

Caracterización físico química del bagazo de caña natural utilizado como biosorbente en la remoción de hidrocarburos en agua

Pastora de la C. Martínez-Nodal^{1*}, Elena Rosa-Domínguez¹, Iván Rodríguez-Rico², Jorge Leiva-Mas¹

1. Centro de Estudios de Química Aplicada. Universidad Central de Las Villas. Carretera a Camajuín, km 5. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. c/p 54830.

*pastoramn@uclv.edu.cu

2. Departamento de Ingeniería Química Universidad Central de Las Villas. Carretera a Camajuín, km 5. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. c/p 54830.

RESUMEN

Se realizó una caracterización físico-química al bagazo de caña de azúcar natural, utilizando las técnicas de análisis elemental y microscopía electrónica de barrido acoplada a dispersión de energías de rayos-X. Los resultados obtenidos permitieron definir la fracción de interés (+1 -2 mm), dado por el rendimiento en el tamizado (41 %) y su capacidad de sorción (2 g diesel/g BN). Los resultados obtenidos en los estudios de equilibrio de sorción fueron ajustados utilizando los modelos de isothermas de sorción Langmuir y Freundlich a dos temperaturas diferentes (25 °C y 30 °C). Se obtuvo experimentalmente la curva de ruptura, donde el punto se alcanza a las 6 horas de operación. Al bagazo natural agotado se le realizó un análisis de la textura de las fibras por microscopía electrónica de barrido acoplada a dispersión de energías de rayos-X. Los resultados obtenidos muestran un apreciable grado de desmembramiento superficial con relación a la textura del bagazo natural antes de ser utilizado.

PALABRAS CLAVE: biosorbentes, bagazo de caña de azúcar, remoción de hidrocarburos.

ABSTRACT

A physical-chemical characterization was carried out on natural sugar cane bagasse (BN), using elemental analysis techniques and scanning electron microscopy (SEM) coupled to EDX. The results obtained allowed to define the fraction of interest (+1 -2 mm), given by the sieving performance (41%) and its sorption capacity (2g diesel / g BN). The results obtained in the sorption equilibrium studies were adjusted using the Langmuir and Freundlich sorption isotherms models at two different temperatures (25° C and 30° C). The rupture curve was obtained experimentally, where the point is reached after 6 hours of operation. An analysis of the texture of the fibers by scanning electron microscopy (SEM) coupled to EDX was performed on the depleted BN. The obtained results show an appreciable degree of surface dismemberment in relation to the texture of the BN before being presented.

KEYWORDS: biosorbents, sugar cane bagasse, hydrocarbons removal.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte de la contaminación por hidrocarburos en cuerpos de agua (mares y ríos) proviene de fuentes terrestres como: aguas residuales industriales (aguas oleosas con alto contenido de hidrocarburos), a través de la atmósfera, derrames

de petróleo y fluviales urbanos que de forma sistemática se incorporan al medio de manera discreta por el arrastre de hidrocarburos motivado por las lluvias a través de los sistemas de alcantarillado y drenaje fluvial de las ciudades.

Los métodos tradicionales desarrollados para el tratamiento de efluentes han sido estudiados a

fondo, definiéndose de forma muy clara las deficiencias que los mismos presentan. Entre las principales desventajas de estos procedimientos se encuentran las bajas eficiencias que se alcanzan, los altos costos de operación, insumos y requerimientos, obligando al hombre a encontrar nuevas soluciones (1-5). Investigaciones recientes han demostrado que algunos materiales pueden ser empleados como sorbentes de hidrocarburos. Tal es el caso de fibras de palma, coco, caña de azúcar, buchón de agua, tallos de flores, cabellos humanos, plumas de pollos, entre otros (6, 4, 7). Estudios realizados sobre biomateriales lignocelulósicos (8, 9) han aportado resultados significativos en la remoción de hidrocarburos. El presente trabajo tiene como objetivo, caracterizar el bagazo de caña de azúcar natural (BN) como biosorbente en la remoción de hidrocarburos en agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación del biomaterial sorbente. El bagazo natural fue sometido a operaciones de secado, molienda y tamizado para obtener una biomasa uniforme (2, 3). La muestra del material granular pesada, se colocó en el sistema de tamizado y se sometió a un proceso de vibraciones durante un período de 10 minutos. Posteriormente se recogieron las fracciones depositadas en cada tamiz y se determinó el rendimiento de cada una de ellas respecto al total procesado. Al bagazo de caña natural se le realizó una caracterización físico-química, cuyos procedimientos se describen a continuación:

Determinación de humedad. Se realizó en una balanza de humedad Sartorius modelo MC 40, a una temperatura de 105 °C, de forma automática a la temperatura programada.

