetivo complementar los procesos que anteceden al agua residual dentro del sistema para lograr efluentes más puros, con menor carga contaminante que puedan ser reutilizados para otras actividades como recarga de acuíferos, recreación, agua industrial, etc.

Las sustancias o compuestos comúnmente removidos son: a. Fosfatos y nitratos, b. Huevos y quistes de parásitos, c. Sustancias tenso activas, d. Algas, e. Bacterias y virus, f. Sólidos totales y disueltos, g. Remoción de tóxicos específicos (metales pesados y compuestos inorgánicos), (OMS, 2002).

3.1.1. Tratamientos convencionales utilizados para la remoción de Cromo.

a. Intercambio iónico. Proceso por el cual ciertos iones no deseados son cambiados por otros iones, que están unidos a las partículas de una resina; normalmente los iones hidrógeno de la resina, se cambian por los cationes, y los iones hidroxilo de la resina se cambian por los aniones. Los iones hidrógeno e hidroxilo se combinan, formando agua pura. El proceso también es rápido y reversible (Maita, 2008; Ahalya, et al., 2005).

b. Osmosis inversa. Eliminación de iones metálicos por permeación a través de membranas semipermeables. La ósmosis inversa es capaz de remover hasta el 99.5 % de la

contaminación (Villanueva C., 2007).

c. Ultrafiltración. Es una operación de separación que comparte características de una filtración normal y de la ósmosis inversa. Consiste en la remoción de partículas coloidales y dispersas de un líquido que consiste en hacer pasar el mismo a través de una membrana aplicando alta presión (Ahalya, Ramachandra, & Kanamadi, 2003).

d. Precipitación química. Se entiende como la formación por acción de los reactivos apropiados, de compuestos insolubles con los iones metálicos indeseables contenidos en aguas residuales. El proceso tiene lugar al desolubilizarse el metal y formarse el precipitado (Martin, 2008).

e. Electrodialisis. Es un proceso de separación en el que se combina el efecto osmótico y el electrolítico para separar especies iónicas de una solución acuosa. Este método aprovecha la propiedad que tienen los iones en solución de migrar, al aplicarles un potencial eléctrico, los iones positivos se desplazan hacia el electrodo negativo (cátodo) y los iones negativos se desplazan hacia el electrodo positivo (ánodo) y el agua purificada se conduce al recipiente de almacenamiento (Driss, 2010).

Además de los métodos descritos, la tecnología de membranas, también ha sido usada para remover estos metales pesados de las aguas residuales de la industria. Sin embargo, estos procesos tienden a ser costosos, especialmente cuando los iones de estos metales están disueltos en soluciones acuosas en el orden de 1-100 mg/L. Asimismo, requieren una gran inversión de dinero en la capacitación del personal (Gupta, Babu, 2009).

Estos tratamientos alcanzan remociones superiores al 90% en cuanto a contaminantes específicos, en este caso metales pesados; infortunadamente esta tecnología se limita solo a grandes complejos industriales que cuentan con

los recursos suficientes para implementar estos sistemas en sus plantas de tratamiento de aguas residuales.

3.1.2. Tratamientos alternativos o no convencionales utilizados para la remoción de Cromo

a. Bio-adsorbentes

El proceso de adsorción consiste en la captación de diversas especies químicas por una biomasa, a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico (Pinzón-Bedoya y Vera-Villamizar, 2009).

El proceso de adsorción implica una fase sólida -biomasa- (sorbente o adsorbente) y una fase líquida (solvente) que contiene las especies disueltas (adsorbatos) que van a ser retenidas por el sólido. Para que este proceso se lleve a cabo debe existir afinidad del adsorbente por los adsorbatos, para que estos últimos sean transportados hacia el sólido donde van a ser retenidos por diferentes mecanismos. Esta operación continúa hasta que se establece un equilibrio entre el adsorbato disuelto y el adsorbato enlazado al sólido. (Cañizares-Villabuena, 2000.)

