

Remediación natural para completar la depuración del cromo (VI) en efluentes de curtiembres.

Autores: Romina Quezada ⁽¹⁾, Eliana Varela - Tutor: MSc. Miguel A. Rosa
Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Villa María - Córdoba - Argentina

⁽¹⁾ Río Negro 639, Oliva, Córdoba, Argentina. e-mail: quezadaqr@hotmail.com

RESUMEN

El vertido de efluentes con alto contenido de cromo, procedentes de las tenerías es un peligro potencial para la población y los ecosistemas. La temática del tratamiento de aguas residuales está en permanente estudio y desarrollo, llevando consigo el compromiso de alcanzar alta eficiencia a bajo costo. Esto ha llevado a encontrar una novedosa técnica que incluye a especies vegetales, algas y hongos, para la remoción del metal. Este trabajo tiene como objetivo presentar las variedades que logran más captación del metal y buscar los ejemplares que mejor podrían adaptarse a la problemática de desechos de las curtiembres nacionales. La fuente de información utilizada fueron diversas publicaciones científicas, que llevaron a concluir que pueden lograrse altos porcentajes de remoción utilizando la fitorremediación como un post-tratamiento. Además, en las regiones del país más comprometidas por la contaminación de la industria de las pieles, hay amplia biodisponibilidad de algunas de las especies más activas para la depuración.

INTRODUCCIÓN

Como consecuencia del aumento del consumo y de la población, se incrementa la cantidad de desechos que se dirigen a los ecosistemas. Entre ellos, están los efluentes de la industria del cuero, que constituyen uno de los residuos de mayor complejidad para su tratamiento en razón de las características que posee su carga contaminante. Los diversos métodos que se aplican en la actualidad, suelen ser costosos, o no resultan del todo eficaces para cumplir con las regulaciones ambientales. Resulta necesario entonces, contar con nuevas alternativas de degradación para este problema. [1]

La fitorremediación consiste en el uso de plantas para el saneamiento ambiental, es un proceso complementario a los tratamientos de efluentes de carácter fisicoquímico. Los vegetales seleccionados para este fin deben tener la capacidad fisiológica y bioquímica de absorber, retener, en el caso de metales y degradar o transformar las sustancias tóxicas en otras formas químicas menos tóxicas en el caso de compuestos orgánicos.

Se trata además de un proceso menos costoso que los métodos tradicionales, al no tener tanta supervisión manual, ni requerir demasiada energía. [2]

Se conocen más de 400 especies vegetales capaces de acumular sustancias tóxicas con distintos grados de eficiencia [3] y la lista sigue creciendo. Pueden distinguirse en ellas distintos tipos de fitorremediación según el modo en que la planta capta o metaboliza la sustancia contaminante. Para el caso de estabilizar o retirar los metales del suelo y del agua se hace posible a través de dos mecanismos:

La fitoextracción se basa en el uso de plantas terrestres para absorber metales pesados desde el suelo, para luego transportarlos hacia el tallo y las hojas.

La rizofiltración involucra algunas plantas acuáticas de humedales, algas, bacterias y hongos, que resultan ser eficaces biosorbentes de metales mediante su absorción a partir de aguas contaminadas a través de sus raíces. [4]

En el presente estudio se realizó un análisis comparativo entre diferentes vegetales usados en la fitorremediación, a fines de encontrar el óptimo que resulte en la remoción de cromo de los efluentes de curtiembre previamente tratados con otros métodos. El efecto proporcionaría aguas en condiciones físico químicas totalmente aptas para el medio ambiente.

DESARROLLO

Se llevó a cabo una exhaustiva revisión de la literatura científica existente sobre la capacidad de distintas especies para lograr la depuración del cromo de efluentes industriales en general y de la industria de la curtiembre en general. De la misma surgieron las siguientes consideraciones:

- La *Nymphaea alba* L. (*Nymphaeaceae*), es una planta acuática ornamental en estado vegetativo, que ha sido estudiada en sus capacidades de remover cromo. Para las experiencias realizadas, se recogieron algunos ejemplares en su medio natural y se aclimataron en un laboratorio, durante 15 días en recipientes de vidrio, con base de piedras de acuario y solución nutriente de Hoagland 1:10.

Utilizando un sistema modelo de efluente líquido de curtiembre, post tratamiento físico-químico, se pudo determinar que luego de 21 días, en condiciones de invernáculo, se disminuyó en un 50% la concentración del Cr (VI), siendo la concentración inicial 10 ppm a pH 5.5. Transcurriendo más de ese tiempo, la planta mostró síntomas de fitotoxicidad en todos sus órganos. [5]

Pero, para su empleo en fitorremediación en nuestro país, no hay registros de esta variedad. [6]

- Análisis sobre hongos *Paecilomyces lilacinus*, han demostrado que son resistentes y capaces de eliminar cromo hexavalente en efluentes simulados con grandes concentraciones de cromo.