Determinación de la densidad real. (Método Picnométrico). La técnica consistió en pesar una masa determinada del material la cual se introduce en el picnómetro, luego se le adiciona el solvente (agua destilada), hasta el nivel de enrase.

Determinación de la densidad aparente. La técnica consistió en adicionar una masa del material hasta un determinado volumen (40 mL), luego se pesa la probeta con todo su contenido, y por diferencia se obtiene la masa del sólido.

Determinación de la porosidad. La porosidad de la partícula de un sólido es una medida de la rugosidad y la capacidad de la superficie, se estimó

a partir de su relación con la densidad, según la ecuación 1.

Donde: ρ_{ap} = densidad aparente y ρ_{real} = densidad real del BN.

Determinación de la capacidad de sorción de la fracción de interés, con el hidrocarburo seleccionado (32,7 °API). Para determinar la capacidad de sorción, se adaptó la metodología aplicada por Ortiz *et al.* y Salager y Forgiarini (4,7) basada en el protocolo canadiense Oil Sorbent: Testing Protocol and Certification Listing Program y de la norma ASTM F 726-99.

Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) acoplada a dispersión de energías de rayos-X (EDX). Las muestras se recubrieron con oro sputtering y la microscopía se realizó utilizando un microscopio electrónico de barrido LEO 440i. Este equipo permite la determinación cualitativa y semicuantitativa de las composiciones químicas.

Experimentos de sorción de hidrocarburo con BN en discontinuo. En cada vaso de precipitado de 1 litro de capacidad se añadió la cantidad del hidrocarburo correspondiente, se tomó su peso (g) y se llevó a volumen final de 1 litro con agua destilada. Los vasos de precipitados fueron sumergidos en un termostato. Se comenzó la agitación (450 rpm) y luego se le adicionó 1 g de BN, para un tiempo de contacto de 15 minutos. Las muestras fueron filtradas por escurrimiento de 1 h a través de un embudo de malla 0,125 mm (120 Meshes). La cantidad de hidrocarburo agregado a cada frasco tenía una concentración inicial de: 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4; g de diesel por litro de agua, respectivamente. Al filtrado residual se le determinó el contenido de hidrocarburos por el método de extracción gravimétrica con n-hexano. Se realizaron 3 réplicas a dos temperaturas diferentes (35 °C y 45 °C). Los modelos utilizados son el de Langmuir y Freundlich.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se muestra el rendimiento de cada una de las fracciones obtenidas con respecto al BN total, en el proceso de tamizado realizado.

En las tablas 1 y 2 se resumen las propiedades físicas y la capacidad de sorción del BN utilizado en los estudios realizados.

Teniendo en cuenta lo reportado por Danglad, Brandão y Salager y Forgiarini (10, 11, 7) en estudios realizados con materiales orgánicos naturales, el BN evaluado da resultados satisfactorios como un biosorbente de hidrocarburos en agua, con características similares a los ofertados en el

$$e = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{real}} = \frac{\rho_{real} - \rho_{ap}}{\rho_{real}} \quad \text{Ec.1}$$



Figura 1. Análisis granulométrico de la operación de tamizado del BN.

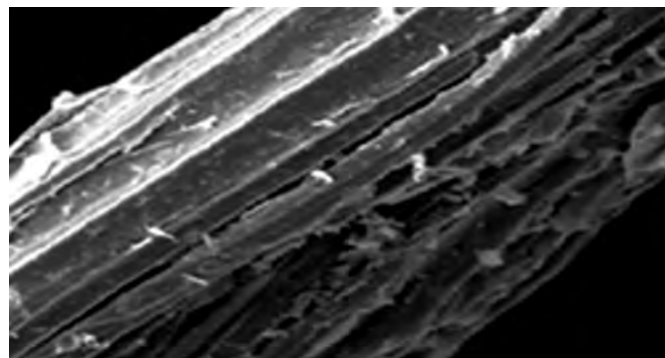


Figura 2. Microscopía electrónica de barrido (SEM) del BN.