Rao Popuri et al, (2007), investigaron la adsorción de cromo (VI) en soluciones acuosas utilizando como material bioadsorbente la cáscara de tamarindo. Los experimentos se llevaron a cabo teniendo en cuenta diferentes parámetros experimentales como: pH, concentración inicial de iones de cromo y dosis de adsorbente en sistemas de lotes. Los resultados obtenidos han demostrado que las conchas de tamarindo tanto en su forma natural y tratadas con ácido oxálico y clorhídrico, son excelentes adsorbentes para la eliminación de los iones de cromo hexavalente, produciendo la muestra de cáscara de tamarindo tratada con ácido oxálico, una remoción máxima a pH 3.0 de

151.5 mg/g.

Gao et al, (2008), investigaron el uso de la espiga de arroz como adsorbente de Cr (VI) en soluciones acuosas. Se encontró que la velocidad de eliminación aumenta con la temperatura y con concentraciones iniciales de Cr (VI) bajas. La disminución del tamaño de las partículas del bioadsorbente aumenta su capacidad de remoción. El equilibrio se logra en 48 horas en condiciones normales. La capacidad de sorción de la espiga de arroz presentó un máximo de 3,15 mg / g.

Memon et al., (2009), describe el uso de cáscara de plátano, un residuo orgánico considerado como desperdicio que se produce habitualmente, para la eliminación de cromo (VI) de aguas residuales industriales. Se investigaron parámetros como pH, tiempo de contacto, la concentración inicial de iones metálicos, y la temperatura. La máxima remoción encontrada fue de 131.56 mg/g. Por lo tanto, se concluye que este material puede utilizarse eficazmente como un adsorbente para eliminar iones de cromo (VI) en aguas residuales industriales.

Pérez et al, (2009), estudiaron la habilidad de los residuos de naranja para remover Cr (III) de soluciones acuosas. Los resultados mostraron que cuanto mayor sea la dosis adsorbente y el pH, mayor es el porcentaje de eliminación de metal.

Jain et al., (2009), investigaron el potencial de las semillas de girasol, para remover Cr (VI) en aguas residuales simuladas en condiciones de procesos diferentes como pH, concentración del metal, dosis de adsorbente y tiempo de contacto. Las semillas de girasol tienen una máxima capacidad de adsorción de 7.9 mg/g.

Sánchez et al., (2013) evaluaron la capacidad de adsorción del carbón activado a partir del bagazo de caña de azúcar en la remoción del

Cromo (VI). Los resultados mostraron una remoción del metal pesado del 71,44% a una temperatura de 25°C.

Gupta y Babu, (2009), utilizaron el aserrín natural como adsorbente debido a la abundancia de este residuo. Los experimentos se llevaron a cabo mediante el sistema de lotes, investigando el efecto de parámetros importantes como pH inicial, el cambio en el pH durante la adsorción, el tiempo de contacto, cantidad de adsorbente y la concentración inicial de cromo (VI). La máxima capacidad de adsorción obtenida fue de 41.5mg/g a un valor de pH de 1.

Ahmad et al., (2011) trabajaron con lignina para la remoción de Cr (IV), se encontró que la capacidad de sorción de la lignina depende del pH de la solución, con una capacidad máxima de sorción de cromo a pH 2. La máxima capacidad de sorción obtenida para Cr (IV) fue de 31,6 mg/g respectivamente.

Se han implementado diferentes bioabsorbentes para evaluar la remoción de este metal pesado a escala de laboratorio; obteniendo valores prometedores en la remoción del Cromo (VI); cabe aclarar que dentro de la revisión bibliográfica no se encontraron implementación de estos sistemas alternativos a escala real; razón por la cual no se han dado resultados concluyentes y definitivos respecto a estos tratamientos.

b. Utilización de sistemas vivos (microorganismos y plantas) en la remoción de Cromo hexavalente

Actualmente se utilizan diferentes sistemas biológicos para contribuir en la remoción del Cromo (VI) en aguas residuales industriales contaminadas con este metal pesado; y de los cuales sobre salen las siguientes investigaciones:

Cárdenas-Gonzales J., Acosta-Rodríguez I., (2011). A escala de laboratorio aislaron el hongo

Paecilomyces sp y evaluaron la capacidad del mismo para remover Cromo (VI) en aguas residual sintética; determinando remociones de 100mg Cr/100ml.

