



Remoción de rojo básico de un efluente textil simulado: un caso de aplicación de la cascarilla de arroz¹

Merly Álvarez Herazo² / Arnulfo Alemán Romero³ / Angelina Hormaza Anaguano⁴

**Removal of basic red from a simulated textile effluent:
A rice husks application case**

**Remoção de vermelho básico de um efluente têxtil simulado:
um caso de aplicação da casca de arroz**

RESUMEN

Introducción. El desarrollo creciente de distintas industrias químicas que utilizan colorantes en sus procesos básicos ha generado un alarmante incremento de efluentes coloreados, los cuales no solo causan un deterioro estético, sino que afectan procesos fisicoquímicos como la fotosíntesis, al reducir la transmisión de luz solar, con las subsecuentes repercusiones nefastas para todas las formas de vida presentes en el ecosistema. La remoción de colorantes mediante la adsorción utilizando residuos agroindustriales como material adsorbente se perfila como una alternativa de tratamiento innovadora, eficiente y de bajo costo, que, además, impacta favorablemente al ambiente al emplear materiales de amplia disponibilidad y usualmente poco aprovechados. **Objetivo.** Evaluar la capacidad adsorbente de la cascarilla de arroz en la remoción del colorante Rojo Básico 46, (RB46), y caracterizar estructuralmente este material. **Materiales y métodos.** Las mejores condiciones para alcanzar una adsorción eficiente fueron

¹ Artículo derivado de la investigación "Utilización de residuos agroindustriales para el tratamiento de aguas contaminadas con colorantes". Financiado por COLCIENCIAS a través del Proyecto 1118-489-25228. Vigencia: Enero de 2010 - Enero de 2012. ² Ingeniera Química, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Investigador, Grupo de Investigación SIRYTCOR. ³ Químico, Magíster en Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Investigador, Grupo de Investigación SIRYTCOR. ⁴ Magíster en Química, Ph.D, Profesor Asociado Escuela de Química – Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Director Grupo de Investigación SIRYTCOR.

Correspondencia: Angelina Hormaza, e-mail: ahormaza@unal.edu.co

Artículo recibido: 30/05/2011; Artículo aprobado: 09/06/2011

evaluadas bajo sistema discontinuo y método univariado e incluyeron valor inicial de pH, tamaño de partícula, dosificación de adsorbente, concentración de colorante y tiempo de contacto. La determinación del contenido de RB46 se realizó mediante espectrofotometría Ultravioleta-Visible. **Resultados.** Se alcanzaron remociones del orden del 91% a pH = 8.0 con tamaño de partícula entre 0.5-0.75 mm, una dosificación de 3.0 mg/L, concentración de colorante de 20 mg/L y tiempo de agitación de 90 min. **Conclusiones.** La cascarilla de arroz presenta una alta capacidad de remoción del colorante industrial RB46 que lo perfila como un material promisorio para el escalado de esta estrategia de tratamiento de efluentes industriales.

Palabras clave: adsorción, cascarilla de arroz, caracterización química y morfológica, colorante catiónico, rojo básico 46.

ABSTRACT

Introduction. The growing development of several chemical industries that use dyes for their basic processes has brought an alarming increase of dyed effluents, which not only are aesthetically deteriorated but physically and chemically affected because processes like photo synthesis, given a reduced sun light transmission and its harmful consequences, can not be well done and that affects all of the life forms living in the ecosystem. Dye removal by the use of adsorption with agricultural remains as adsorbent material is gaining relevance as an innovative alternative to treat the dyes. It is efficient and cheap, and has a positive environmental impact because it uses materials that are easy to get and are usually underused. **Objective.** To evaluate the adsorption capacity of rice husks in the removal of the basic red (RB46) dye, and characterize the structure of this material. **Materials and methods.** The best conditions to reach an efficient adsorption were evaluated under a discontinuous system and a univariate method and included the initial value of the pH, the size of the particle, the adsorbent's dose, the dye's concentration and the contact time. The RB46 content was determined by an ultraviolet-visible spectrophotometry method. **Results.** Removal rates of about 91% at a 8.0 pH with a particle size between 0.5-0.75 mm, a 3.0 mg/L dose, a dye 20 mg/L concentration and a 90 min of agitation time. **Conclusions.** Rice husks have a great capability to remove the RB46 industrial dye. Therefore, it is a promising material to scale this strategy for the treatment of industrial effluents.

Key words: adsorption, rice husks, chemical and morphological characterization, cation dye, basic red 46.

RESUMO

Introdução. O desenvolvimento crescente de diferentes indústrias químicas que utilizam corantes em seus processos básicos gerou um alarmante incremento de efluentes coloridos, os quais não só causam uma deterioração estética, senão que afetam processos físico-químicos como a fotossíntese, ao reduzir a transmissão de luz solar, com as subsequentes repercussões nefastas para todas as formas de vida presentes no ecossistema. A remoção de corantes mediante a adsorção utilizando resíduos agroindustriais como material adsorvente se perfila como uma alternativa de tratamento inovadora, eficiente e de baixo custo, que, ademais, impacta favoravelmente ao ambiente ao empregar materiais de ampla disponibilidade e usualmente pouco aproveitados. **Objetivo.** Avaliar a capacidade adsorvente da cáscara de arroz na remoção do corante Vermelho básico 46, (RB46), e caracterizar estruturalmente este material. **Materiais e métodos.** Melhore-las condições para atingir uma adsorção eficiente foram avaliadas sob sistema descontínuo e método uni-variado e incluíram valor inicial de PH, tamanho de partícula, dosificação de adsorvente, concentração de corante e tempo de contato. A determinação do conteúdo de RB46 se realizou mediante espectrofotometria Ultravioleta-Visível. **Resultados.** Se atingiram remoções do ordem do 91% a PH = 8.0 com tamanho de partícula entre 0.5-0.75 mm, uma dosificação de 3.0 mg/L, concentração de corante de 20 mg/L e tempo de agitação de 90 min. **Conclusões.** A cáscara de arroz apresenta uma alta capacidade de remoção do corante industrial RB46 que o perfila como um material promisorio para o escalado desta estratégia de tratamento de efluentes industriais.

Palavras importantes: Adsorção, cáscara de arroz, caracterização química e morfológica, corante catiónico, vermelho básico 46.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de cuerpos de agua, resultado de la creciente actividad industrial con la descarga de compuestos químicos de amplia y diversa naturaleza, como los colorantes, se ha convertido en uno de los grandes problemas ambientales que afronta el país. Actualmente, la variedad de colorantes comerciales sintéticos asciende a más de 100.000, con una producción estimada de 7×10^6 Kg por año¹, los cuales se utilizan en las industrias textil, alimenticia, farmacéutica, de cosméticos, papel y cuero, entre otras; sin embargo, el sector textil es el destino de dos tercios del mercado total de los colorantes².

En la industria textil, los colorantes se clasifican en aniónicos (directos y reactivos), catiónicos (básicos) y no aniónicos (dispersos); los básicos y reactivos son los más extensamente empleados³. El colorante azoico rojo básico 46 (RB46) es uno de los más populares, debido a sus características de brillo, alta solubilidad en agua y sencilla aplicación en los tejidos³.

Para el tratamiento de efluentes coloreados se han utilizado distintas metodologías físico-químicas, tales como la floculación⁴, intercambio iónico⁵, ozonización e irradiación⁶, entre otras. Pese a su eficiencia considerable en la decoloración, la mayoría de estos procesos implican costos elevados o la formación de subproductos más tóxicos e indeseados como los lodos⁷.

Desde esta perspectiva, la adsorción representa un método alternativo y novedoso para el tratamiento de efluentes coloreados debido a su alta eficiencia y a la posibilidad de reutilización del material adsorbente^{8,9}. Para este propósito se han implementado usualmente carbones activados y resinas sintéticas, con los cuales se ha logrado remover satisfactoriamente colorantes; no obstante, su alto precio y reducido rango de polaridad los convierte en materiales poco apropiados para el diseño de estrategias a gran escala¹⁰. En este sentido, el uso de residuos agroindustriales constituye una opción innovadora debido a su alta disponibilidad, mínimo valor económico e impacto ambiental favorable al aprovechar material de desecho¹¹⁻¹³.

En particular, la cascarilla de arroz, (CA) ha mostrado gran capacidad adsorbente para la remoción tanto de metales¹² como de colorantes en solución^{13,14}. Se estima que la producción de arroz en Colombia asciende a 2.145.100 t anuales, que generan 578.452 t de desechos¹⁵, de los cuales solo un tercio es utilizado en distintos fines; 385.635 t permanecen como material de desecho.

Considerando la gran disponibilidad de CA en nuestro medio y los problemas de acumulación que ella genera, en la presente investigación se evaluó su capacidad adsorbente en la remoción del colorante azo RB46 con el propósito de ofrecer un nuevo y alternativo adsorbente para el diseño de tecnologías de tratamiento eficientes y de bajo costo que pueden ser de interés para el sector textil.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación del adsorbente

La CA fue obtenida de las agroindustrias localizadas en la región arroceras del departamento de Córdoba. El tratamiento incluyó un lavado con agua destilada hasta obtener un material libre de materia orgánica, luego fue secada a una temperatura de 80°C durante 24 h, posteriormente se redujo su tamaño en un molino de aspas y finalmente se tamizó para disponer de partículas con un tamaño entre 0.25-1.0 mm.

Caracterización del adsorbente: Análisis bromatológico y morfológico

El análisis bromatológico de CA se realizó en el Laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, e incluyó la evaluación de fibra detergente ácido (FDA), fibra detergente neutro (FDN) y lignina, siguiendo el método Van Soest^{16,17}, así como la determinación de otros componentes^{18,19}. La morfología de la superficie fue examinada mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) en un equipo JEOL JSM 5910 LV en el Laboratorio de

Microscopia Avanzada de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Las muestras fueron metalizadas con oro para facilitar la conductividad; el voltaje usado en las micrografías fue de 10Kv en modo SEI (Secondary Electron Image).

Preparación del adsorbato

El colorante RB46 fue suministrado por una industria local y representa un patrón primario. La solución stock fue preparada disolviendo 25 mg del colorante en un balón volumétrico de 100 mL; la solución se homogeneizó llevándola al ultrasonido por 10 minutos. Los ajustes de pH se realizaron con NaOH y HCl de concentración 0.1 N.

Evaluación de los parámetros de adsorción

La remoción del RB46 fue evaluada en discontinuo y a través del método univariado.

Para establecer el efecto de los parámetros, pH de la solución, tamaño de partícula, dosificación de adsorbente, concentración inicial y tiempo de contacto, se modificó secuencialmente en los ensayos de adsorción una variable manteniendo un valor fijo para las demás. Esto es, para el efecto de pH (evaluado entre 2.0-11) se pesaron 50 mg de CA con tamaño de partícula de 0.75 mm en un volumen de 25 mL de RB46 (20 mg/L), que se agitaron durante 90 min a 303 K y 120 rpm, se encontró un pH = 8.0 como el valor más adecuado para el proceso. El tamaño de partícula fue evaluado en el intervalo de 0.2 a 1.0 mm a pH = 8.0 y bajo similares condiciones a las descritas para el ensayo anterior. Para la dosificación del adsorbente (valorada entre 0.2-3.8 g/L), se mantuvieron las condiciones previas y un tamaño de partícula en el intervalo de 0.5 - 0.75 mm. Para determinar la incidencia de la concentración inicial (C_i) de RB46, se varió entre 2.0-30 mg/L y se emplearon las mejores condiciones de las variables restantes, determinadas en los ensayos previos. Finalmente, la influencia del tiempo de contacto se analizó entre 30-1440 min a una C_i de RB46 igual a 20 mg/L.

El contenido del colorante RB46 se determinó mediante espectrofotometría de Ultravioleta –Visible, (UV-vis), en un espectrofotómetro Perkin-Elmer Lambda 35. Se utilizó el método lineal y se registró la longitud de onda correspondiente a la absorción máxima del colorante RB46 ($\lambda = 531.9$ nm). El porcentaje de remoción para cada ensayo se determinó de acuerdo con la expresión:

$$R(\%) = \left[\frac{(C_i - C_e)}{C_i} \right] \times 100 \quad (1)$$

Donde C_i y C_e representan la concentración inicial del colorante y su concentración en el equilibrio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del adsorbente:

Análisis bromatológico

La composición química de CA es debida principalmente a los compuestos lignocelulósicos, (tabla 1). A pesar que el valor FDN se encuentra muy próximo al valor reportado (82%), los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina presentan diferencias notables de los rangos promedio (25.8-35.5%, 18.1-21.3% y 18.2-24.6% respectivamente)^{20,21}; para la celulosa el porcentaje es superior casi en un 50%. Esta variación puede atribuirse a las distintas condiciones geográficas y climáticas, la variedad de arroz, la química del suelo y los fertilizantes utilizados en el crecimiento del arrozal^{22,23}. El alto nivel de cenizas²⁴ es indicativo del contenido de minerales, entre ellos el silicio (no determinado en este estudio).

Tabla I. Composición química de la cascarilla de arroz²⁰⁻²⁴

Parámetros	% encontrado	% promedio reportado
FDA	66.8	-----
FDN	81.6	82.0
Lignina	6.6	21.4
Celulosa	60.17	30.65
Hemicelulosa	16.29	19.70
Almidón	1.70	-----
Nitrógeno	0.30	0.29
Cenizas	16.28	17.89

Análisis morfológico

En la figura 1a se observa en la micrografía que el exocarpo, parte externa de la CA, presenta estructuras simétricas constituidas por celdas convexas, distanciadas por surcos. El endocarpo, superficie interna, presenta celdas cóncavas distanciadas entre sí por un valor promedio de 47 μm ; en esta zona se ha reportado el mayor contenido de componentes lignocelulósicos²⁵, los cuales, como se ha establecido, son los responsables de la capacidad adsorbente de un material. En la figura 1b se observa la superficie del adsorbente posterior al proceso de adsorción del RB46. Es evidente el estrés con desgaste y descamación como consecuencia de la retención de este colorante catiónico sobre la cascarilla de arroz.

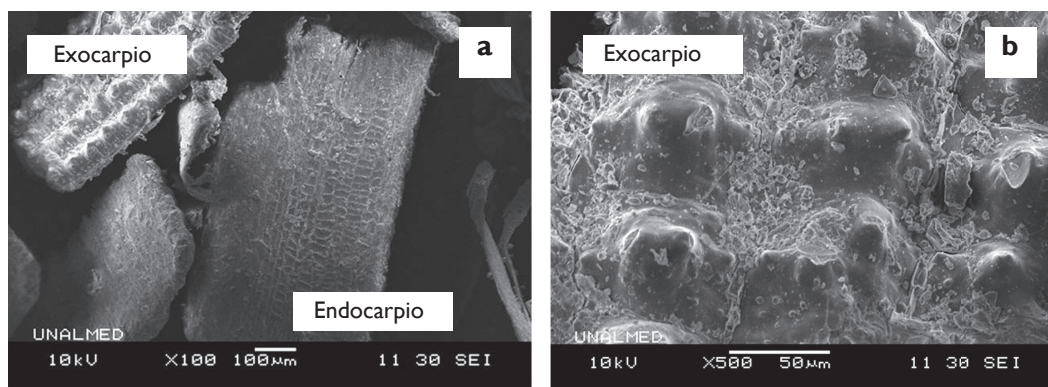


Figura 1. Micrografías SEM de CA a) antes y b) después de la adsorción (aumentos x 100 y 500 y escala de 100 y 50 μm . respectivamente)

Fuente: elaboración propia

Efecto del pH inicial

En el presente estudio se encontró que el pH de la solución afecta notablemente la remoción de RB46 sobre CA. En la figura 2 se aprecia que la retención aumenta drásticamente en el intervalo de pH 3.0-5.0, luego, un posterior incremento del pH conduce a un aumento mínimo en la remoción,

prácticamente la adsorción se mantiene constante, con una eficiencia del 72 al 78 % para valores de pH entre 6.0- 9.0. Este comportamiento puede justificarse ya que a pH básicos, se generan sitios activos negativos sobre la superficie del adsorbente, y dado que el colorante RB46 es de naturaleza catiónica, se favorecen las atracciones electrostáticas entre el contaminante y la superficie adsorbente.

Ci RB46: 20 mg/L; dosificación del adsorbente: 2 g/L; Tamaño de partícula: 0.75 mm; Tiempo de contacto: 90 min; Velocidad de agitación: 120 rpm; temperatura: $25 \pm 2^\circ\text{C}$

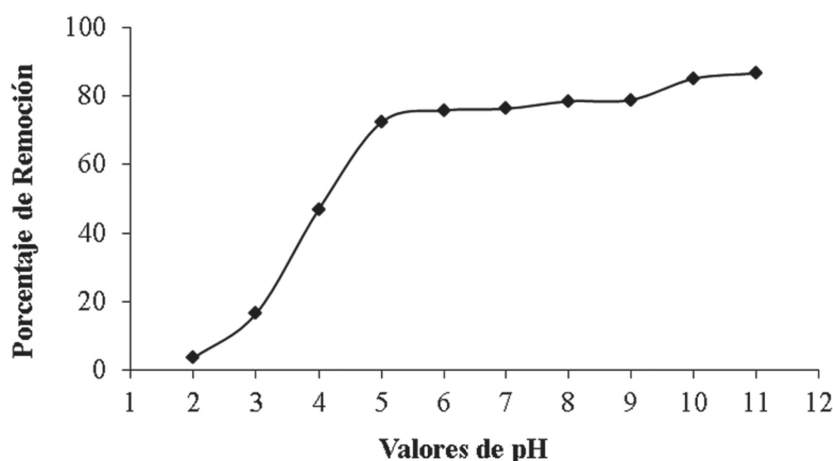


Figura 2. Influencia del pH en la remoción de RB46

Fuente: elaboración propia

A pH = 11 la remoción es máxima (86.7 %), sin embargo, no es conveniente llevar a cabo el proceso bajo estas condiciones, dado que la banda de absorción en el UV-vis se modifica radicalmente y puede experimentar degradaciones, por tanto se seleccionó el intervalo de pH 5.0-8.0 como el más adecuado.

Efecto del tamaño de partícula del adsorbente

De manera general, en los procesos de adsorción el área de contacto entre el adsorbente y el adsorbato se ve favorecida por la disminución del tamaño de partícula, debido a que existe mayor superficie expuesta en el adsorbente²⁶. Este comportamiento fue confirmado, ya que al aumentar el tamaño de CA (0.25-0.1 mm), la adsorción disminuyó cerca de un 22%. Además, se observó una remoción similar al trabajar con partículas de tamaño comprendidos entre 0.25-0.50 y 0.50-0.75 mm y considerando que tras la saturación del material adsorbente se requiere de la desorción para la reutilización tanto del residuo agrícola como del colorante, se seleccionó las partículas con tamaño comprendido entre 0.50-0.75 mm como el adecuado para facilitar dicho proceso de separación.

Efecto de la dosificación del adsorbente y la concentración del colorante

La figura 3a señala que la remoción de RB46 sobre CA se incrementa a dosis progresivas (0.2–3.8 g/L) hasta un 91%, aumento que puede ser atribuido a la disponibilidad de una mayor área superficial sobre el adsorbente para la fijación de las moléculas de contaminante.

Un comportamiento similar se ha observado en la remoción de otros colorantes catiónicos²⁷. Para dosificaciones superiores a 3.0 g/L no existen diferencias significativas en el porcentaje de remoción; por ello se estableció el intervalo de experimentación entre 1.0 y 3.0 g/L como el más apropiado para la evaluación de otras variables.

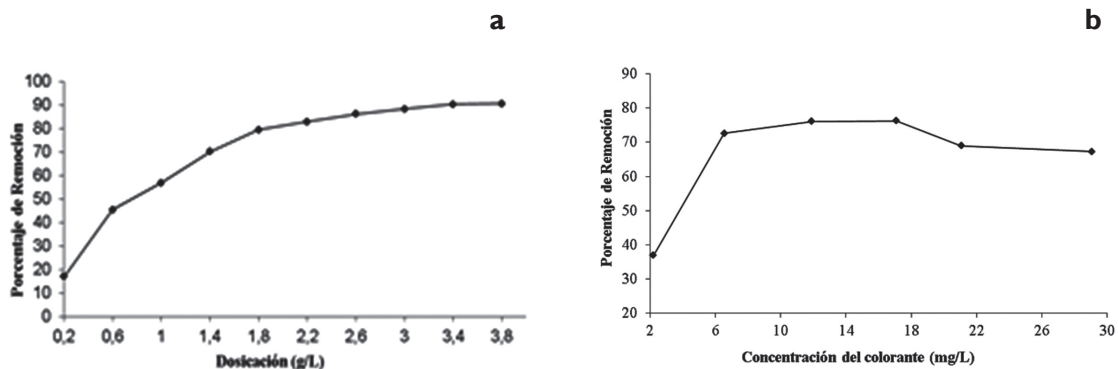
En la figura 3b se muestra el comportamiento de la retención de RB46 al variar su concentración inicial. La cantidad de colorante removido aumenta de 37-76% al modificar la C_i de RB46 entre 2.0-17 mg/L. Concentraciones superiores conducen a una saturación del adsorbente, que se refleja en una disminución del porcentaje de retención, estableciendo los valores entre 6.0 y 17 mg/L como el intervalo adecuado de evaluación. Es claro que la C_i afecta notablemente la adsorción, dado que provee la fuerza necesaria para vencer la resistencia a la transferencia de masa de RB46 entre la fase acuosa y el sólido. Similar fenómeno se ha observado en la transferencia de RB46 en arcillas y bentonita^{28,29}.

Efecto del tiempo de contacto

Desde el punto de vista económico, el tiempo de contacto requerido para alcanzar el equilibrio en la remoción de contaminantes es un parámetro de gran importancia²⁵.

Al analizar la adsorción del colorante en función del tiempo (0.5-24 h) se encontró un aumento cuasi-exponencial hasta las 8 h, en tanto que de 12 a 24 h, el efecto es casi imperceptible (figura 4). Además, la diferencia en porcentaje de remoción entre 8 y 12 h es solo del 3% y por aplicabilidad de la metodología se decidió disminuir el período de observación del tiempo de contacto al intervalo entre 1.5 y 8 h.

No obstante los satisfactorios resultados encontrados en la presente investigación bajo los parámetros citados, se precisa de una profundización para evaluar aspectos relacionados con la interacción de las variables y la primacía de las mismas. Al respecto se adelanta un estudio de este sistema adsorbente-sorbato mediante el uso de herramientas estadísticas como el Diseño Estadístico de Experimentos.

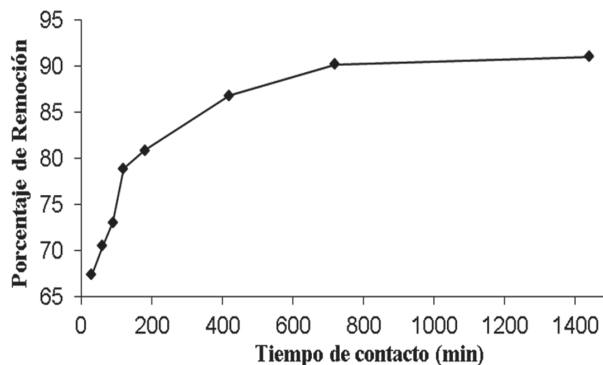


Ci RB46: 20 mg/L; Tamaño de partícula: 0.5-0.75mm; Tiempo de contacto: 90 min; Velocidad de agitación: 120 rpm; pH: 8; Temperatura: $25 \pm 2 \pm C$

Ci RB46: 20 mg/L; Dosis: 3.0 g/L Tamaño de partícula: 0.5-0.75mm; Tiempo de contacto: 90 min; Velocidad de agitación: 120 rpm; pH: 8; Temperatura: $25 \pm 2 \pm C$

Figura 3. a) Efecto de la dosificación del adsorbente y b) Efecto de la concentración del colorante en la retención de RB46

Fuente: elaboración propia



Ci RB46: 20 mg/L; Tamaño de partícula: 0.5-0.75mm; Dosis: 3.0 g/L;
 Velocidad de agitación: 120 rpm; pH: 8; Temperatura: 25 ± 2 ± C

Figura 4. Influencia del tiempo de contacto en la retención de RB46

Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

La cascarilla de arroz es un subproducto agrícola de amplia disponibilidad en nuestro país y su notable potencial de remoción del colorante RB46 lo perfilan como un material adsorbente alternativo para tecnologías de tratamiento, eficientes, de bajo costo y escalables, que pueden ser de interés para el sector textil.

El elevado contenido de celulosa (60.72%) y hemicelulosa (16.28 %) sugiere una alta capacidad adsorbente para el material de estudio, en tanto que el análisis MEB muestra claramente los cambios morfológicos, en particular, una descamación, sobre el material adsorbente tras la retención del colorante RB46, que se convierten en una evidencia de la ocurrencia del proceso de adsorción.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sinceros agradecimientos a la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín y a COLCIENCIAS por el apoyo económico a través del Proyecto Código 1118-489-25228.

REFERENCIAS

1. GUPTA, Vinod and SUHAS. Application of low-cost adsorbents for dye removal—A review. En: Journal of Environmental Management. June 2009. Vol. 10, No. 8. p. 2313-2342.
2. HAMEED, B. and AHMAD, A. Batch adsorption of methylene blue from aqueous solution by garlic peel, an agricultural waste biomass. En: Journal of Hazardous Materials. May 2009. Vol. 164, No. 2. p. 870-875.
3. HAMEED, B. and DAUD, F. B. Adsorption studies of basic dye on activated carbon derived from agricultural waste: Hevea brasiliensis seed coat En: Chemical Engineering Journal. May 2008. Vol. 139, No. 1. p. 48-55.
4. ZYGULA, Agata; et al. Removal of an anionic dye (Acid Blue 92) by coagulation-flocculation using chitosan En: Journal of Environmental Management. July 2009. Vol. 90, No. 10. p. 2979-2986.

5. RAGHU, S. and AHMED BASHA, C. Chemical or electrochemical techniques, followed by ion exchange, for recycle of textile dye wastewater. En: Journal of Hazardous Materials. October 2007. Vol. 149, No. 2. p. 324-330.
6. BARRERA DIAZ, C, et al. A combined electrochemical-irradiation treatment of highly colored and polluted industrial wastewater. En: Radiation Physics and Chemistry. July 2003. Vol. 67, No. 5. p. 657-663.
7. ROBINSON, et al. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. En: Bioresource Technology. May 2001. Vol. 77, no. 3, p. 247-255.
8. WARANUSANTIGUL, P.; et al. Kinetics of basic dye (methylene blue) adsorption by giant duck-weed (*Spirrodella polyrrhiza*). En: Environmental Pollution. October 2003. Vol. 125, No. 3. p. 385-392.
9. JUANG, R. S.; WU, F. C. and TSENG, R. L. The ability of activated clay for the adsorption of dyes from aqueous solutions. En: Environment Technology. 1997. Vol. 18, No. 5. p. 525-531.
10. NAMASIVAYAM, C.; RADHIKA, R. and SUBA, S. Uptake of dyes by a promising locally available agricultural solid waste: coir pith. En: Waste Management. July 2001. Vol. 21, No. 4. p. 381-387.
11. SANTHI, T.; MANONMANI, S and SMITHA, T. Uptake of cationic Dyes from aqueous solution by bioadsorption onto granular Cucumis Sativa. En: Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation. January 2009. Vol. 4, No. 1. p. 29-35.
12. MANE, Venkat; MALL, Indra And SRIVASTAVA, Vimal. Kinetic and equilibrium isotherm studies for the adsorptive removal of Brilliant Green dye from aqueous solution by rice husk ash. En: Journal of Environmental Management. September 2007. Vol. 84, No. 4, p. 390-400.
13. DORIA; G. M. y HORMAZA, A. Cascarrilla de Arroz: material alternativo y de bajo costo para el tratamiento de aguas contaminadas con Cromo (VI). En: Revista Gestión y Medio Ambiente. Abril 2011. Vol. 14, No. 1. p. 73-84.
14. AHMARUZZAMAN, M. and GUPTA, Vinod. Rice Husk and Its Ash as Low-Cost Adsorbents in Water and Wastewater Treatment. En: Industrial & Engineering Chemistry Research. Accepted: October 28, 2011.
15. FEDEARROZ. Índice mensual de producción de Arroz. En: Revista Arroz. 2006. Vol. 54, No. 461. p. 27.
16. OFICIAL METHODS OF ANALYSIS OF AOAC INTERNATIONAL (AOAC). Official Methods of Analysis 973.18. 5 ed. Washington, D.C: Kenneth Helrich, 1990. p. 37.
17. OFICIAL METHODS OF ANALYSIS OF AOAC INTERNATIONAL (AOAC). Official Methods of Analysis 2002.04. 5 ed. Washington, D.C: Kenneth Helrich, 1990. p. 62
18. OFICIAL METHODS OF ANALYSIS OF AOAC INTERNATIONAL (AOAC). Official Methods of Analysis 2002.045 ed. Washington, D.C: Kenneth Helrich, 1990. p. 5
19. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN - ICONTEC. Determinación del contenido de nitrógeno y cálculo del contenido de proteína cruda, Método kjeldahl. Bogotá: ICONTEC, 1999. (NTC4657)
20. VILLALBA, Marcela, et al. Xylitol production from rice husk using *Candida guilliermondii*. En: Revista Facultad Nacional de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Junio 2009. Vol. 62, No. 1. p. 4897-4905.

21. VALVERDE, A.; SARRIA, B. y MONTEAGUDO, J. P. Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. En: *Scientia et Technica*. Diciembre 2007. Vol. 37, No. 1. p. 255-260.
22. CHANDRASEKHAR, S.; PRAMADA, P. and PRAVEEN, L. Effect of organic acid treatment on the properties of rice husk silica. En: *Journal of Materials Science*. October 2005. Vol. 40, No. 24. p. 6535-6544.
23. CHANDRASEKHAR, S. and PRAMADA, P. N. Rice husk ash as an adsorbent for methylene blue-effect of ashing temperature. En: *Adsorption*. January 2006. Vol. 12, No. 1. p. 27-43.
24. BOONPOKE, A.; *et al.* Synthesis of Activated Carbon and MCM-41 from Bagasse and Rice Husk and their Carbon Dioxide Adsorption Capacity. En: *Journal of Sustainable Energy & Environment*. 2011. Vol. 2. p. 77-81.
25. ARCOS, Claudia Andrea; MACÍAZ PINTO, Diego and RODRÍGUEZ PÁEZA, Jorge. Husk of rice as source of SiO₂. En: *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*. Septiembre 2007. Vol. 41. p. 7-20.
26. ZÜMRIYE, A. Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review. En: *Process Biochemistry*. 2005. Vol. 40, No. 1. p. 997-1026.
27. FLAVIO, A. P.; *et al.* Methylene blue biosorption from aqueous solutions by yellow passion fruit waste. En: *Journal of Hazardous Materials*. February 2008. Vol. 150, No. 3. p. 703-712.
28. KARIM, A. B.; *et al.* Removal of Basic Red 46 dye from aqueous solution by adsorption onto Moroccan clay. En: *Journal of Hazardous Materials*. August 2009. Vol. 168, No. 1. p. 304-309.
29. FATIH, D. and SAADET, D. Investigation of adsorption characteristics of Basic Red 46 onto gypsum: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. En: *Desalination*. November 2010. Vol. 262, No. 1. p. 161-165.