Sólo un gramo de biomasa fúngica, remueve 100 y 1000 mg/L del metal a una y tres horas de incubación, (pH 1.0 +/- 0.2, a 28 °C y 50 °C, con agitación constante de 100 rpm, durante 10 h).

De las muestras del medio ambiente, se obtuvo una cepa fúngica capaz de crecer a 500 mg/L de Cr (VI), lo que indica el microorganismo adquirió gran capacidad de resistencia a la toxicidad.

A temperaturas de 50 °C se dan indicios de mayor eficiencia en la remoción del metal, ya que en una y tres horas suprime el 100% de Cr (VI) en 100 y 1000 mg/L respectivamente, mientras que se requieren 9 h, a 28 °C, para eliminar el metal. En otras palabras, esto sería un aumento en la velocidad redox a mayor temperatura.

Esta especie de hongo puede utilizarse para eliminar el Cr (VI) presente en aguas residuales provenientes de las curtiembres, pues presenta mayor capacidad que otras biomásas reportadas en la literatura.

También, pudo probarse que el hongo puede eliminar totalmente 297 mg Cr (VI)/g de tierra contaminada. [7]

El hongo *Paecilomyces sp.* se encuentra en las zonas del noreste argentino, como para acceder a su utilización; pero en su manejo se debe tener cuidado ya que ocasiona riesgos para la salud. [8]

- Se han analizado especies vegetales hiperacumuladoras de cromo, como los *Tagetes sp.*; estas crecen, por lo general, en el Amazonas, pero también se hallan en la región central y norte de Argentina, [6],[9].

Algunos ejemplares fueron sometidos a pruebas en el laboratorio *in vitro* con lodos conteniendo 20000 partes por millón de cromo, Al final de los experimentos, se logró disminuir la cantidad de cromo hasta en un 75 %. [10]

- Estudios efectuados para reducir la carga contaminante de Cr (IV), proveniente de la industria galvánica, proponen el uso de microalgas como *Scenedesmus obliquus*, cultivándolas en lagunas de estabilización al finalizar el proceso de tratamiento de efluente.

Los datos se obtienen de un reactor con cultivo inmovilizado de *Scenedesmus obliquus*. Luego de 40 horas, se logró una eficiencia del 92,40 % en remoción del metal partiendo de una concentración inicial de 85.6 mg/L. La temperatura se mantuvo en el rango de 29,4 y 34 °C, condición óptima para el buen desarrollo del alga y del proceso de eliminación de los metales pesados. El pH fue de 4 y 8.9 al llegar al último resultado. [11]

Estas microalgas, no han sido evaluadas para tratamientos de efluentes de curtiembre, pero sí, se han encontrado muy buenos resultados en sus capacidades de suprimir el cromo (III) en aguas residuales con alta carga contaminante; su estudio y empleo para el tema en cuestión, podría ser prometedor. Además, para el desarrollo y mantenimiento de las mismas, no son necesarios demasiados requerimientos; siendo posible hallarla en algunos arroyos y lagunas en el norte del país. [12]

- Por otra parte, se analizaron científicamente las capacidades de *Prosopis laevigata* para remover Cr (VI) en cultivos *in Vitro*. Las semillas maduras fueron cortadas mecánicamente y se desinfectaron superficialmente. Luego se sembraron asépticamente en tubos de cultivo con medio modificado y sacarosa. Las plantas fueron cosechadas a los 50 días, separando la raíz de la parte aérea y lavadas con agua desionizada, posteriormente puestas a secar a 60°C durante 72 horas. Las muestras fueron digeridas en un horno de microondas con 5 ml de HNO₃. La concentración del metal fue determinada usando un espectrómetro de absorción atómica, comprobándose altos contenidos de cromo en los tejidos de la planta, 5461 y 8090 mg Cr/ Kg en tallo y raíz respectivamente. Esto demuestra además, que transloca eficientemente el cromo y por ello puede emplearse con propósitos de fitorremediación de suelos contaminados con este metal. [13]

A pesar de los buenos resultados, esta especie nativa México, no se encuentra en Argentina.