Oporto C., Arce O., De Pauw N., Van den Broeck E., (2001). Evaluaron el potencial de la macrófita *Lemna minor* en la remoción del Cromo y obtuvieron resultados del 65% eliminación del metal pesado.

Rengifo-Gallego A., Peña-Salamanca E., Benítez-Campo N., (2012) Realizaron investigación sobre la remoción de cromo en agua residual sintética a escala de laboratorio en asociación de alga-bacteria *Bostrychia calliptera* (Rhodomelaceae), obteniendo porcentajes de remoción cercanos al 63% de Cromo.

En la actualidad se están utilizando diferentes compuestos para evaluar la remoción de los metales pesados utilizando diferentes técnicas de bio-remediación como lo son: Fito-remediación (Cuando se utilizan plantas para contribuir a la eliminación de compuestos inorgánicos), Mico-remediación (utilización de hongos) y demás técnicas que implementan los sistemas biológicos para tratar los recursos naturales contaminados con metales pesados.

4. Conclusiones

La eficiencia en cuanto a la remoción de metales pesados, implementando sistemas terciarios convencionales dentro de las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales son muy altas (Por encima del 90%); existen casos que estas remociones llegan alrededor del 99%; infortunadamente esta tecnología es limitada; debido a los altos costos asociados a la construcción, operación y mantenimiento de estos sistemas; razón por la cual solo es implementada por grandes industrias que cuentan con los recursos suficientes para tratar eficientemente las aguas residuales.

Se han implementado diferentes bioabsorbentes para evaluar la remoción de este metal pesado a escala de laboratorio; obteniendo valores prometedores en la remoción del Cromo (VI), superiores al 80%; cabe aclarar, que dentro de la revisión bibliográfica no se encontraron implementación de estos sistemas alternativos a escala real; razón por la cual no se han dado resultados concluyentes y definitivos respecto a estos tratamientos.

Extracción o utilización de sistemas biológicos para a remoción de metales pesados y demás contaminantes inorgánicos, son alternativas viables, eficaces y económicas y que está cautivando adeptos debido a la facilidad de operación y las remociones obtenidas a escala de laboratorio.

Dentro de los bioadsorbentes provistos en la literatura consultada; también se experimenta con modificaciones químicas con el fin de aumentar la remoción de los compuestos tóxicos presentes en el agua residual; razón por la cual se está volviendo atractivo para empresas medianas, pequeñas y artesanales que no cuentan con los recursos suficientes para implementas tecnologías más avanzadas.

5. Bibliografía

1. Ahmad B. et al., (2011). Biosorption of toxic chromium from aqueous phase by lignin: mechanism, effect of other metal ions and salts. *Chemical Engineering Journal*, 169(1-3), 20-30.
2. Ahalya N., Ramachandra T., Kanamadi R. Biosorption of Heavy Metals. *Res.J.Chem.Envirón* 7(4), 71-79.
3. Alzate AM. (2008). "Proyecto gestión en la industria de curtiembre en Colombia. Diagnóstico y estrategias", Disponible: en

<http://www.tecnologiaslimpias.org/Curtiembres/EstrategiasDiagnostico.pdf>). Consultado el 21 mayo de 2015.

