

REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE UTILIZANDO CÁSCARA DE MORINGA OLEIFERA COMO BIO-ADSORBENTE

Removal of Hexavalent Chrome from Moringa Oleifera shell

Leidy Andrea Losada Galindo¹

Mayra Alexandra Sotto²

Oscar Fabián Artunduaga³

Resumen

La valorización de residuos vegetales como bioadsorbentes, para la eliminación de metales pesados de efluentes líquidos, está adquiriendo cada vez mayor relevancia en el campo medioambiental. La bioadsorción, es considerada un método eficaz y de bajo costo frente a técnicas convencionales. El presente trabajo, muestra los resultados obtenidos del estudio de la cáscara de la Moringa oleifera como bioadsorbente para la eliminación de Cromo (Cr) de una solución de Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$). Se estudiaron los efectos de las principales variables de operación tales como el tiempo de contacto, dosis de adsorbente, pH y temperatura.

Para las condiciones óptimas se alcanzó porcentajes de eliminación del 90%, para Cr a un pH de 3. Los datos de adsorción se analizaron usando el método colorimétrico Difenilcarbazida. Los resultados obtenidos muestran el gran potencial de la utilización de los bioadsorbentes obtenidos a partir de Moringa oleifera en la descontaminación de efluentes líquidos con elevada concentración de metales pesados.

Palabras clave: Metales pesados; Contaminación; Moringa oleifera; Bioadsorción; Tratamiento de agua

Abstract

The use of vegetable waste as bioadsorbents for the elimination of heavy metals from liquid effluents, has gained a valuable importance in the environmental field. The bioadsorption is considered an efficient and low cost method compared to the conventional techniques. This research shows the results that were

¹ Colombiana. Licenciada en ciencias Naturales y Educación Ambiental. Estudiante Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana Neiva. Avenida Pastrana Carrera 1a. Neiva, Huila, Colombia. Tita220885@hotmail.com

² Colombiana. Ingeniera Agrícola. Estudiante Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana Neiva. Avenida Pastrana Carrera 1a. Neiva, Huila, Colombia. Mayalexa_28@hotmail.com

³ Colombiano. Ingeniero Ambiental. Estudiante Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, Universidad Surcolombiana Neiva. Avenida Pastrana Carrera 1a. Neiva, Huila, Colombia. Ofac18@hotmail.com

obtained from the chromium (Cr) elimination contained in a solution of Potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$) by using Moringa Oleifera shell. The effects of the main variables of operation such as contact time, adsorbent dose, pH and temperature were measured.

Under optimum conditions and using the diphenylcarbazide colorimetric method, a 90% of chrome elimination was obtained with at pH of 3. The results show the great potential of bioadsorbents obtained from the Moringa Oleifera shell in the decontamination of liquid effluents that contain high level of heavy metals.

Keywords: heavy metals; pollution; Moringa oleifera; bioadsorption; water treatment

1. Introducción

La contaminación de las aguas residuales industriales con metales pesados; es uno de los problemas ambientales más graves que se presenta hoy en día. El tratamiento de estos efluentes mediante el uso de bioadsorbentes extraídos de biomásas residuales, ha sido estudiado durante los últimos años como alternativa económica y eficiente. El propósito es identificar las biomásas que están siendo utilizadas actualmente en la remoción de cromo en aguas residuales contaminadas, especialmente o de manera primordial el uso que se está dando a un biomaterial con capacidad de adsorción, como lo es la cascara de Moringa.

Las aguas residuales contienen gran número de metales pesados, entre ellos níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro, mercurio, entre otros. Todas estas son sustancias contaminantes que deben tomarse en consideración para fijar valores, límites de emisiones, algunos de

ellos sean imprescindibles para el normal desarrollo de la vida biológica, quienes en algunos casos, por ausencia de cantidades suficientes podría limitar el desarrollo de algunas especies.

Las fuentes habituales de aguas residuales que contienen grandes cantidades de metales, 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). Estos contaminantes proceden de industrias muy variadas y por su naturaleza, la concentración o caudal del efluente, hace que esas aguas residuales demanden un tratamiento antes de su vertido o reutilización (Rodríguez A et al., 2006). En general, el tipo y concentración de los metales pesados presentes en los residuos líquidos generados por las distintas industrias va a depender del proceso productivo, de la etapa en que se originen y de la materia prima utilizada (Sharma et al., 2007).

Los metales pesados, ejercen efectos biológicos que pueden ser benéficos o perjudiciales para los distintos organismos. No son biodegradables y tienden a acumularse en los organismos, causando numerosas enfermedades y trastornos (Inglezakis et al., 2003), razón por la cual han sido catalogados como una clase emergente de cancerígenos humanos (Farajzadeh MA y Monji MB, 2004). Elevadas concentraciones de algunos de estos elementos en el ambiente o en determinados procesos, pueden desencadenar una serie de problemas 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)

Realmente la actividad industrial y minera supone una preocupación importante para la Salud Pública, dado el alto grado de toxicidad

que causa y a 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 la mayoría de formas de vida como lo indica Bermeo, A (2009).

De esta forma la contaminación por metales pesados y el impacto en la salud pública, ha conducido al hombre a buscar alternativas para resolver este problema, utilizando métodos tradicionales 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. (Quiñones, et al, 2014)

En la actualidad, se han estudiado muchos métodos para la remoción de cromo en estado iónico, presente en aguas residuales industriales, como lo son: intercambio iónico sobre resinas poliméricas, coagulación-floculación, adsorción sobre carbón activado y reducción / precipitación química / sedimentación. En la mayoría de los casos este tipo de métodos resultan costosos y/o ineficientes, especialmente cuando la concentración de estos iones es muy baja. De acuerdo a lo anterior, surgen tecnologías emergentes tales como la bioadsorción; proceso que consiste en la captación de diversas especies químicas por una biomasa (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico (Garzón, 2012).

Metales pesados en aguas residuales

Los iones de metales pesados tales como el

Cromo no pueden ser degradados química ni biológicamente, por lo tanto, su presencia en los cuerpos de agua implica que con algunos procesos naturales estén biodisponibles, generando efectos de biomagnificación en los seres vivos; ocasionando diversos efectos negativos para el ecosistema y la salud humana. Al introducir Cr (VI) en el organismo de los seres humanos, se generan erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético, cáncer de pulmón e incluso la muerte. (Garzón, 2012)

El cromo presente en los efluentes de curtiembres por ejemplo, puede encontrarse principalmente en sus dos estados de oxidación estables: Cr (III) y Cr (VI); el Cr (III) es relativamente inofensivo, sin embargo, en soluciones acuosas el Cr (III) sufre un proceso de óxido-reducción donde cede electrones al medio y pasa a Cr (VI), el cual se adsorbe con facilidad a través del suelo y el agua, afectando así la flora y fauna presente en dicho ecosistema (Higuera, 2009). Según algunos Investigadores (Pinzón, 2009; IBTEN, 2008) los efluentes de la industria del cuero alcanzan concentraciones de cromo hexavalente hasta de 100 ppm (Coronel & Romero, 2004), superando las disposiciones establecidas en el Decreto 3930 de 2010 de la legislación Colombiana (SUNASS, 2000), la cual insta como criterio máximo de calidad admisible para la destinación de recurso hídrico para el consumo humano y doméstico un valor de 0,05 ppm de cromo hexavalente Cr (VI). (Garzón, 2012).

Para el año 2015; ya existe nueva normatividad colombiana (Decreto 631 de 2015) que regula o establece los valores máximos permisibles de este y otros contaminantes emitidos por diferentes sectores productivos en el desarrollo de sus actividades cotidianas; para este metal pesado varía entre 0,1 y 0,5 mg/L de Cromo.

Utilización de las cascarillas de las semillas y las vainas secas de Moringa oleifera

La contaminación del agua por compuestos químicos orgánicos tóxicos y metales pesados procedentes de los vertidos de efluentes residuales industriales se ha convertido en un problema medioambiental a escala global. La mayoría de los metales pesados son muy tóxicos, persisten indefinidamente en el medio ambiente, tanto así que su proceso de eliminación es bastante complejo, incluso cuando se encuentran trazas de ellos. Su naturaleza no biodegradable y la larga vida media biológica de la mayoría de los metales provocan su acumulación en el medio acuático y representan un peligro potencial para los seres humanos, especialmente si se ingieren a través del agua o alimentos (García, et al)

Las principales ventajas de la bioadsorción sobre los métodos convencionales de separación son: bajo costo, alta eficiencia, minimización de lodos químicos y/o biológicos, regeneración del bioadsorbente y la posibilidad de recuperar los metales. En el campo de la bioadsorción, se han estudiado diferentes materiales naturales como posibles adsorbentes para la eliminación de metales pesados, siendo uno de ellos la Moringa oleífera. La Moringa oleífera (MO) es un árbol tropical originario de África y la India que posee múltiples propiedades nutricionales y farmacológicas. Su aplicación en el campo del tratamiento del agua es ampliamente conocida, puesto que las semillas poseen un compuesto activo coagulante capaz de reducir la turbidez del agua y la contaminación microbiológica de la misma (García-Fayos, 2009).

En los últimos años, la investigación entorno a Moringa oleifera se ha centrado en estudiar su potencial para resolver otras problemáticas medioambientales; tales como la eliminación de colorantes, tratamiento de aguas residuales e incluso la eliminación de metales pesados del agua.

Existen trabajos previos que estudian el potencial de la Moringa oleifera en la eliminación de metales pesados tales como Cromo, Zinc, Níquel, Mercurio, Plomo y Cromo utilizando distintos sustratos obtenidos a partir de Moringa como adsorbente. Entre los más utilizados se encuentran las semillas crudas trituradas (Srivastava et al., 2007), el carbón activo a partir de madera de Moringa (Kalavathy et al., 2010), extractos de semillas (Sajidu et al., 2007) o la cáscara (Seshaiah et al., 2011) de la misma con resultados variables. (García, B et al)

Caracas, 04 Mar. AVN.- Científicos del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (Ivic) demostraron, mediante un estudio de caracterización química, que las cápsulas de las plantas de Moringa, cultivadas en Venezuela, contienen los mismos componentes que sus semillas y tienen el potencial para la descontaminación del medio ambiente.

Mirla Rodríguez, investigadora del instituto, explicó que las cápsulas estudiadas contienen compuestos como celulosa, hemicelulosa, lignina y proteínas, los cuales poseen grupos funcionales capaces de absorber iones metálicos presentes en sistemas acuosos.

Las cápsulas de donde brotan las semillas de Moringa pueden ser utilizadas en la remoción de metales pesados y colorantes presentes en aguas contaminadas; regeneración de suelos dañados por los efectos de metales pesados, herbicidas y pesticidas; remoción de colorantes presentes en aceites y como materia prima para la elaboración de compost.

Desde hace milenios, prácticamente todas las partes de M. oleifera han sido utilizadas por el hombre. Las hojas, las flores, los frutos y las raíces son apreciados por su valor nutritivo y pueden ser usados tanto en la alimentación humana como en la animal. Las hojas son excepcionalmente ricas en vitaminas y diferentes aminoácidos, por lo que se

recomiendan para tratar problemas de malnutrición en niños (Fuglie, 2001). También se emplean como forraje, biopesticida y para la producción de biogás (Fahey, 2005). Las semillas se utilizan en la alimentación, la medicina, el tratamiento de aguas y como fertilizantes (Foidl et al., 2001). La corteza del tronco es útil en la adsorción de metales pesados (Reddy, Ramana, Seshiah y Reddy, 2011), así como para la fabricación de cuerdas y alfombras (Ramachandran, Peter y Gopalakrishnan, 1980). El aceite se usa en la industria de perfumería y la de cosméticos como lubricante, en la alimentación humana y en la producción de biodiesel (Rashid, Anwar, Moser, y Knothe, 2008). Las cascarillas de las semillas sirven de materia prima para la producción de carbón activado y de intercambiadores aniónicos. La planta también se emplea como cerca viva o cortina rompevientos, mientras que la biomasa lignocelulósica del tronco y de las ramas puede ser utilizada como material de construcción y para producir pulpa celulósica y etanol. (C, Martin 2013)

Si se industrializara la extracción del aceite de *M. oleifera* y el aprovechamiento de la torta de prensado, se generarían grandes cantidades de residuos sólidos formados por las cascarillas de la semilla y las vainas secas del fruto. Una posible aplicación de las cascarillas es en la producción de carbón activado. En investigaciones sobre la carbonización, seguida de su activación al vapor, se obtuvieron carbones con una estructura microporosa altamente desarrollada y una elevada área específica (Pollard, Thompson y McConnachie, 1995). También se ha evaluado la pirólisis al vapor en una sola etapa, lo que hace que los carbones posean una mayor capacidad adsorptiva que aquellos producidos por el método convencional de carbonización-activación en dos etapas (Warhurst, McConnachie y Pollard, 1997). En ambos casos, los carbones mostraron un comportamiento comparable al de los carbones

activados comerciales, y su producción representaría ahorro de recursos en la importación. Otro posible uso de las cascarillas es en la producción de resinas de intercambio aniónico (Martin, 2013)

Bioadsorción

La bioadsorción es un proceso de adsorción que consiste en la captación de diversas especies químicas por una biomasa (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico. El proceso de bioadsorción 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.

El uso de biomasa muerta tiene ventajas sobre la utilización de biomasa viva, ya que en este último no es necesario adicionar nutrientes, el adsorbente resulta inmune a la toxicidad o a condiciones de operación adversas, los procesos no están gobernados por limitaciones biológicas, la recuperación de metales es más fácil y la biomasa se comporta como un intercambiador de iones. No obstante, se deben tener en cuenta los inconvenientes que este proceso conlleva tales como: una rápida saturación del sólido, alta sensibilidad hacia los cambios de pH, y el hecho que el estado de valencia del metal no puede ser alterado biológicamente, entre otros.

Desde los primeros intentos en la aplicación de la bioadsorción, han transcurrido más de 65 años, pero solo desde hace dos décadas y por razones fundamentalmente de tipo económico y ambiental, las investigaciones desarrolladas se han centrado principalmente en el empleo de

esta técnica para la eliminación de especies metálicas presentes a bajas concentraciones en efluentes líquidos, utilizando materiales bioadsorbentes de bajo costo. (Quiñones, et al, 2014)

Adsorción de Cromo con diversas Biomásas

Bioadsorción de cromo (VI) usando cáscara de tamarindo

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 bioadsorbentes 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.

Adsorción de cromo (VI) con residuos de bellota (*quercus ithaburensis*).

Malkoc y Nuhoglu, (2007), estudiaron la eficiencia de los residuos de bellota (WAQI) como adsorbente para remover iones de Cr (VI) de soluciones acuosas. Se encontró que la máxima adsorción del metal fue de 31.48 mg/g con un pH inicial de 2.0, para una concentración inicial de Cr (VI) de 400 mg L⁻¹ a 25°C. El análisis demostró que los resultados obedecieron el ajuste entre la ecuación cinética de pseudo-segundo orden, de pseudo-primer orden y la ecuación de Elovich, con un mejor ajuste a la ecuación de pseudo-segundo orden. Se demostró que la técnica de remoción de metales pesados usando este tipo de adsorbentes puede ser un método efectivo para el tratamiento económico de aguas residuales.

Remoción de cromo (VI) en soluciones acuosas utilizando espiga de arroz.

Gao et al, (2008), investigaron el uso de la espiga de arroz como bioadsorbente 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. Las pruebas mostraron que las isothermas de equilibrio los datos de adsorción estaban mejor representados por el modelo de Langmuir y la capacidad de sorción de la espiga de arroz presentó un máximo de 3,15 mg / g.

Bioadsorción de cromo (VI) en soluciones acuosas utilizando cáscara de nuez, avellana y almendra.

Pehlivan y Altun, (2008), investigaron en experimentos por lotes, el potencial que tienen las cáscaras de nuez (*Juglans regia*), de avellana (*Corylus avellana*) y de almendra (*Prunus dulcis*) para eliminar Cr (VI) en soluciones acuosas. El equilibrio de adsorción está determinado por el tiempo de contacto de la solución y la concentración inicial. Los experimentos cinéticos revelaron que las soluciones diluidas de cromo alcanzan el equilibrio a los 100 minutos. La adsorción de iones de Cr (VI) en todos los casos depende del pH, dándose los máximos valores de adsorción 2.0 y 3.5. La isoterma de Langmuir da como máxima adsorción de Cr (VI) 8.01 mg/ g para la cáscara de nuez, 8.28 mg/g para la de avellana, y 3.40 mg / g con la de almendra. Estos bioadsorbentes se encuentran fácilmente disponibles, y pueden, por tanto, ser utilizados en reactores por lotes de pequeñas industrias que tienen bajas concentraciones de Cr (VI) en las aguas residuales.

Remoción de cromo (VI) en soluciones

acuosas utilizando la cáscara de la fruta de bael.

Anandkumar y Mandal, (2009), utilizaron la cáscara de la fruta de bael como un adsorbente de bajo costo para remover Cr (VI) de soluciones acuosas. Se hicieron experimentos por lotes, donde se tuvo en cuenta el pH de la solución, el tiempo de agitación, la concentración inicial y la dosis de adsorbente. La máxima eliminación de Cr se logra después de 240 min, a un pH de 2. Una evaluación utilizando la ecuación de Langmuir dió que la capacidad de adsorción máxima es de 17,27 mg/g. La cinética de adsorción fue descrita por el pseudo-modelo de segundo orden. Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que la cáscara de la fruta de bael es un adsorbente eficaz y económicamente viable para remoción de Cr (VI) en medio acuoso.

Remoción de cromo (VI) en aguas contaminadas utilizando residuos de girasol

Jain et al., (2009), investigaron el potencial de los residuos del 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. Los residuos de girasol tienen una máxima capacidad de adsorción de 7.9 mg/g. Los altos coeficientes de correlación indicaron que la cinética de adsorción se rige por el modelo de pseudo-segundo orden.

Bioadsorción de cromo (VI) con cáscara de maní

Qaiser et al., (2009), estudiaron la biosorción de cromo con cáscara de maní, se realizaron experimentos para encontrar el equilibrio entre el tiempo, la capacidad de biosorción y el efecto de parámetros como el pH, la temperatura y la concentración inicial del contaminante estudiado. La máxima capacidad de biosorción de cromo (VI) se encontró en $30,21 \pm 0,74$ mg/g.

El pH óptimo para la eliminación de cromo (VI) fue de $2 \pm 0,1$ y la temperatura de 40 ± 2 °C.

Remoción de cromo (VI) usando tallos de maíz

Chen et al., (2011), estudiaron la capacidad de adsorción de Cr (VI) de soluciones acuosas usando tallos de maíz modificados químicamente con epíclorohidrina y otros, variando dosis de adsorbente, concentración inicial de Cr(VI), pH, tiempo de contacto y temperatura. La adsorción máxima de Cr (VI) fue de 200.00 mg/g a 303 K. los resultados mostraron que la adsorción del Cr (VI) depende significativamente del pH y la temperatura. El proceso sigue el modelo descrito por la expresión cinética de pseudo-segundo orden.

Remoción de cromo (VI) usando cáscara de nuez

Altun y Pehlivan, (2012), estudiaron la remoción de Cr (VI) de soluciones acuosas después de un tratamiento con ácido cítrico. La tasa de adsorción se estudió teniendo en cuenta la concentración inicial de Cr (VI), la cantidad de adsorbente, el pH, la temperatura y el tiempo de contacto. La máxima adsorción fue de 0.1540 mmol/g con pH de 2.0 y temperatura de 120°C. La capacidad de adsorción fue calculada usando el modelo de Langmuir.

Remoción de cromo (VI) de soluciones acuosas utilizando aserrín

Gupta y Babu, (2009), utilizaron el aserrín natural como bioadsorbente 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). Se encontró que el modelo de isoterma de Langmuir es el más adecuado para la adsorción de cromo (VI) con aserrín y la máxima capacidad de adsorción

obtenida fue de 41.5mg/g a un valor de pH de 1. El proceso de adsorción sigue la cinética de pseudo-segundo orden.

Remoción de cromo (VI) de efluentes industriales utilizando cáscara de plátano

Memon et al., (2009), describen el uso de cáscara de plátano, un desperdicio de fruta 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 cinética de adsorción sigue una ecuación pseudo primer orden. 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.

Remoción de cromo (VI) usando salvado de trigo

Singh et al., (2009), analizaron la posibilidad de usar salvado de trigo como adsorbente para remover cromo (VI) de soluciones acuosas. La adsorción máxima de Cr (VI) fue de 310.58 mg/g a un pH de 2.0 bajo condiciones iniciales de concentración de 200 mg/L y temperatura de 40°C. Los resultados demuestran que el proceso se basa en la expresión de pseudo-segundo orden. Además, la remoción de Cr (VI) fue rápida en las etapas iniciales por la difusión entre la frontera de las capas y se fue volviendo lenta a medida que avanzaba el proceso por la difusión de intrapartículas.

Bioadsorción de cromo (VI) en aguas residuales con cáscara de pistacho

Moussavi y Barikbin, (2010), investigan el uso del polvo de la cáscara de pistacho como bioadsorbente en la remoción de Cr (VI) de aguas residuales. Se estudiaron los efectos que producían diferentes parámetros como el pH, la

concentración inicial del ion metálico, la temperatura y el tiempo de contacto. Los resultados revelaron que el polvo de cáscara de pistacho adsorbe más del 99% de cromo de soluciones que contienen de 50 a 200 mg/l de Cr (VI) con un pH de 2 y una concentración de adsorbente de 5 g/l, después de 60 min de equilibrio. El porcentaje de cromo adsorbido en la solución aumentó con la temperatura en el rango de 5 a 40°C. Los estudios cinéticos y la isoterma de modelado demostraron que los datos experimentales se adaptan mejor a una ecuación de pseudo-segundo orden y al modelo de Langmuir, respectivamente. La máxima capacidad de adsorción de Langmuir fue 116,3 mg/g. En resumen, la adsorción con cáscara de pistacho es un proceso asequible y sencillo para el tratamiento de Cr (VI) de aguas residuales industriales.

Remoción de cromo (VI) usando residuos de trigo

Chen et al., (2010), estudiaron la capacidad de adsorción de Cr (VI) del residuo de trigo modificado (MWR) químicamente usando epíclorohidrina y otros. Los resultados demostraron que la máxima capacidad de adsorción del MWR es de 322.58 mg/g a 328K y se debe a la existencia de varios grupos amino y al valor de pH usado, que fue de 5.0. El análisis se basó en la ecuación cinética de pseudo-segundo orden y el modelo de difusión intrapartículas. Los resultados sugieren que el MWR es un adsorbente efectivo y económico para la remoción de Cr (VI) de soluciones acuosas.

Adsorción de cromo (III) con aserrín de meranti

Rafatullaha et al., (2009), proponen el uso del aserrín de meranti en la eliminación de iones de Cu (II), Cr (III), Ni (II) y Pb (II) de soluciones acuosas a concentraciones de 200 mg/l. La máxima adsorción para todos los metales se

obtuvo a pH 6, con un tiempo de contacto de 120 min, una dosis de adsorbente de 10 g/l, una temperatura de 30 °C y una velocidad de agitación de 100 rpm. La cinética de adsorción fue modelada con las ecuaciones de pseudo-primer orden y pseudo-segundo orden los cuales arrojaron valores altos del coeficiente de correlación R^2 de 0.850 a 0,932 y 0,999 a 0.991, respectivamente. La ecuación de la cinética de adsorción que mejor se ajusta a los datos experimentales es la ecuación de pseudo-segundo orden de Ho y McKay obteniéndose la máxima adsorción de Cr (III) de 37,88 mg/g. Además, el aserrín de meranti fue encontrado rentable y tiene una buena eficiencia para eliminar estos iones metálicos tóxicos de las soluciones acuosas.

Remoción de cromo (III) usando residuos de naranja

Pérez et al, (2009), estudiaron la habilidad de los residuos de naranja para remover Cr (III) de soluciones acuosas, se realizaron estudios por lote, la cinética e isothermas se llevaron a cabo a escala de laboratorio para evaluar la capacidad de adsorción de estos residuos. Se investigaron los efectos del tamaño de partícula, la dosis adsorbente y el pH de la solución. Los resultados mostraron que cuanto mayor sea la dosis adsorbente y el pH, mayor es el porcentaje de eliminación de metal. Una influencia significativa de tamaño de partícula sobre la capacidad de sorción se observó en las condiciones experimentales estudiadas. Un estudio cinético reveló que la adsorción de Cr (III) con residuos de naranja fue un proceso gradual y el equilibrio se alcanza en tres (3) días. El modelo de pseudo-segundo orden es el más apropiado para describir los datos experimentales cinéticos. Los ensayos de equilibrio muestran una capacidad máxima de sorción que va desde 0,57 mmol/g hasta 1,44 mmol/g cuando el pH se incrementó de 3 a 5. Se concluyó que la capacidad de adsorción en los ensayos por lotes fue mayor que en los ensayos

continuos.

Remoción de cromo (III) usando residuos de rosa

Iftikhar et al., (2009), estudiaron la capacidad de adsorción de los residuos de pétalos de rosa para remover Cr (III) de soluciones acuosas. Los resultados demostraron la dependencia de la adsorción del metal de: la dosis de adsorbente, el tamaño, la concentración inicial, tiempo y temperatura. La adsorción máxima del cromo fue de 67.34 mg/g con pH y temperatura óptimas de 5 y $303 \pm 1K$, respectivamente. Los resultados mostraron que los residuos de rosa son un material potencial para remover iones de Cr (III) con alta capacidad de adsorción. Los resultados mostraron que el proceso sigue el modelo de pseudo-segundo orden.

Bioadsorción de cromo (III) en soluciones acuosas utilizando cáscara de maní

Witek-Krowiak et al., (2011), describen el uso de la cáscara de maní como bioadsorbente ecológico para la remoción de metales pesados. En este trabajo se examinó la eficacia para la remoción de iones de Cr (III) en soluciones acuosas. La bioadsorción se vio afectada por varios parámetros, como la concentración de bioadsorbente, pH y temperatura. Este estudio demostró que en condiciones óptimas (pH= 5,0, concentración de biomasa= 10 g/l; temperatura= 20°C, y tiempo de contacto= 1h), según el modelo de Langmuir, la máxima capacidad de adsorción obtenida fue de 27.86mg/g. Experimentos cinéticos demostraron que el proceso de biosorción fue rápido, con el equilibrio alcanzado prácticamente a los 20 min. La cinética del proceso se describe mejor mediante la ecuación de pseudo-segundo orden. Los resultados obtenidos y su comparación con diferentes biosorbentes mostraron que la biomasa de cáscara de maní es un biosorbente eficaz para remover iones metálicos.

Capacidad de remoción de cromo de las

biomasas investigadas

Con respecto a la información recopilada, se puede resaltar las biomasas de cáscara de pistacho, cáscara de plátano, residuos de trigo, salvado de trigo y tallos de maíz, puesto que, reportan la mayor capacidad de remoción que van desde 116,3 hasta 322,28 mg de cromo (VI)/g de biomasa, esto se debe a que las biomasas han sido sometidas a algún tipo de modificación física o química.

Para la remoción de Cr (VI) la biomasa que mostró la máxima capacidad de adsorción fueron los residuos de trigo con 322,58 mg/g, y las condiciones más favorables se dieron a una temperatura de 328K y un valor de pH de 5, además se le atribuye la capacidad del trigo a la existencia de varios grupos amino (Chen S et al., 2010), para el Cr(III) los residuos de naranja mostraron el mejor resultado con 74.87 mg/g a un pH de 5, comprobándose que la adsorción del metal está fuertemente influenciada por la dosis de adsorbente y el pH, donde el tamaño de particular del adsorbente no tuvo efectos significativos (Quiñones, E, et al, 2014)

2. Metodología

El ensayo se llevó a cabo en el Laboratorio de Aguas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana y consta de tres fases, que se detallan a continuación:

1. Preparación del Bioadsorbente

Preparación a partir de la cáscara: La cáscara de Moringa oleífera se sometió a un tratamiento físico (procesos de lavado, hervido, secado, molienda y tamizado) siguiendo la metodología seguida por otros autores previamente (Seshaiah et al., 2011).

2. Preparación del Agua Sintética

Se preparó una solución sintética de agua problema disolviendo 0.283g de $K_2Cr_2O_7$ según cálculos estequiométricos y con grado analítico en agua destilada para obtener una solución madre de 1000 ml de solución del metal (Cr)

3. Estudio del Proceso de Bioadsorción

Los pasos a seguir fueron:

• Proceso de Bioadsorción

Se puso en contacto el bioadsorbente y las muestras problema, se reguló el pH, una muestra a pH 3, otra a pH 9, cada una con su respectivo testigo y una muestra X (pH 6.1). Se agitaron a una temperatura ambiente, a 200 rpm durante (20min). Una vez transcurrido el tiempo las muestras se dejaron en reposo o decantación durante (10 min) y posteriormente fueron filtradas.

Para determinar la concentración de iones metálicos (Cr) y el porcentaje de remoción en la solución se utilizó el método colorimétrico Difenilcarbazida muy utilizado en química analítica.

• Efecto de las Variables Operativas.

Se estudió el efecto que tienen cuatro variables operativas en el proceso de bioadsorción.

- Tiempo de contacto. 20min

- Dosis de Bioadsorbente. 10g de bioadsorbente por cada 100 ml de solución.

- pH. 3(Ácido) - 9 (Básico) - pH X - 6.1 (Ligeramente ácido)

- Temperatura. Ambiente

Efecto de las Variables

- *Tiempo de contacto.* El tiempo óptimo fue de 20 minutos. Usando cáscara de Moringa se logró eliminar el 90%, 70% y 50% de Cr a pH 3, pH 6.1 y pH 9 respectivamente.

- *Dosis de adsorbente.* Los resultados de eliminación se consiguieron con 10 g

adicionados a 100ml de solución madre de $K_2Cr_2O_7$.

- *pH*. El óptimo fue de 3 alcanzándose una eliminación del 90% para el Cr trabajando con cáscara de Moringa

- *Temperatura*. La temperatura óptima fue la temperatura ambiente ($26^\circ C$) para el sustrato.

Por medio del método colorimétrico Difenilcarbazida se determinó la concentración de los iones metálicos en los tratamientos utilizados en el ensayo con cascara de moringa con tratamiento a pH.3 - pH. 9 – pH. 6.1 y sus testigos sin tratamiento a Ph 3 – pH 9, permitió determinar que a pH ácido la remoción de metales pesados exactamente del Cromo, utilizada en este ensayo es óptimo que para pH básicos; tal como se muestra en la tabla 1, donde se detalla que para pH 3 y pH.6.1 el porcentaje de remoción es mayor respecto al tratamiento con pH 9.

El mejor porcentaje en el ensayo de remoción fue observado en un valor de pH igual a 3 unidades, teniendo una remoción del 90 %. Lo que nos muestra claramente la importancia del pH en el proceso de remoción de metales. Su influencia en el proceso de biosorción de iones metálicos, se da por la competición entre los iones del metal y los iones H^+ , presentes en la solución, por los sitios activos en la superficie de la biomasa. La dependencia de la captura de los iones por la biomasa en función del pH puede justificarse por la asociación o disociación de algunos grupos funcionales presentes, como por ejemplo, los grupos carboxilo (Chubar et al., 2004; Selatnia et al., 2004).

En cuanto a las semillas de Moringa contienen varios grupos funcionales, principalmente grupos amino y ácidos. Estos grupos tienen la capacidad de interactuar con iones metálicos, dependiendo del pH. Un aumento en la adsorción del metal con el aumento de los valores de pH se puede explicar sobre la base de

Tabla 1. Porcentaje de remoción de Cromo Hexavalente

Tratamiento con cascarrilla de <i>Moringa oleífera</i>	pH 3 (Testigo)	pH 3 con cascarrilla Moringa	pH 6,1 Cascarrilla de Moringa	pH 9 con cascarrilla Moringa	pH 9 (Testigo)
% Remoción	40%	90%	70%	50%	20%

De acuerdo a Pereira (2003) y Senthilkumaar; et al (2000) se indica que El pH es un parámetro importante en la remoción de metales pesados ya que afectan cualquier proceso de adsorción. Esta dependencia está estrechamente relacionada con las propiedades ácido-base de los diversos grupos funcionales en las superficies adsorbentes.

la competencia entre los iones de protones y de metal para los mismos grupos funcionales, y una disminución en la superficie de carga positiva, lo que resulta en una mayor atracción electrostática entre la superficie del metal y el bioadsorbente (Senthilkumaar S; et al, 2000).

Los materiales bioadsorbentes contienen principalmente grupos funcionales ácidos y

básicos débiles. Se desprende de la teoría del equilibrio ácido-base, en el intervalo de pH de 2,5-5, la unión de cationes de metales pesados está determinada principalmente por el estado de disociación de los grupos ácidos débiles. A mayor pH de la solución, la solubilidad de un metal complejo disminuye suficientemente para su precipitación, que conducen a una capacidad de sorción reducida (Cleide S. T; et al, 2013).

A continuación se compilan en la figura 1 los resultados respecto a la remoción de Cromo hexavalente utilizando cáscara de moringa como bioadsorbente.

En la medida que el pH de la muestra a tratar sea más bajo (ácido), esto provoca la protonación de la superficie del bioadsorbente (cáscara de moringa), lo cual induce una fuerte atracción por los iones Cr(VI) de la solución que se encuentran cargados negativamente; por tanto la remoción del metal pesado es mayor a pH ácido. Caso contrario sucede con pH básicos; en la solución los iones que aumentan con los OH^- , que induce cambios en la superficie del bioadsorbente; impidiendo la adsorción de los iones Cr(VI) que están cargados negativamente por la biomasa.

REMOCIÓN DE Cr (VI) UTILIZANDO CÁSCARA DE MORINGA COMO BIOADSORBENTE

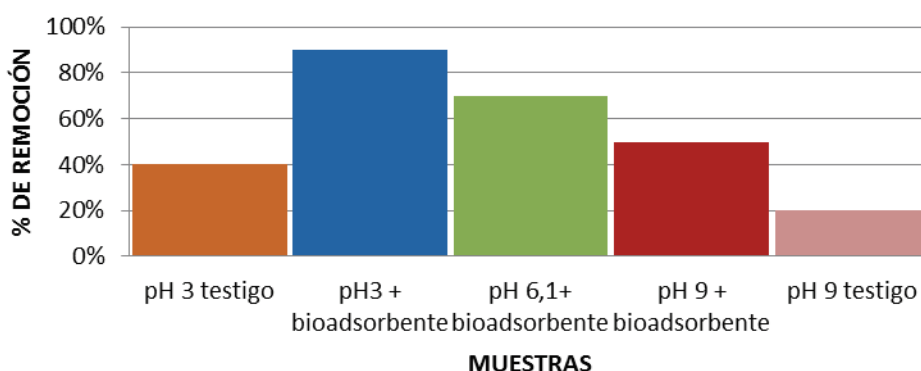


Figura 1. Remoción de Cromo hexavalente utilizando cáscara de moringa como bioadsorbente.

La biomasa de moringa (10g) introducida a cada muestra que incluía 100ml de agua residual industrial sintética a una concentración de 100mg/l de Cromo hexavalente (Cr(VI)), obtuvo una adsorción máxima del metal pesado en un 90% con pH de 3 Unidades y la mínima fue del 50% de remoción a un pH de 9 Unidades; sin tener en cuenta los testigos trabajados en el laboratorio que solo con las modificaciones de pH 3 y 9 obtuvieron remoción del 40% Y 20% respectivamente.

4. Conclusiones

La bioadsorción es un método económico y ecológico para la eliminación de metales pesados que puede ser utilizado desde el hogar, así como las aguas residuales industriales, además de brindar un alto porcentaje de remoción a un bajo costo y con materiales de fácil acceso.

Se concluye que la tendencia en investigación

respecto a la búsqueda de métodos para la remoción de cromo está en el uso de bioadsorbentes dejando de lado los métodos convencionales.

La cáscara tratada de *Moringa oleífera* puede ser un bioadsorbente potencial para la eliminación del Cr de soluciones acuosas, ya que se obtuvieron rendimientos de eliminación bastante elevados.

El pH óptimo para la adsorción de Cromo (VI) es 3, o en un rango 3 y 6,1

-Se logró la máxima adsorción de Cr VI (90%) a pH 3, con un tiempo de contacto de 20min, una dosis de adsorbente de 10g/L, una temperatura ambiente y una velocidad de agitación de 200 rpm.

De la revisión realizada, se puede observar que en los últimos seis años se ha investigado el uso de una amplia variedad de biomásas para la remoción de los iones metálicos en aguas contaminadas, entre los que se incluye la cascara de *Moringa*

La cascara de *moringa* resulta ser excelente adsorbiendo metales pesados como el Cromo en aguas contaminadas alcanzando una remoción del Cr (VI) del 90% en tan sólo 20 minutos a pH 3.

5. Referencias bibliográficas

1. AVN 04/03/2015 16:20 <http://www.avn.info/ve/contenido/c%C3%A1psulas-semilla-moringa-pueden-regenerar-aguas-contaminadas>
2. Cleide S. T. Araújo, Dayene C. Carvalho; et al, 2013. Bioremediation of Waters Contaminated with Heavy Metals Using *Moringa oleífera* Seeds as Biosorbent. Disponible en

<http://www.intechopen.com/books/applied-bioremediation-active-and-passive-approaches/bioremediation-of-waters-contaminated-with-heavy-metal-s-using-moringa-oleifera-seeds-as-biosorbent>.

3. Garcia Fayos B, Arnal Arnal J, Alandia S 2012. Estudio de la descontaminación de efluentes líquidos con elevada concentración de metales pesados mediante bioadsorbentes de *Moringa Oleífera*. Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM). Universitat Politècnica de València. XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos Valencia, 11-13 de julio de 2012
4. Garzón J, González I, 2012. Adsorción de Cr (VI) utilizando carbón activado a partir de cáscara de naranja. Universidad de Cartagena 2012.
5. Martín C., et al 2013. Potenciales aplicaciones de *Moringa oleífera*. Una revisión crítica. Pastos y Forrajes vol.36 no.2 Matanzas abr.-jun. 2013. versión ISSN 0864-0394. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942013000200001&script=sci_arttext
6. Pérez, R; et al rindes.2014. Adsorción de Cr(VI) por Cocos nucífera L. en residuales de Fibrocemento en Santiago de Cuba. Universidad Nacional, Bogota. Revista Colombiana de Biotecnología, Vol. 16. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/rt/prINTERfriendly/44183/45830>
7. Quiñones, E, et al, 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

8. Quiñones, E.; Tejada, C.; Arcia, C.; Ruiz, V.: Remoción metales pesados 2013. Remoción de plomo y níquel en soluciones acuosas usando biomasas lignocelulósicas: una revisión. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 479-489, Julio-Diciembre, 2013
9. Tejada, C., Villabona, Á., & Ruiz, V. (2012). Biomasa residual para remoción de mercurio y cadmio: una revisión. Ingenium, 6(14), 11-21.
10. Consultado el 11 de marzo de 2015. <http://www.traxco.es/blog/noticias-agricolas/eliminar-metales-pesados-en-e-l-agua>