- En otras experiencias realizadas, con *Canna índica* y *Canna glauca*, plantas tropicales adaptables al medio acuático, se observó la facultad de ambas especies para remover el metal del agua. Para ello, se emplearon concentraciones de cromo entre 400 y 1.000 mg/L, evidenciándose una mayor eficiencia en la eliminación del metal para las soluciones de concentración más baja. En las soluciones con Cr (VI) que presentaban una baja concentración inicial de N y P, o que no contenían Cr (III), las plantas se deterioraron rápidamente.

Igualmente se determinó que la remoción de cromo es más rápida para un mayor número de plantas por unidad de área, y a menor altura de líquido. Para todos los casos se produjo un aumento del pH, incluso hasta valores por encima de la neutralidad. También,

se observó una disminución considerable de la carga orgánica contaminante. A partir del análisis del tejido vegetal, se demostró que el cromo, independientemente de su estado de oxidación en la solución, (III) o (VI), se almacena en mayor proporción en la raíz, alcanzando concentraciones superiores a los 3.000 mg/kg (peso seco). Los mejores resultados para estas consideraciones los proporciona la especie *Canna Índica*. [14]

Ambas especies existen en la provincia de Buenos Aires y Santa Fe, que es la zona que presenta más asentamientos de tenerías en el país. [15]

- En la especie vegetal como la *Vetiveria zizanioides* (*vetiver*), con alta resistencia a ambientes extremos, condiciones de stress y acidez; se determinó que es eficiente para la eliminación de zinc, plomo y cromo, aunque a altas concentraciones la presencia de los mismos inhibe la producción de materia seca y la tasa fotosintética.

En este estudio se evaluó el uso del vetiver para la fitorremediación de lodo residual de la industria de las pieles, que presenta altos valores de cromo (21000 mg/kg); asimismo, se obtuvo un sustrato, el cual posee atributos que mejoran las condiciones para el desarrollo de vetiver.

Para la caracterización de lodos residuales, se consideraron parámetros químicos y físicos asociados a la capacidad de retención de cationes y que pudiesen afectar el desarrollo de las plantas. Las variables químicas evaluadas fueron materia orgánica, conductividad eléctrica, calcio, magnesio, potasio, sodio y capacidad de intercambio catiónico, también se determinaron los micronutrientes cobre, hierro y zinc.

Los resultados mostraron una reducción de niveles de cromo en lodo de 30% a 15 días y de 9% a 45 días; la cantidad de metal absorbido por la planta fue de 3.49 mg.

La absorción de cromo en el tratamiento de lodo con vetiver fue mayor a nivel del tallo, mientras que en el caso donde se adicionó abono, la misma se concentró a nivel de la rizósfera. [16]

La *Vetiveria zizanioides*, tiene su hábitat en la India, por lo que no podría usarse en Argentina para estos fines.

- Otros experimentos en hidroponía con *Helianthus annuus*, girasol de la variedad enana, determinaron el efecto de cromo (III) en su germinación, tolerancia, y absorción de este metal. Se comprobó que 40 mg/L de Cr (III) no afectan significativamente la germinación. También se observó que a menor edad de las plantas, éstas presentaron mayor tolerancia al metal en cuestión.

El pH del medio se ajustó siempre a 4.8; después de 15 días las raíces acumularon 7400 mg/kg de cromo, mientras que en el tallo, la acumulación fue de 200 mg/kg de peso seco. Estos datos dan una idea general de la eficiencia de la planta para absorber y transportar el metal del medio de crecimiento a la parte aérea cosechable.

Las cifras obtenidas permitieron identificar las condiciones óptimas en las cuales la planta de girasol absorbe y acumula cromo de un medio acuoso y explorar la factibilidad del uso de esta planta para fines de rizofiltración. Se informó también, que la presencia del quelante SS-EDDS reduce la absorción y translocación de cromo tetravalente. Concluyendo, esta especie se puede utilizar en la fitorremediación de cromo (III), sembrada directamente en el medio contaminado. [17]

Desde hace unos años se han realizado diversos estudios para insertar esta variedad genética en el país, pero para aplicaciones agrarias; por lo que es posible tener biodisponibilidad de ella para su empleo en las curtiembres. [18]

Nota: Se han incluido las especies removedoras de Cr (III), ya que este es el resultado de la reducción del cromo hexavalente aguas arriba en los procesos de tratamiento primario.

ANALISIS DE RESULTADOS

La Tabla 1, nos da un extracto de los datos recabados. Como puede advertirse, en la mayoría de los casos, toma bastante tiempo el proceso de eliminar el cromo por vía de los vegetales, pero aún así, es una buena manera de utilizar los recursos que están disponibles naturalmente. En el caso de los hongos y algas es más rápido el proceso de remoción, y es relativamente fácil encontrar las cepas para cultivar.

Tabla 1: diferentes eficiencias según la especie.

