

Utilización de polisacáridos microbianos como agentes bioadsorbedores de color en el tratamiento de aguas residuales de la industria textil.

J. Jáuregui-Rincón^{*}, G.J. Araiza-Arvilla, G.I. Ponce-Andrade

Departamento de Ingeniería Bioquímica, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Recibido 09 mayo 2007, revisado 25 septiembre 2007, aceptado 10 noviembre 2007

Using polysaccharides microbial agents bioadsorptive color in the treatment of wastewater from the textile industry.

Abstract

The contamination by dyes in residual waters is a serious problem that face different companies from the textile branch, as much those that are dedicated to the dyeing like which they fade articles by means of the washing. At the moment chemical substances that act like flocculating or coagulating agents and whom later there are to separate and to have them, in many cases are used these are not biodegradable or take many time in degrading itself in the atmosphere. The natural polysaccharides ones have turned out to be good bioadsorptive of dyes, had mainly to their structure and interaction with the dyes. The polysaccharides ones of commercial degree can be a good alternative by his low cost and the low concentration in which they are possible to be used can be attractive for different processes. The search of new alternatives for the removal of dyes by bioadsorption is the intention of this work, where different concentrations were tried from two polysaccharides ones and with different types from dyes contained in residual water samples of the textile industry, obtaining the graphics of bioadsorption. In this study the alginate was the best bioadsorptive agent, obtaining removals average superior to 85%, being its very easy separation by sedimentation and compression of the gel. This can be a good alternative for the removal of dyes in waters of the textile industry.

Resumen

La contaminación por colorantes en aguas residuales es un grave problema que enfrentan distintas empresas del ramo textil, tanto las que se dedican al teñido como aquellas que destiñen prendas por medio del lavado. Actualmente se emplean sustancias químicas que actúan como agentes floculantes o coagulantes y que posteriormente hay que separar y disponer de ellos, en muchos casos estos no son biodegradables o tardan muchos tiempo en degradarse en el ambiente. Los polisacáridos naturales han resultado ser buenos adsorbedores de colorantes, debido principalmente a su estructura e interacción con los colorantes. Los polisacáridos de grado comercial pueden ser una buena alternativa por su bajo costo y la baja concentración en la que se pueden emplear puede resultar atractivo para distintos procesos. La búsqueda de nuevas alternativas para la remoción de colorantes vía bioadsorción es el propósito de este trabajo, donde se ensayaron diferentes concentraciones de dos polisacáridos y con distintos tipos de colorantes contenidos en muestras de agua residual de la industria textil, obteniendo las graficas de bioadsorción. En este estudio el alginato fue el mejor agente bioadsorbedor, logrando remociones promedio superiores al 85%, siendo su separación muy fácil por sedimentación y compresión del gel. Esta puede ser una buena alternativa para la remoción de colorantes en aguas de la industria textil.

^{*} Autor de correspondencia
E-mail: jjaregui@correo.uaa.mx

Palabras clave: Alginato, colorantes, xantana, bioadsorción.

Introducción

La industria textil es una de las más importantes a nivel regional y genera beneficios a la población local de nuestro estado, sobre todo al municipio de Aguascalientes, sin embargo la cantidad de sustancias químicas que se utilizan en el proceso de tinción ocasionan que las descargas de las aguas residuales de las fábricas de teñido y procesado de prendas textiles contengan una cantidad considerable de compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos al ambiente. Entre estos compuestos se encuentran los colorantes, los cuales aun en pequeñas cantidades son visibles y dan un aspecto indeseable al agua en la que se encuentran (Nigam y col. 2000 y 2001). Existen más de 100,000 colorantes comerciales y la producción mundial anual es de 0.7 millones de toneladas (Meyer, 1981).

Los colorantes se pueden clasificar de acuerdo a su estructura en ácidos, básicos, dispersos, azo, basados en antroquinona y colorantes de complejos metálicos. Otra forma de clasificarlos más simple es de acuerdo a su carga en aniónicos, catiónicos y neutros. Algunas estructuras de ellos se muestran en la fig. 1. Aunque la estructura de los colorantes es de naturaleza orgánica, su degradación es lenta y difícil debido a que por ser de origen sintético, los organismos presentes en la naturaleza no poseen los mecanismos adecuados para su descomposición rápida y lo anterior ocasiona que se acumulen en el

ecosistema generando fuentes de contaminación. Se ha reportado que los colorantes ácidos no son afectados de manera importante por sistemas de tratamiento aeróbico (Moran et al., 1997). Por otra parte la aplicación de medios anaeróbicos ha mostrado algunas opciones para tratar las aguas que contengan colorantes pero solo se limita a algunos colorantes como los azo y nitro (Ogawa y Yatome, 1990; Knapp y Newby, 1995), sin embargo al transformarse estos compuestos, se demostró que algunos colorantes azo y nitro son reducidos en sedimentos y forman anilinas que suelen ser más tóxicas que los mismos colorantes. Además de estos tratamientos se han empleado métodos químicos, físicos y microbianos.

Métodos químicos

Degradación fotoquímica. Si se aplica peróxido de hidrógeno en forma simultánea con irradiación ultravioleta se degradan los colorantes hasta dióxido de carbono y agua (Peralto-Zamora et al., 1999). La descomposición es causada por la producción de una alta concentración de radicales oxhidrilo (HO \cdot). La ventaja de este proceso es que no se producen lodos y los olores, pero se pueden generar subproductos como haluros, iones metálicos, ácidos inorgánicos, aldehídos y ácidos orgánicos que pueden llegar a ser tóxicos. Reactivo de Fenton (peróxido de hidrógeno + sal de hierro (II)). Este reactivo es adecuado para aplicarse a aguas residuales que son resistentes al tratamiento

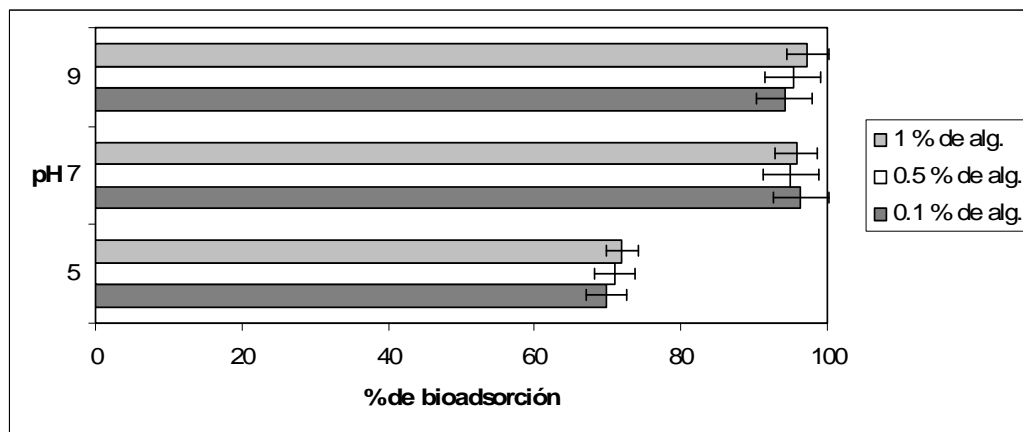


Figura 1. Porcentaje de remoción de color en el efluente 1 usando alginato en diferentes concentraciones.

biológico o en casos donde las descargas contienen compuestos tóxicos para la biota que se encuentra en los lodos activados. El reactivo de Fenton decolora los colorantes, pero la desventaja es que genera lodos debido a la floculación del reactivo-colorantes (Raghavacharya, 1997).

Ozonización. El ozono es un buen agente oxidante que es capaz de descomponer hidrocarburos clorados, fenoles, plaguicidas e hidrocarburos aromáticos (Lin y Lin, 1993). Los grupos cromóforos de los colorantes normalmente incluyen dobles enlaces conjugados, los cuales se rompen por la acción del ozono, produciéndose compuestos más pequeños con la consecuente disminución del color (Peralto-Zamora et al., 1999). El tratamiento de los efluentes con ozono disminuye el color y la demanda química de oxígeno, sin embargo, el tiempo de vida media de este gas es corta (20 minutos) y en condiciones de pH básico su vida media disminuye aún más. Por esta razón su utilización tiene un costo relativamente alto.

Hipoclorito de sodio. En el suministro de hipoclorito en las aguas de descarga, el grupo amino del colorante es atacado por el catión cloro, lo cual provoca que el enlace azo se destruya, pero existen algunos subproductos de la ruptura de la molécula de colorante que son tóxicos y carcinogénicos (Banat et al., 1996). **Degradación electroquímica.** Se aplica una corriente eléctrica al agua residual mediante electrodos con el fin de descomponer los diferentes colorantes presentes en ella. Las ventajas son que no se consume productos químicos, no se producen lodos y los productos obtenidos no son peligrosos (Ogutveren y Kaparal, 1994; Pelegrini et al., 1999). Las desventajas son que si se utiliza velocidades de flujo elevadas, la remoción del colorante disminuye. Un factor que limita su aplicación es que el costo de la electricidad.

Métodos biológicos.

Uso de microorganismos. Se ha reportado que varios hongos ligninolíticos degradan colorantes, entre ellos se encuentran *Phanerochaete chrysosporium*, *Hirschioporus larincinus*, *Inonotus hispidus*, *Phlebia tremellosa* y *Coriolus versicolor* entre otros (Chao y Lee, 1994; Reddy, 1995; Kirby, 1999; Paszczynski y Crawford, 1995; Banat et al., 1996).

El más utilizado es *Phanerochaete chrysosporium*, que ha mostrado tener la capacidad de degradar

dioxinas, bifenilos policlorados y otros compuestos organoclorados (Chao y Lee, 1994; Reddy, 1995). Además de decolorar efluentes de origen textil, descompone colorantes azo (Kirby, 1999; Paszczynski y Crawford, 1995). Sin embargo se ha encontrado que la eficiencia de remoción de colorantes por parte de los hongos es mayor en sustrato sólido que en estado líquido, por lo que el grado de eficiencia de degradación en medios acuoso (agua residual) no es tan alta como la obtenida en la fermentación en sustrato sólido (FSS) (Nigam et al., 2000). Algunas bacterias han mostrado tener capacidad de decolorar diferentes soluciones de colorantes en ambiente aeróbico y anaeróbico (Nigam y Marchant, 1995). La levadura *Kluyveromyces marxianus* es capaz de decolorar colorantes como el negro remazol B en un porcentaje del 78 al 98 % de efectividad (Banat y col., 1997) y finalmente se ha reportado en la literatura que *B. subtilis* degrada p-aminobenceno y que otros organismos mesofílicos y termofílicos tienen la capacidad de degradar algunos colorantes (Nigam et al., 1996; Banat et al., 1997).

Recientemente se ha reportado que algunas enzimas extracelulares son altamente efectivas en la descomposición de colorantes y compuestos orgánicos (Ikehata et al. 2004 y Sannia et al. 2005).

Métodos físicos.

Filtración en membrana. Este método clarifica, concentra y separa el colorante del efluente continuamente. Posee características muy importantes como la resistencia a la temperatura, al ambiente químico corrosivo y al ataque microbiano. Sus desventajas son que la membrana se puede obstruir y es necesario cambiarla, el proceso es caro y el residuo obtenido después de la filtración genera problemas para su disposición o confinamiento (Mishra y Tripathy, 1993). **Intercambio iónico.** El agua residual se hace pasar a través de una columna de resina de intercambio iónico y en esta última los colorantes son retenidos hasta que la columna se satura. Se puede remover moléculas aniónicas y catiónicas de colorante. La ventaja de este método es que no se pierde el agente adsorbente en el proceso de regeneración del mismo y se vuelve a recuperar el disolvente utilizado en la reconstitución de la resina por algún método físico como rectificación, destilación, etc. La mayor desventaja es el alto costo de la resina y de los disolventes además de que este método no es muy

efectivo para colorantes dispersos (Mishra y Tripathy, 1993).

Irradiación. Este método ha mostrado tener una alta efectividad en la oxidación de fenoles y algunos colorantes (Hosono y col., 1993). El irradiar un efluente de agua residual provoca la destrucción de sustancias orgánicas, pero exige que se consuma bastante oxígeno, esto genera que en el equipo diseñado para proveer radiación al agua con colorantes se le implemente una fuente de suministro de oxígeno, lo cual eleva el costo de operación. **Coagulación electrocinética.** Este es un método económico en la remoción de colorante y consiste en la adición de sulfato ferroso y cloruro férrico al agua residual generando que el colorante se coagule. Es excelente en la remoción de colorantes directos pero de pobre eficiencia en los colorantes ácidos. La concentración adecuada de las sales de hierro depende de la carga estática del colorante en solución, el costo de estas sales es alto y la disposición del lodo generado por la coagulación es problemática y eleva los costos totales de operación (Mishra y Tripathy, 1993).

Adsorción. Este método es económico y posee una alta eficiencia de remoción de colorantes (Rao et al., 1994). El costo de operación varía y depende del agente adsorbente utilizado. Como agente adsorbente se puede utilizar desde carbón activado hasta la biomasa de un determinado organismo, a continuación se describen algunos de estos agentes.

Carbón activado, usado para remover colorantes ácidos, catiónicos y compuestos utilizados como mordientes en el proceso de tinción. También adsorbe colorantes dispersos, directos, de cuba, pigmentos y colorantes reactivos (Raghavacharya, 1997; Rao et al., 1994). La efectividad de decoloración depende del tipo de carbón utilizado y de las características del agua que contiene los colorantes, así un tipo específico de carbón puede ser muy efectivo en un efluente con ciertas características químicas y poco efectivo en otro con naturaleza química muy diferente del primero. El carbón activado es caro además de que al reactivarse pierde del 10-15% de su capacidad adsorbente.

Musgo. La estructura celular del musgo lo hace una elección ideal como agente adsorbente. Adsorbe iones metálicos de transición y compuestos polares de efluentes que además contienen colorantes. A diferencia del carbón activado no necesita activación y por consecuencia el costo de operación

es menor (Poots y McKay, 1976 a). El material obtenido de la adsorción (musgo + colorante) se puede utilizar como sustrato en la fermentación en sustrato sólido. La desventaja es que solo se encuentra en lugares determinados (en lugares como Irlanda y el Reino Unido). Madera (molida o en segmentos pequeños). La madera tiene una buena capacidad de adsorción para colorantes ácidos, pero debido a su dureza no es tan adecuado como otros agentes adsorbentes y también necesita de tiempos de contacto largos. Posterior a la adsorción el producto obtenido puede utilizarse en la fermentación en sustrato sólido (FSS) o puede quemarse para generar energía (Poots y McKay, 1976 b). Otros materiales. Se ha utilizado gel de sílice, arcilla natural, mazorca de maíz, cáscara de arroz, etc. El primero es un buen agente adsorbente para colorantes básicos pero la problemática en la disposición del producto sílice-colorante limita su uso. Los demás son opciones baratas debido a que son producto de desperdicio y su abundancia es alta, sobretodo cuando el producto de adsorción es biodegradable se puede someter a la fermentación en sustrato sólido.

Se ha reportado que la biomasa de microorganismos posee propiedades adsorbentes con ello generándose el término bioadsorción (Hu, 1992; Kumar et al., 1998). Bacterias muertas, levaduras y hongos se han utilizado en la remoción de colorantes de efluentes sobretodo en aguas residuales donde el contenido de colorantes es altamente tóxico y no existen condiciones para el crecimiento de alguna población microbiana que tuviera posibilidad de descomponer al colorante (Modak y Natarajan, 1995).

Aunque la bioadsorción efectuada por la biomasa es muy eficiente (algunos minutos en la biomasa proveniente de algas y algunas horas en el caso de bacterias), la especificidad de cada población microbiana es diferente con respecto al tipo de colorantes que adsorbe, debido a que todos los componentes celulares de la biomasa contribuyen en la interacción con el colorante, de tal forma que aunque su capacidad bioadsorbente es alta, no se conoce el mecanismo de interacción de las moléculas de la biomasa con el colorante.

Recientemente se reportó un estudio donde se utilizaron algunos polímeros naturales obtenidos de diferentes fuentes, entre ellas se encuentran la quitina, el quitosano, la celulosa, goma guar, goma de tamarindo, almidón de maíz y de trigo, dextrina,

carragenina, pectina y ácido algínico (Blackburn, 2004). Desgraciadamente solo se reporta la adsorción a las doce horas de ponerse en contacto el agente adsorbente con el colorante.

En este trabajo se experimentará con dos biopolímeros, la xantana y el ácido algínico, los cuales son polímeros de origen natural y biodegradables.

La xantana fue descubierta en la década de los años cincuenta (Glazer y Nikaido, 1995) en cultivos de cepas de *Xanthomonas campestris*, donde se observó la consistencia viscosa de las colonias de esta bacteria, tal característica es conferida por la presencia de xantana en los productos de secreción bacteriano. Actualmente se produce este polímero en forma industrial mediante la fermentación de diferentes fuentes de carbono y con la posterior purificación del producto crudo obtenido. Este polisacárido es utilizado ampliamente en la industria alimentaria ya que actúa como un estabilizador, agente gelificante y favorece la suspensión homogénea de los componentes de salsas, helados, jarabes, quesos, pasteles, etc. Además también se utiliza en la industria manufacturera de las pinturas, insecticidas en aerosol, detergentes, desodorantes y como agente lubricante en la perforación de pozos petroleros (Glazer y Nikaido, 1995).

La xantana está compuesta por un esqueleto de moléculas de β -D-glucosa unidas por enlaces glucosídicos (1 \rightarrow 4). En forma alternada se encuentra unido un trímero formado por una molécula de α -D-manosa (M), ácido β -D-glucurónico (GA) y α -D-manosa (Goodal, 1987). El alginato es un polisacárido que se obtiene de organismos como algas y bacterias, está formado por cadenas lineales de β -D-manuronato unidos (1 \rightarrow 4) y α -L-guluronato unidos también por enlaces glucosídicos (1 \rightarrow 4) (Siew y Williams, 2005).

Material y métodos

Esta metodología se realizó para cada muestra de agua de la industria textil, estudiándose 4 distintos efluentes (1. Teñidos San Juan, 2. Hilaturas Rivas, 3. Novatex y 4. Lavandería, deslavados y procesos). Los polisacáridos fueron proporcionados por química U.S.P. de México. El cloruro de calcio, el ácido clorhídrico y el cloruro de aluminio fueron proporcionados por Sigma, S.A. de C.V.

1.- Se obtuvieron las muestras de agua de la industria textil volumen de 20 litros. Cada muestra fue filtrada para eliminar interferencias en la absorción del colorante por pequeñas partículas que provienen del proceso industrial.

2.- Se determinaron los espectros de absorción de cada muestra usando un espectrofotómetro UV-visible Génesis II y se determinó la longitud de onda de máxima absorción para cada efluente usando agua destilada como blanco y se determinó solo en el rango del visible.

3.- Se realizó el estudio de bioadsorción preliminar para conocer si había un efecto de las variables pH y fuerza iónica sobre la adsorción, se considerando tres valores de pH 5, 7 y 9 y se midió la conductividad eléctrica a cada pH, empleando 3 concentraciones de cada uno de los polímeros 0.1, 0.5 y 1%.

El estudio de bioadsorción se realizó en un sistema batch donde se ensayaron 3 concentraciones de colorante (100%, 60% y 20% referido a la concentración original del efluente textil). Se usó un volumen de 100 ml (se ajustó el pH y se midió la conductividad eléctrica) se agregó la cantidad de polímero (0.1, 0.5 y 1%) y después de 12 horas de mezclado para que se alcance el equilibrio y posteriormente se realizó la gelificación de cada uno de ellos usando cloruro de calcio 1 M para alginato y cloruro de aluminio 1 M para xantana. Por último se tomó una alícuota del agua liberada del gel y se midió la absorbancia de la solución en el espectrofotómetro Génesis II. Los experimentos se realizaron por triplicado. 4.- Con los datos obtenidos se construyeron las curvas de adsorción para cada efluente a distintos pH utilizando el software Excel, calculando la desviación estándar de los resultados obtenidos. Se realizaron un total de 108 experimentos, 27 para cada efluente analizado donde el pH, la concentración de colorante y el biopolímero fueron las variables y la respuesta fue el porcentaje de colorante adsorbido por g de polímero.

Resultados

Los primeros resultados obtenidos fueron que la fuerza iónica no tiene efecto significativo sobre la adsorción de los colorantes, pero si el pH, por lo que el pH si fue considerado como variable. Determinación de espectros de absorción y obtención de longitudes de onda de máxima

absorción para cada efluente. Cada una de las muestras de agua de las 4 empresas textiles (1. Teñidos San Juan, 2. Hilaturas Rivas, 3. Novatex y 4. Lavandería, deslavados y procesos. Las longitudes de onda de máxima adsorción para los cuatro efluentes se muestran en la tabla 1.

Determinación de las curvas de adsorción para cada efluente y utilizando el polímero alginato. Los resultados obtenidos de cada uno de los experimentos para los cuatro efluentes textiles se muestran en las graficas 1 a la 4, lo cual permite observar claramente los efectos de las variables sobre la bioadsorción de los colorantes.

Determinación de las curvas de adsorción para cada efluente y utilizando el polímero xantana. Los resultados obtenidos de cada uno de los experimentos para los cuatro efluentes textiles se muestran en las graficas 5 a la 8. En estas graficas se puede observar el efecto que tiene el pH sobre el proceso de adsorción de diferentes tipos de colorantes, así como el efecto significativo que tiene la concentración de polímero empleado sobre la absorción del color. El porcentaje de adsorción o remoción del colorante contenido en el agua en la mayoría de los efluentes alcanza niveles arriba del 85 % llegando en varios casos al 95-98 %.

Discusión

En las figs. 1 a 3 se puede observar el efecto que tiene el pH sobre el proceso de adsorción de diferentes tipos de colorantes. En la figura 1 podemos observar que el pH tiene un efecto significativo sobre el % de colorante adsorbido por el alginato y no existe diferencia significativa en cuanto al porcentaje de adsorción entre los tratamientos con 0.5% y 1% de alginato, pero si se tiene un alto porcentaje de adsorción, siendo menor para el caso de la concentración del 0.1%.

En la fig. 2 tenemos los resultados para el segundo efluente que tiene color rojo y que proviene de una industria que tiñe hilos, podemos observar que el pH no tiene una influencia significativa sobre el porcentaje de adsorción del colorante en el polímero y que la afinidad del polímero por el colorante es mucho menor que para el colorante del efluente 1, esto se puede ser debido a que es un colorante con diferente estructura química.

En la fig. 3 tenemos el caso del efluente 3 que posee un color azul cielo y que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos a distintos pHs, en cuanto a la concentración del

Tabla 1. Valores de la λ max para cada de las aguas residuales de la industria textil ensayadas.

Muestra	Valor de la longitud de onda de máxima absorción (λ max)
Teñidos San Juan (color azul)	578 nm
Hilaturas Rivas (color rojo)	508 nm
Novatex (color azul claro)	588 nm
Lavandería, deslavados y procesos (color negro)	500 nm

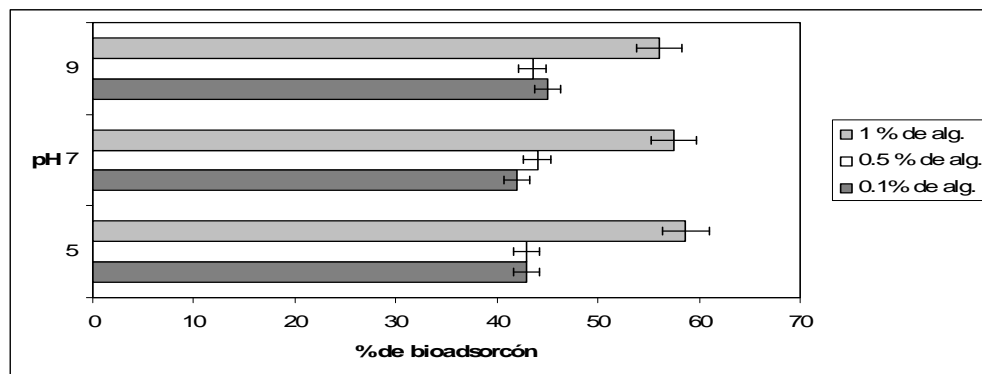


Figura 2. Porcentaje de remoción de color en el efluente 2 usando alginato en diferentes concentraciones.

polímero también no se observan diferencias significativas entre las concentraciones de 0.1 y 0.5%, pero si en 1%. En la fig. 4 se muestra la adsorción del colorante negro contenido en el efluente 4 que viene de una empresa de desteñido de mezclilla, en esta grafica observamos que tampoco el pH tiene un efecto significativo sobre la capacidad de adsorción del alginato sobre este colorante, pero si menor que el caso del efluente 1 que es de otra empresa de desteñido, pero que seguramente la estructura del colorante es distinta aunque ambos se usan en el teñido del algodón. Respecto a la bioadsorción empleando xantana de

colorante índigo contenido en el efluente 1 es adsorbido eficientemente por la xantana (adsorción mayor al 90%) por las tres concentraciones usadas y no hay un efecto significativo del pH sobre la adsorción, si se compara con el tratamiento con el alginato se observa una diferencia significativa en el tratamiento a pH de 5. En la fig. 6 podemos ver que al tratar el efluente 2 con xantana los resultados de la adsorción son a pH de 5 se observa una diferencia significativa de adsorción en el efluente a pH de 5 con respecto al 7 y 9. También se observa que no hay diferencias significativas entre la capacidad de adsorción a concentraciones de

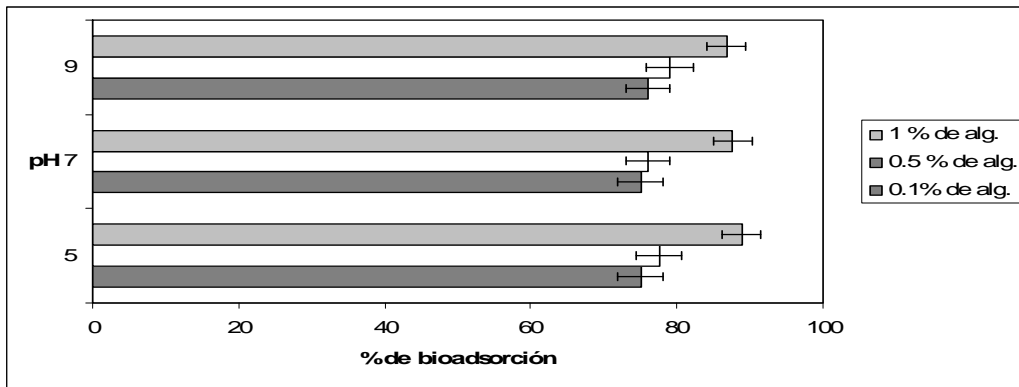


Figura 3. Porcentaje de remoción de color en el efluente 3 usando alginato en diferentes concentraciones.

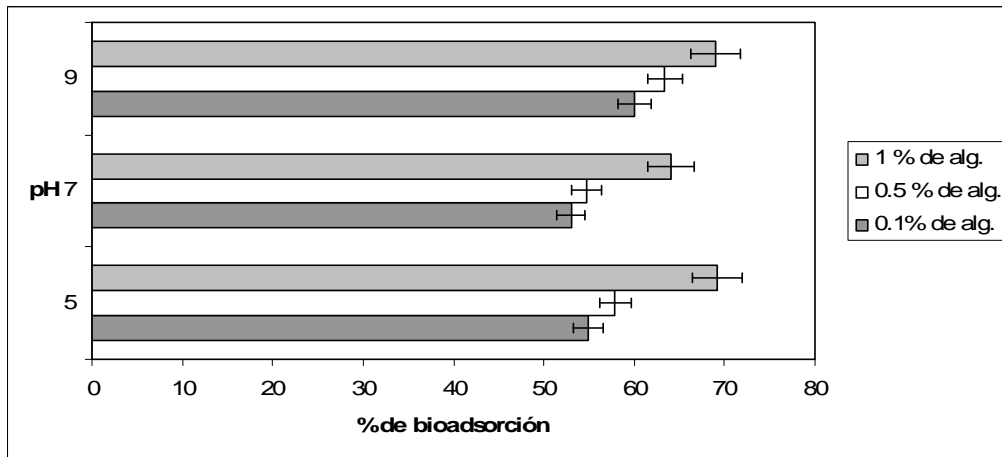


Figura 4. Porcentaje de remoción de color en el efluente 4 usando alginato en diferentes concentraciones.

puede decir que en la fig. 5 observamos que el polímero de 0.1 % y 0.5%.

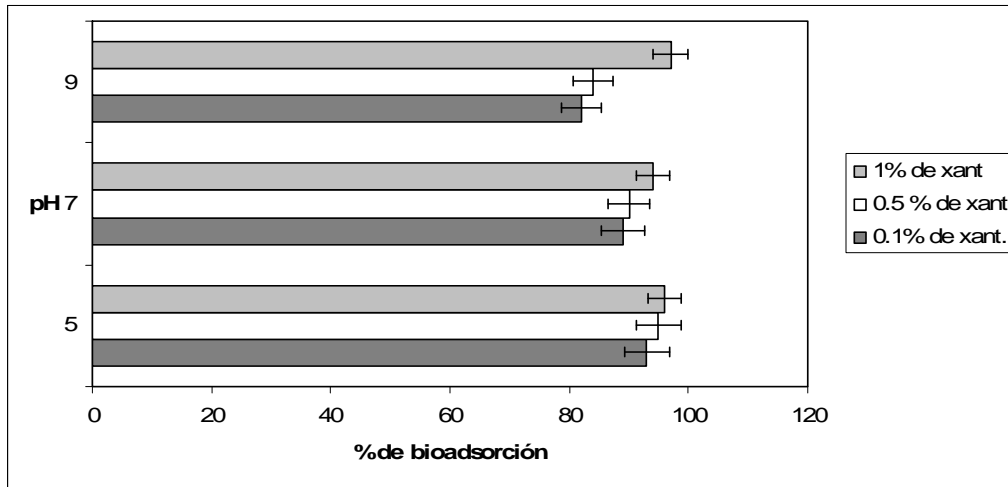


Figura 5. Porcentaje de remoción de color en el efluente 1 usando xantana en diferentes concentraciones.

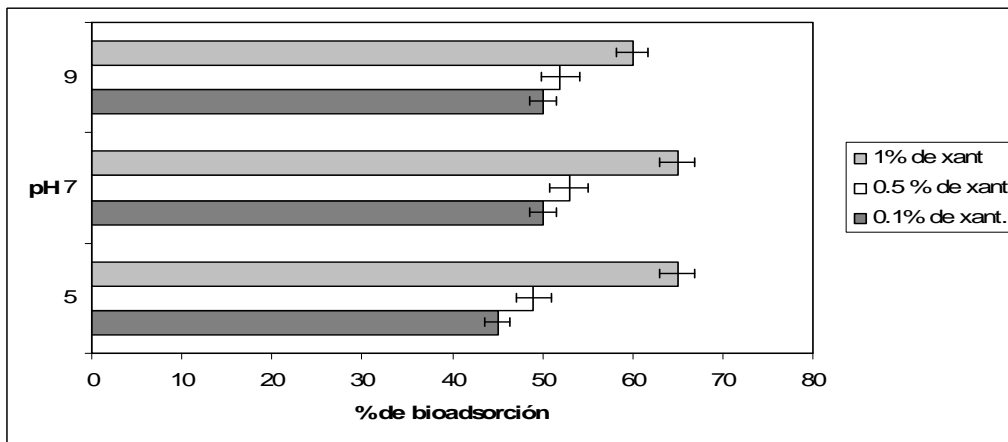


Figura 6. Porcentaje de remoción de color en el efluente 2 usando xantana en diferentes concentraciones.

En la fig. 7 observamos los resultados de la adsorción del colorante contenido en el efluente 3 de una empresa que fabrica telas teñidas, la muestra analizada contiene un color azul claro y se observa claramente que a pH de 7 se realiza mejor el proceso de adsorción, posiblemente debido a la carga del propio colorante. Si comparamos con la adsorción del alginato del mismo colorante encontramos que esta es mayor con este último. En el ensayo realizado con el efluente 4 (agua con color negro) se observó que no hay diferencias significativas debido al pH, al igual entre la concentración del 0.1% y 0.5% de xantana, pero en el caso de la concentración del 1% si se observa un

incremento de adsorción mayor del 20% por lo que se considera que si hay diferencia significativa.

Conclusiones

En base a todos los experimentos realizados en este trabajo se puede concluir que. Ambos polímeros mostraron capacidad de adsorción de colorantes contenidos en efluentes industriales. El alginato presentó en la mayoría de los casos mayor capacidad de adsorción que la xantana. La xantana presenta el gran inconveniente de atrapar más agua y genera un gel suave y menos firme que el alginato, debido a que su gelificación depende el

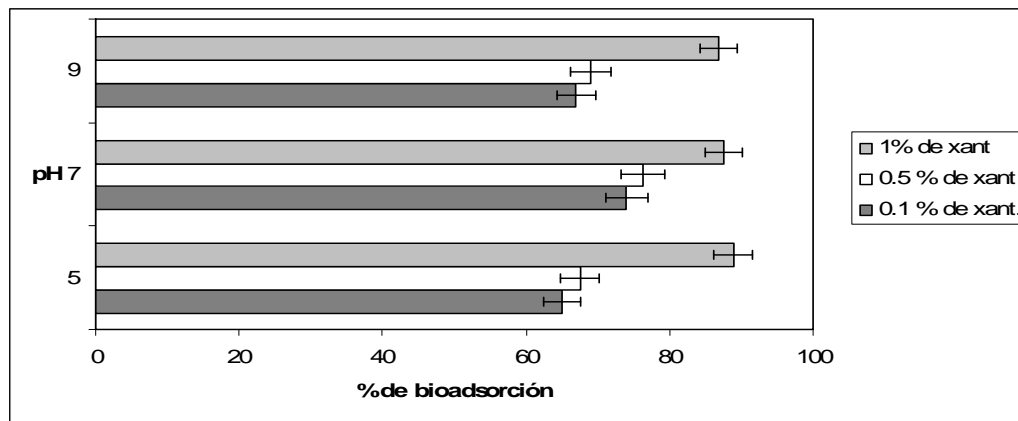


Figura 7. Porcentaje de remoción de color en el efluente 3 usando xantana en diferentes concentraciones.

pH y este se incrementa a pH altos. Los porcentajes de bioadsorción de color son mayores con alginato que con xantana y están arriba del 85 % en promedio. Por lo tanto la mejor alternativa es usar alginato y en una concentración mínima del 0.1% y máxima de 0.5%.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Autónoma de Aguascalientes el apoyo financiero otorgado al proyecto PBIT06-5 en el año 2006.

Bibliografía

- Banat, I. M., Nigam, P Singh, D., Marchant, R. Microbial decolorization of Textile Dye Containing Effluents: A Review. *Biores. Technol.* 1996 58, 217-227.
- Banat, I. M., Nigam, P., McMullan, G., Marchant, R., Singh, D. The Isolation of Thermophilic Bacterial Cultures Capable of Textile Dyes Decolorization. *Environ. Int.* 1997 23, 547-551.
- Blackburn, R.S. Natural Polysaccharides and Their Interactions with Dyes Molecules: Applications in Effluente Treatment *Environ. Sci. Technol.* 2004, 38, 4905-4909.
- Chao, W.L. y Lee, S.L. Decolorization of Azo dyes by Three White Rot Fungi: Influence of Carbon Source *World J. Microbiol. Biotechnol.* 1994 10, 556-559.
- Hosono, M., Arai, H., Yamamoto, I., Shimizu, K. y Sugiyama, M. Decoloration and Degradation of Azo Dye in Aqueous Solution of Supersaturated with Oxygen by Irradiation of High Energy Electron Beams *Appl. Rad. Iso.* 1993, 44, 1199-1203. et al., 1993).
- Glazer, N. A. y Nikaido, H. *Microbial Biotechnology, Fundamentals of Applied Microbiology* W.H. Freeman and Company (1995).
- Goodall, D.M. y Norton, I.T. Polysaccharide conformations and kinetics, *Acc. Chem. Res.* 1987, 20, 59-65.
- Hu, T.L. Sorption of Reactive dyes by *Aeromonas* biomass, *Water Sci. Technol.* 1992, 26, 357-366.
- Ikehata, K., Buchanan, I.D. y Smith, D.W. Recent Developments in the Production of Extracellular fungal peroxidases and laccases for waste treatment *J. Environ. Eng. and Science* 2004, 1, 1-19.
- Kirbby, N. *Bioremediation of Textile Industry Wastewater by White rot Fungi.* DPhil Thesis 1999 University of Ulster, Coleraine, UK.
- Knapp, J.S. y Newby, P.S. The microbiological Decolorization of an Industrial Effluent Containing a Diazo-linked Chromophore. *Water Res* 1995, 7, 1807-1809.
- Kumar, M.N.V.R., Sridhari, T.R. Bhavani, K.D. y Dutta, P.K. Trends in Color Removal from Textile Mill Effluents *Colorage* 1998, 40, 25-34. et al.,
- Lin, S.H. y Lin, C.M. Treatment of Textile Waste Effluents by Ozonation and Chemical Coagulation. *Water Res.* 1993 27, 1743-1748.
- Meyer, U. Biodegradation of Synthetic Organic Colorants. Microbial degradation of Xenobiotic and Recalcitrant Compounds 1981 In: Leisinger, T., Cook, A.M., Hunter, R.
- Mishra, G. y Tripathy, M. A Critical Review of the Treatment for Decolorization of Textile effluent. *Colourage* 1993, 40, 35-38.
- Modak, A. y Natarajan, K.A. Biosorption of Metals Using Non-living Biomasa – A Review *Min. Metall. Proc.* 1995, 189-195.
- Moran, C., Hall, M.E., Howell, R.C. Effects of Sewage Treatment on Textile effluent *J.Soc. Dyers. Colour.* 1997, 113, 272-274.
- Nigam, P. y Marchant, R. Selection of the Substratum For Composing Biofilm System of Textile Decolourizing Bacteria. *Biotechnol. Lett.* 1995, 17, 993-996.
- Nigam, P., Armour, G., Banat, I.M., Singh, D., Marchant, R. Microbial Process for the Decolorization of Textile Effluent Containing Azo, Diazo and Reactive Dyes. *Process Biochem.* 1996, 31, 435-442.
- Nigam, P., Banat, I.M., Singh, D., Marchant, R. Physical removal of Textile Dyes and solid State Fermentation of Dye-Adsorbed Agricultural Residues *Bioresour. Technol.* 2000, 72, 219-226.

- Nigam, P., Robinson, T., McMullan, G. y Marchant, R. Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Critical review on Current Treatment Technologies with a Proposed Alternative Biores. Technol. 2001, 77, 247-255).
- Ogawa, T. y Yatome, C. Biodegradation of Azo Dyes in Multistage Rotating Biological Contractor Immobilized by assimilating Bacteria. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 1990 44, 561-566.
- Ogutveren, U.B. y Kaparal, S. Colour Renoval from Textile Effluent by Electrochemical Destruction. J. environ. Sci. Health A 1994, 29, 1-16.
- Paszczynski, A. y Crawford, R.C. Potencial for Bioremediation of Xenobiotic compounds by the White Rot Fungus *Phanerochaete chrysosporium*. Biotechnol. Progr. 1995, 11, 368-379.
- Pelegriani, R., Peralto-Zamora, P. de Andrade, A.R., Reyes, J. Duran, N. Electrochemically Assisted Photocatalytic Degradation of reactive dyes. App. Catal B-Environ. 1999 22, 83-90.
- Peralto-Zamora, P., Kunz, A., Gomez de Morales, S., Pelegriani, R., de Capos Moleiro, P. Reyes, J., duran, N. Degradation of Reactive Dyes I. A Comparative Study of Ozonation, Enzimatic and photochemical Processes. Chemosphere 1999 38, 835-852.
- Poots, V.J.P. y McKay, J.J. The Removal of Acid dye from Effluent Using Natural Adsorbents-I Peat. Water Res. 1976 a 10, 1061-1066.)
- Poots, V.J.P. y McKay, J.J. The Removal of Acid dye from Effluent Using Natural Adsorbents-II Wood. Water Res. 1976 b 10, 1067-1070.)
- Raghavacharya, C. Colour Removal from Industrial Effluents- A Comparative Review of Available Technologies. Chem. Eng. World. 1997 32, 53-54)
- Rao, K.L.L.N., Krishnaiah, K. Colour Removal from a dye Stuff Industry Effluent Using Activated Carbon. Indian J. Chem. Technol. 1994 1, 13-19.
- Reddy, C.A. The Potential for White Rot Fungi in the treatment of Pollutans. Curr. Opt. Biotechnol. 1995 6, 320-328.
- Sannia, G., Palmieri, G. y Giardina, P. Laccase-Mesiated Remazol Brilliant Blue R Decolorization in a Fixed-Bed Birreactor Biotechnol. Prog. 2005, 5.9a-f.