4. Arias M, Pérez-Novo C, Osorio F, López E y Soto B. (2005). "Adsorption and desorption of copper and zinc in the surface layer of acid soils". *Journal of Colloid and Interface Science* 288: 21-29. Citado por: Agouborde, L. (2008). Remoción de metales pesados por medio de adsorbentes no convencionales.
5. Bermeo A. (2009). <http://www.medioambienteperiodismo.blogspot.com/2009/11/contaminacion-por-metales-pesados-y-sus.html>. Consultado el 23 de Agosto de 2015
6. Cárdenas-Gonzales J., Acosta-Rodríguez I., (2011). Remoción de Cromo hexavalente por el hongo *Paecilomyces* sp. Aislado del medio ambiente. *Información tecnológica*, 22: pp. 9-16.
7. Cañizares-Villanueva R. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 42: pp. 131-143. Colombia Minera. (2011). *Mitos y verdades. Químico maldito*. Publicaciones Semana. pp. 160.
8. Driss, S. (2010). Aprovechamiento de hueso de aceituna. Biosorción de iones metálicos [Tesis doctoral]. Universidad de Granada. España. Editorial de la Universidad de Granada. ISBN 978-84-693-6025-5
9. Farajzadeh MA y Monji AB. (2004). "Adsorption characteristics of wheat bran towards heavy metal cations". *Separation and Purification Technology* 38: pp. 197-207. Citado por: Agouborde, L. (2008). Remoción de metales pesados por medio de adsorbentes no convencionales.
10. Gao H., Liu Y., Zeng G., Xu W., Li T., Xia W. (2008). Characterization of Cr(VI) removal from aqueous solutions by a surplus agricultural waste—Rice straw. *Journal of Hazardous Materials* 150. pp. 446–452.
11. Gupta S., Babu B. (2009). Removal of toxic metal Cr(VI) from aqueous solutions using sawdust as adsorbent: Equilibrium, kinetics and regeneration studies. *Chemical Engineering Journal* 150. pp. 352–365.
12. Jain M, Garg VK, Kadirvelu K. (2009) Equilibrium and kinetic studies for sequestration of Cr(VI) from simulated wastewater using sunflower waste biomass. *Journal of Hazardous Materials* 171. pp. 328–334.
13. Kizilkaya R, Askin T, Bayrakli B y Saglam hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do rio Preto (SC) com o modelo SWAT. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis*, 150 p.
14. Maita A. (2008). Evaluación de la adsorción de Cd (II) y Cu (II), mediante la utilización de la biomasa obtenida de la sábila (aloe vera) [Trabajo de grado]. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
15. Martin, M. (2008). Caracterización y aplicación de Cd (II) y Cu (II), mediante la utilización de la biomasa obtenida de

- la sábila (aloe vera) [Trabajo de grado]. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
16. Memon J., Memon S., Bhanger M., El-Turki A., Hallam K., Allen G. (2009). Banana peel: A green and economical sorbent for the selective removal of Cr(VI) from industrial wastewater. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 70. pp. 232–237.
17. Oporto C., Arce O., De Pauw N., Van den Broeck E., (2001) Evaluación del potencial de leña menor para la remoción de Cr (VI) de aguas residuales. *Revista Boliviana de Ecología y conservación ambiental*. 10: 17-27.
18. Organización Mundial de la Salud (2002). *Gestión Integral de tratamiento de aguas residuales*. [Conferencia].
19. Pérez A., Aguilar M., Meseguer V., Ortuño J., Sáez J., Lloréns M. (2009). Biosorption of chromium (III) by orange (*Citrus cinensis*) waste: Batch and continuous studies. *Chemical Engineering Journal* 155. pp. 199–206.
20. Pinzón-bedoya M. y Vera-Villamizar L. (2009). Modelamiento de la cinética de bioadsorción de Cr (III) usando cáscara de naranja. *Dyna*, vol. 76, núm. 160, diciembre, pp. 95-106
21. Quiñones, E., Tejada, C., Ruiz, V., (2014). Remediación de aguas contaminadas con cromo utilizando diferentes biomateriales residuales. *Ciencias e Ingeniería al día*. Revista institucional de la facultad de ingeniería. Universidad de Cartagena. Enero-Junio 2014, 25-42
22. Rao R., Rehman F. (2010). Adsorption studies on fruits of gular (*Ficus glomerata*): Removal of Cr (VI) from synthetic wastewater. *Journal of Hazardous Materials* 181. pp. 405–412.
- Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press. Washington. DC. 155 p
23. Rengifo-Gallego A., Peña-Salamanca E., Benitez-Campo N., (2012). Efecto de la asociación alga-bacteria *Bostrychia calliptera* (Rhodomelaceae) en el porcentaje de remoción de cromo en laboratorio. *Biología Tropical*. Universidad De Costa Rica. Septiembre, pp: 1055-1064.
24. Villanueva, C. (2007). Biosorción de cobre (II) por biomasa pretratada de cáscara de citrus sinensis (naranja), citrus limonium (limón) y opuntia ficus (palmeta de nopal). [Tesis de grado]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú