

OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA REMOCIÓN DE COLORANTES USANDO BIOCARBÓN DE CÁSCARAS DE BANANO

Alba N. Ardila A.^{a*}, Erasmo Arriola^b, Yesenia M. Rodríguez^c, Veronica Ocampo^d

^{a,b,c,d} *Grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Energías Renovables, Semillero en Gestión Sostenible del Recurso Hídrico (GESREH), Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia.*

* Alba Nelly Ardila Arias: anardila@elpoli.edu.co

RESUMEN

En el presente estudio se usó como bioadsorbente carbonizados obtenidos por pirólisis a partir de biomasa de cáscara de banano ya que es un residuo agrícola abundante y de bajo costo, además está disponible en grandes cantidades. Se estudió el efecto del pH (3,7 y 12), la temperatura (25, 35 y 45°C) y la cantidad de bioadsorbente (25, 50 y 100 mg) en el porcentaje de remoción de diferentes colorantes. El porcentaje de remoción (%R) incrementó con el aumento en la cantidad de bioadsorbente y con la disminución del pH, sin embargo, no se observó una relación proporcional en el %R con la variación de la temperatura. De esta manera, el máximo porcentaje de remoción para el rojo 250, amarillo 145 y azul 21 fue de 84%, 69% y 95%, respectivamente, todos con 100 mg de bioadsorbente a 35°C y un pH de 3.0. De acuerdo con el valor obtenido para el punto isoeléctrico del bioadsorbente, se puede inferir que a $\text{pH} < \text{pH}_{\text{pzc}}$ la superficie estará cargada positivamente, favoreciendo la interacción con especies aniónicas a pH ácidos, lo cual podría explicar el porqué del incremento en los %R con la disminución del pH.

Palabras Claves: cáscaras de banano; bioadsorbente; colorantes; aguas residuales; medio ambiente.

Introducción

En la actualidad la sociedad mira con preocupación el problema de la contaminación ambiental, particularmente la que ocurre en los ecosistemas acuáticos y el recurso hídrico a nivel mundial, ya que los mismos están ligados estrechamente con la calidad de la vida humana. Es claro que la actividad humana en todos los procesos de producción tanto artesanales como industriales está sumamente ligada al deterioro del medio ambiente, uno de los ejemplos más claros es la relación entre el detrimento medioambiental y el uso de productos derivados de la industria petroquímica. Debido a esto, en últimas décadas ha existido la gran inquietud por mitigar la contaminación en los biomas y ecosistemas, principalmente los acuáticos puesto que su afectación tanto sobre su flora y fauna, tendrá impactos para la supervivencia humana. Los colorantes representan uno de los principales contaminantes del recurso hídrico en la actualidad, la mayoría de estos provienen de las industrias cosmética, alimenticia y textil, siendo esta última la que presenta contribuye mayoritariamente a la contaminación de las fuentes hídricas. Muchos de los colorantes y pigmentos industriales poseen características tóxicas y no biodegradables y, por lo tanto, son persistentes en el medio ambiente.

Un punto importante resulta en el estudio e implementación de procesos para el aprovechamiento de los residuos agroindustriales, donde los mismos pueden servir como medio de remediación ambiental, con el propósito principal de mitigar el impacto derivado de ciertos procesos agroindustriales. Teniendo en cuenta lo mencionado, este aprovechamiento puede darse mediante la obtención de bioadsorbentes a partir de los mismos residuos, la determinación de su capacidad y factibilidad de

Working Paper

remediación ambiental, además, de la obtención de bioadsorbentes para hacer el uso integral de dichos residuos y analizar la factibilidad a gran escala.

El banano es una de las frutas más comercializadas a nivel industrial, debido su contenido nutritivo, textura y facilidad de consumo, además de aporte de potasio y calcio, a la vez que posee bajos niveles sodio [1-3]. En el país Colombia cubre aproximadamente el 11% de la demanda internacional, mediante su producción a la escala nacional del 70% en la región de Urabá y 30% en el norte de magdalena [5-9]. Sin embargo, la producción de banano de exportación ha desatado un problema ambiental por los altos y estrictos estándares de control de calidad exigidos para la comercialización del mismo, acarreando hasta el rechazo del 30% del volumen total producido. Debido a lo mencionado, no es difícil deducir la gran cantidad de residuos como cascara y pulpa, que se generan durante la producción de esta fruta y la problemática que puede presentar la disposición final de los mismos [5-9].

En esta investigación se usó como bioadsorbente carbonizados obtenidos por pirólisis a partir de biomasa de cáscara de banano ya que es un residuo agrícola abundante y de bajo costo, además está disponible en grandes cantidades (**Figura 1**).



Figura 1. Obtención de biocarbón de cáscaras de banano para la disminución de impacto ambiental

Metodología

Obtención y caracterización fisicoquímica de la biomasa muerta

Los residuos o cáscaras de banano se recolectaron en la Plaza Mayorista de Medellín, luego fueron lavadas con agua desionizada y se secaron a 80 °C hasta alcanzar un peso constante. Se trituraron en un molino de cuchillas y luego se tamizaron en un tamiz de malla 30. Las muestras en polvo obtenidas se pirolizaron en un reactor de flujo continuo bajo flujo de N₂ a 500 °C para obtener el biocarbón.

Los materiales obtenidos se caracterizaron para dilucidar las propiedades fisicoquímicas, se realizó difracción de rayos X (DRX), para identificar propiedades cristalinas; adsorción-desorción de nitrógeno por el método BET para determinar propiedades texturales, y el punto punto isoelectrico o punto de carga cero (PCZ) usando titulación de masas. Los difractogramas de las muestras se obtuvieron en un difractómetro Bruker, D-8, con una fuente de radiación K α del Cu con filtro de Ni

Working Paper

a 40kV y 40 mA y una longitud de onda igual a 1.54 Å, con una velocidad de barrido de 1.5 grados por minuto. Se obtuvieron patrones de difracción en el intervalo de ángulos 2θ entre 15 y 70 grados a intervalos de 0.02° . Los difractogramas obtenidos se compararon con la base de datos PDF de Internacional Centre of Diffraction Data (ICDD) 2000. Las medidas de área superficial BET y porosidad de los materiales se llevaron a cabo en un equipo Quantachrome Autosorb Automated. Antes de realizar el análisis, aproximadamente 70 mg de cada muestra se desgasificó durante 11 horas a 150°C a una presión de vacío de 708.5 mmHg para asegurar que la superficie estuviera limpia, seca y libre de especies débilmente adsorbidas. Las isotermas de adsorción-desorción de N_2 de los materiales se hicieron a 75.2 K.

Ensayos de adsorción

El agua residual proveniente de diferentes procesos industriales donde se utilizan compuestos químicos a gran escala, por ejemplo, en la tinción del algodón de la industria textil se utilizan los colorantes: Rojo 250, Azul turquesa 21 y Amarillo 145, al igual que otros agentes químicos como: soda caustica, sales básicas, etc. [4]. Por tal motivo, se simuló muestras de agua residual provenientes del proceso de tinción de la industria textil (muestras problema). Por cada colorante se añadieron a un balón volumétrico de 1000 mL, 50.0 g de cloruro de sodio, 15.0 g de carbonato de sodio y 1.5 g de hidróxido de sodio al 50% (líquido), y 100 mg de colorante. Posteriormente se realizó un tratamiento térmico. Las muestras de Rojo 250 y Amarillo 145 se sometieron a una temperatura de 60°C por 45 minutos y la muestra de Azul turquesa 21 a 80°C por 45 minutos. Finalmente se enfriaron a temperatura ambiente y se conservaron bajo refrigeración a 4°C [4].

Los ensayos de adsorción se llevaron a cabo en un erlenmeyer de 250 mL, con 50 mL de solución del colorante con 25, 50 y 100 mg de biocarbón según fuera el caso. Luego en una incubadora con control de agitación y temperatura, marca VWR se realizó la adsorción a 120 rpm durante 24 h a diferentes temperaturas (25°C , 35°C y 45°C) así igual que la variación en el valor del pH inicial (3.0, 7.0 y 12.0). La cantidad de colorante adsorbido se determinó empleando un espectrofotómetro UV-VIS, marca Genesys 10S a longitudes de onda de 420 nm, 548 nm y 665 nm, correspondiente al Amarillo 145, Rojo 250 y Azul turquesa 21, respectivamente. En cada caso se realizaron las curvas de calibración de los colorantes con soluciones de concentraciones de 0-100 mg/L.

Diseño experimental

Se realizaron diferentes pruebas de adsorción, con el fin de establecer las condiciones óptimas para la adsorción de los diferentes colorantes utilizando los biocarbones, para lo cual se aplicó un diseño experimental factorial basado en la incidencia de varios factores (cantidad de adsorbente, pH inicial del medio y temperatura de la adsorción). Los factores con sus correspondientes niveles se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Factores y niveles del diseño experimental.

	Factores	Niveles		
		i	J	K
α	Cantidad de adsorbente (mg)	25	50	100
β	pH inicial de la solución (unidades de pH)	3.0	7.0	12.0
γ	Temperatura de adsorción ($^\circ\text{C}$)	25	35	45

Fuente: propia.

Working Paper

Se realizó un estudio estadístico empleando un modelo factorial simétrico, dicho análisis estadístico se realizó mediante el modelo de varianza ANOVA usando el software StatGraphics 15.1 y la **Ecuación 1**, lo anterior utilizando como variable de respuesta el % de remoción de cada colorante, con un nivel de significancia del 5% (0.05), y se estableció como hipótesis nula (H0) que las medias del porcentaje de remoción del colorante son iguales frente a los diferentes factores estudiados.

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijk} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

y_{ijk}	Es la medida del porcentaje de remoción del colorante, observado en los respectivos niveles de los tres factores objeto de estudio.
μ	Es el efecto global promedio.
α_i	Es el efecto del i-ésimo nivel del factor cantidad de biocarbón mg
i	25, 50 y 100 mg
β_j	Es el efecto del j-ésimo nivel del factor pH inicial de la solución.
j	3.0, 7.0 y 12.0.
γ_k	Es el efecto del k-ésimo nivel del factor temperatura de adsorción.
k	25, 35 y 45 °C.
$(\alpha\beta)_{ij}$	es el efecto de la interacción entre los niveles de los factores cantidad de biocarbón y pH inicial de la solución.
$(\beta\gamma)_{jk}$	Es el efecto de la interacción entre los niveles de los factores pH y temperatura.
$(\alpha\gamma)_{ik}$	Es el efecto de la interacción entre los niveles de los factores cantidad de biocarbón y temperatura.
$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$	Es el efecto de la interacción entre los niveles de los factores cantidad de biocarbón, pH inicial de la solución y temperatura.
ε_{ijk}	Es el efecto atribuido al error aleatorio, que en este diseño es representado por la interacción entre los tres factores, que se supone no debe ser significativa y con esto permite la estimación de las varianzas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN**Pruebas de adsorción**

En la Figura 1 se muestran los resultados de adsorción y remoción de colorante con el biocarbón obtenido, el porcentaje de remoción de cada colorante dependió tanto del pH de la solución como de la temperatura de adsorción. Además, los porcentajes de remoción son diferentes para cada colorante, es probablemente se debe a la naturaleza química de los mismos, lo que conlleva a que las interacciones entre el colorante y los grupos funcionales superficiales presentes en el biocarbón, sean diferentes, de esta los mayores porcentajes de remoción se obtuvieron a pH ácidos, lo cual se puede relacionar claramente con el punto isoelectrico del material obtenido. El porcentaje de remoción óptimo para el colorante rojo, azul y amarillo fue 84%, 95% y 69%, respectivamente. A mayores cantidades de adsorbente mayor porcentaje de remoción de colorantes, debido a la mayor disponibilidad de sitios activos de adsorción para la remoción de los colorantes.

La temperatura tiene un efecto significativo en los procesos de adsorción de los colorantes, además, se obtuvieron mayores porcentajes de remoción a temperaturas mayores, sin embargo, no es claro el

Working Paper

fenómeno que se presenta a una temperatura de 45 °C, la explicación de dicho fenómeno no está al alcance de la presente investigación.

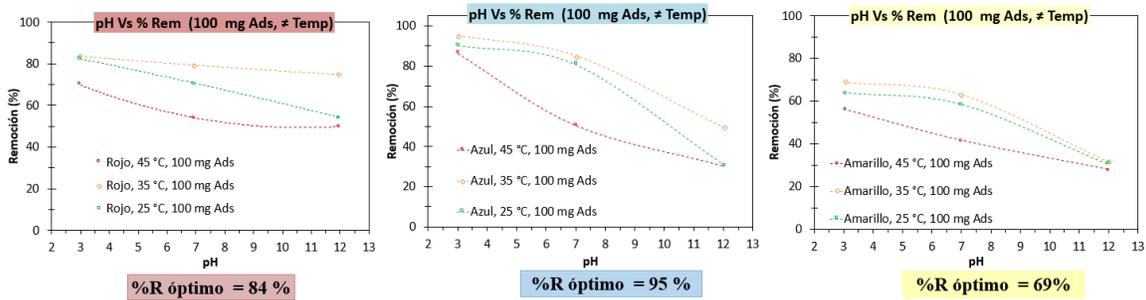


Figura 1. Resultados de adsorción con cada colorante.

Caracterización del biocarbón

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica del bioadsorbente.

Característica	Valor
Área superficial	5 g/m ²
Porcentaje de ceniza	13.5 %
Relación H/C	0.14

Conclusiones

- La remoción de los colorantes con biochar obtenido de la cáscara de banano, es una alternativa muy efectiva y factible. Además, nace de la necesidad de buscar adsorbentes naturales renovables, de fácil disponibilidad, de bajo costo y que restaure los ecosistemas afectados, en busca del bienestar humano.
- En todos los colorantes evaluados coincide que su porcentaje de remoción incrementa con el aumento en la cantidad de bioadsorbente y con la disminución del pH. Sin embargo, esta tendencia es más significativa o notable para los colorantes amarillo y azul reactivo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid por la financiación del proyecto de investigación titulado “Aprovechamiento Integral de Material de Desecho de la Industria Bananera”, aprobado en la Convocatoria de Proyectos de Investigación Sede Central y Sedes Regionales del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, 2017 y con centro de costo 2021/00124/001, adscrito al Grupo de Investigación en Catálisis Ambiental y Recursos Renovables (CAMER).

**Bibliografía**

1. T. Í. S. Oliveira *et al.*, “Bionanocomposite films based on polysaccharides from banana peels,” *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 101, pp. 1–8, 2017.
2. C. Martínez-Cardozo, G. Cayón-Salinas, and G. Ligarreto-Moreno, “Composición química y distribución de materia seca del fruto en genotipos de plátano y banano,” *Manejo Cosech. y Tecnol. postcosecha*, vol. 17, no. 2, pp. 217–227, 2016.
3. Ensuncho, A. E., y Milanés, N. (2015). Remoción del Colorante Rojo Allura en Solución Acuosa utilizando Carbones Activados obtenidos de Desechos Agrícolas Allura Red Dye Removal from Aqueous Solutions using Activated Carbons obtained from Agricultural Waste, 26, 69–78.
4. Uso de biomasa seca de cáscara de naranja para la remoción de colorantes presentes en aguas residuales de la industria textil. Lorena T. Ospina M.; Eliana Berrío M.; Verónica T. Avendaño G.; Erasmo Arriola-Villaseñor; Alba N. Ardila A. *Revista UGCIencia*, 24, 53-63, 2018.
5. Garizabal, R. O., Alexander, V., Jimeno, V., Plata, L. G., Fabio, L., Fernanda, L., y Alexander, E. (2015). Estudio comparativo de la biosorción de azul de metileno con cáscara de yuca y banano, 81–83.
6. Pinto-Fuentes, G. A., y Domínguez, M. P. (2017). Estudio Del Potencial Uso De Cáscaras De Banana Como Agente Adsorbente. Universidad Técnica Federico Santa María Departamento.
7. A. M. Afanador, “El banano verde de rechazo en la producción de alcohol carburante,” *Rev. EIA*, vol. 3, pp. 51–68, 2006.
8. J. López, J. Cuarán, L. Arenas, and L. Flórez, “Usos potenciales de la cáscara de banano: elaboración de un bioplástico,” *Rev. Colomb. Investig. Agroindustriales*, vol. 1, pp. 7–21, 2014.