Especie	Nivel de cromo inicial mg/L	Tiempo	% de Remoción de Cromo	Hábitat en Argentina
<i>Nymphacea alba L</i>	10	21 días	50	Sin Registro
<i>Paecilomyces sp</i> (Hongo)	1000	3 h	100	Noreste
<i>Tagetes sp</i>	20		75	Centro y Norte
<i>Prosopis Laevigata</i>		50 días	Biosorción: 5461 mg/kg en tallos y 8090 mg/kg en raíz	Sin Registro
<i>Canna Glauca y Canna índica</i>	1000	15 días	100	Centro y Norte
<i>Scenedesmus Obliquus</i>	85,6	40 h	92,4	Norte
<i>Vetiveria Zizarioides</i>	21000	15 días	30	Sin Registro
<i>Helianthus annuus</i>	40	15 días	Biosorción: 200 mg/kg en tallos y 7400 mg/kg en raíz	Centro

CONCLUSIONES

Estas investigaciones que proponen nuevas mejoras para los tratamientos de efluentes, demuestran experiencias con buenos resultados en la remoción de cromo. Todavía queda mucho por desarrollar y mejorar antes de emplear a gran escala. Contar con sistemas de fitorremediación, que son aplicaciones eficaces y de bajo costo, prometen una gran ventaja que se podría tener tanto en la industria de la curtiembre, como en el medio ambiente. Como propuesta de trabajo a futuro, se pretende evaluar las posibles consecuencias en la cadena alimentaria, así como también, proponer mejoras cuando los tiempos de remoción son prolongados.

REFERENCIAS

- [1] Peña Rodón J. A., *Gestión ambiental del agua en las empresas de Curtiembre*. Venezuela, 2006.
- [2] Agudelo Bentancur L. M., Macias Mazo K. I., Suarez Mendoza A. J. *Fitorremediación La alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos*. Colombia, 2005.
- [3] Baker, A.J.M., McGrath, S.P., Reeves, R.D, Smith, J.A.C. *Metal hyperaccumulator plants: A review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils*?. E.E.U.U, 2000.
- [4] Díez Lázaro J. *Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: Evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas*. España, 2008.
- [5] Tancioni, A. *Método de Remediación Natural para Completar la Depuración de Efluentes Industriales Contaminados con Cromo Hexavalente*. Argentina, 2006.
- [6] <http://www2.darwin.edu.ar>
- [7] Cárdenas González J. y Acosta Rodríguez I. *Remoción de Cromo Hexavalente por el Hongo Paecilomyces sp. Aislado del Medio Ambiente*. México, 2010.
- [8] Sarmiento M. M. *El suelo como reservorio de hongos nocivos para la salud*. Argentina, 2011.
- [9] Chamorro E. *Chemical composition of essential oil from tagetes minuta L. leaves and flowers*. Argentina, 2008.
- [10] Bustos G. *Fitorremediación: opción barata y efectiva*. Costa Rica, 2003.
- [11] Pellón A., Rodríguez M., González O., Frades., *Remoción de cromo mediante el uso de un biorreactor utilizando scenedesmus obliquus inmovilizado*. Cuba, 2011.
- [12] Salusso, M. *Informe cualitativo. Parque Nacional El Rey*. Argentina, 2006.
- [13] Buendía González L., Orozco Villafuerte J., Cruz Sosa F., Vernon Carter J., Barrera Díaz C.. *Remoción de Cr (VI) y Cd (II) en Cultivos in vitro de Prosopis laevigata*. México, 2003.
- [14] Mallia M. A., Dautant R. y Windevoxhel R. *Fitorremediación de Aguas Residuales Contentivas de Cromo con Especies de la Familia Cannaceae*. Venezuela, 2003.
- [15] Ciciarelli M. M. *Canna ascendens (Cannaceae), una nueva especie de la provincia de Buenos Aires y comentarios sobre otras especies argentinas de este género*. Argentina, 2007.
- [16] Torres Rodríguez D., Cumana A., Torrealba O. y Posada D. *Uso del Vetiver para la Fitorremediación de Cromo en Lodos Residuales de una Tenería*. México, 2010.
- [17] De la Rosa G., Cruz Jiménez G., Cano Rodríguez I., Fuentes Ramírez R. y Gardea Torresdey J. L. *Efecto de la Edad de la Planta y Presencia de SS-EDDS en la Tolerancia y Absorción de Cr (III) por Helianthus annuus*. México, 2008.
- [18] Cantamutto M., Presotto A., Poverene M., *Caracterización climática de poblaciones argentinas de Helianthus annuus annuus*. Argentina, 2002.