Tabla 1. Valores medios de las propiedades físicas del BN (+1 -2 mm)

Parámetros	Unidad	Valor promedio
Humedad a 105 °C	(%)	7,57±1,9E-01
Densidad aparente	(g/cm ³)	0,0697±6,9E-06
Densidad real	(g/cm ³)	0,1656±9,9E-04
Porosidad	-	0,60±1,4E-05

Tabla 2. Resultados obtenidos en la determinación de la capacidad de sorción del BN (+1 - 2 mm) con el hidrocarburo seleccionado (32,7 °API)

Ca dinámica (g HC/g de BN)	Ca estática (g HC/g de BN)
1,77±3,0E-02	1,81±1,0E-01

mercado internacional. Su buen desempeño, abundancia, disponibilidad, bajo costo y biodegradabilidad, hacen del BN, un excelente material sorbente sostenible. Esto permite reducir considerablemente los costos adicionales de almacenamiento o disposición final que tienen los materiales sorbentes sintéticos fabricados en su mayoría con polipropileno o poliuretano. (12).

Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) acoplada a EDX al BN antes de ser utilizado

Los resultados se muestran en las figuras 2 y 3.

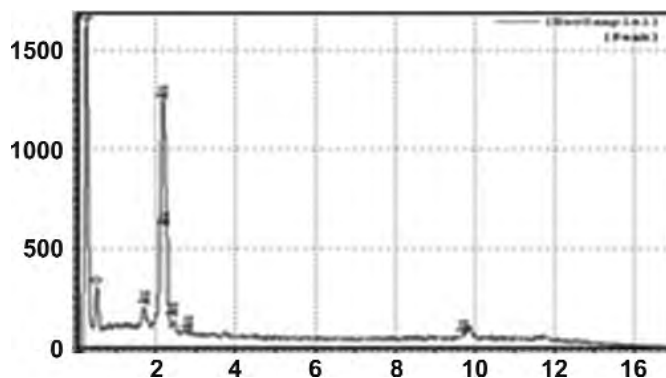


Figura 3. Espectro de emisión (EDX) del BN.

Resultados de sorción de hidrocarburo con BN en discontinuo

Los parámetros de los modelos utilizados Langmuir y Freundlich para el sistema estudiado se muestran en la tabla 3. En la misma se puede observar que a medida que aumenta la temperatura disminuye la capacidad de sorción del sorbente, lo cual coincide con lo planteado por Hernández *et al.* (13) para el caso de procesos exotérmicos. Se puede observar que la capacidad de sorción estática y dinámica reportadas en la tabla 2 son similares a las obtenidas por la ecuación linealizada de Langmuir, lo que confirma la validez del modelo.

En la figura 4 se puede observar un punto crítico denominado punto de ruptura o de quiebra a

Tabla 3. Parámetros de los modelos de equilibrio en el sistema estudiado

	T (°C)	Ecuación de regresión	R ²	b (L/g)	a máx. (g HC/g BN)	
Langmuir	25	y= 0,7432x + 0,1053	0,99	7,06	1,44	
	35	y= 0,6923 + 0,1674	0,98	4,14	1,35	
	T (°C)	Ecuación de regresión	R ²	K (L/g)	1/n	n
Freundlich	25	y= 0,7432x + 0,1053	0,96	1,960	0,341	2,936
	35	y= 0,6923 + 0,1674	0,95	1,995	0,321	3,119



Figura 4. Curva de ruptura para una columna (H/D=6,15) rellena con BN y concentración de hidrocarburo inicial de 1444 mg/L.

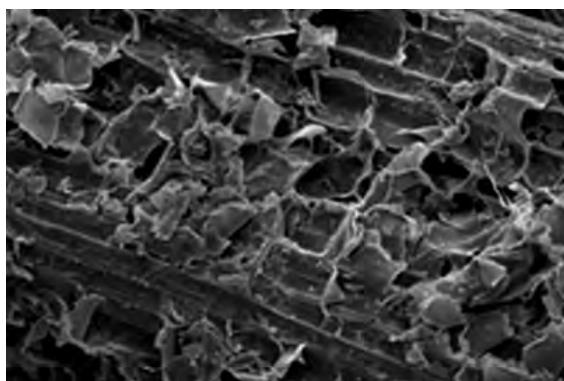


Figura 5. Microscopía electrónica de barrido (SEM) del BN agotado.

las 6 horas de operación, que representa el punto donde para propósitos prácticos, la columna está en equilibrio con el afluente y después del cual ocurre poca remoción adicional de soluto. En este punto se hace necesario remplazar el sorbente de la columna.

Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) acoplada a EDX al BN agotado.

Los resultados obtenidos se muestran en las figuras 5 y 6.

En la figura 5 se observa en la textura un apreciable grado de desmembramiento superficial con relación a la textura del BN antes de ser utilizado, debido a dos causas fundamentales que actúan simultáneamente: una por hinchamiento y la otra por disolución de la glucosa presente en los haces que conforman la estructura del BN. En la figura

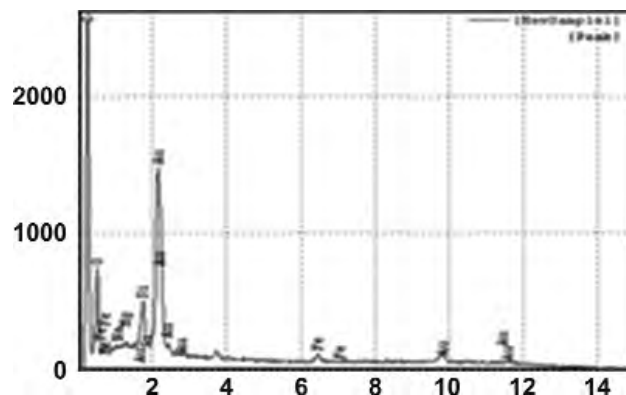


Figura 6. Espectro de emisión (EDX) del BN agotado.

6 se distingue que la relación entre los conteos de emisión (*counts*) es algo superior (5,1) con respecto al BN (4). En el espectro de emisión EDX de la figura 6 correspondiente al BN agotado, se observa la presencia de varios elementos químicos (Fe, Si, Na y Mg), los cuales corresponden a la existencia de impurezas inorgánicas solubles e insolubles presentes en el agua contaminada con hidrocarburo, que fueron sorbidas por el BN.

CONCLUSIONES

1. La caracterización física del bagazo natural de caña de azúcar y su capacidad de sorción 1,77 g hidrocarburo/g de BN (dinámica) y 1,81g hidrocarburo/g de BN (estática) lo hacen un excelente material sorbente.
2. El modelo de Langmuir es el que mejor reproduce los resultados experimentales (R^2 : 0,99 y 0,98). El valor del parámetro n es mayor que uno, indicando la ocurrencia fundamentalmente de una sorción física, en las condiciones experimentales dadas.
3. Los estudios de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) acoplada a EDX, demuestran que el bagazo natural de caña de azúcar agotado sufre cambios en su estructura, apreciándose un grado de desmembramiento superficial. Se observa la presencia de elementos químicos (Fe, Si, Na y Mg) y un aumento en la relación C/O con respecto del bagazo natural de caña de azúcar no agotado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Teas Ch., K. S., Zanikos F, Stoumas S., Lois E, Anastopoulos G. "Investigation of the effectiveness of absorbent materials in oil spill clean up." *Spill Science & Technology. Bulletin* 8: pp. 259 - 264. 2002.

2. Brito, J.; Propuesta de una tecnología para obtener un biosorbente de Cr^{3+} a partir del bagazo de caña. Escalado a nivel de planta piloto. Tesis de maestría. Tutor: Dr. Iván Leandro Rodríguez Rico. Facultad de Química Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba, 2006.
 3. Alomá, I. Tecnología sostenible para la obtención de un biosorbente de metales pesados a partir del bagazo de caña de azúcar. Tesis Doctoral. Tutor: Iván Leandro Rodríguez Rico. Facultad de Química Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba. 2011.
 4. Ortiz, P, Fonseca; F; Rodríguez, G; Montenegro, L., Biomateriales sorbentes para la limpieza de derrames de hidrocarburos en suelos y cuerpos de agua." Ingeniería e Investigación. ISSN 0129-5608, Vol. 26, N°. 2, 20-27, 2006.
 5. Martinez, P, y cool. Diagnóstico ambiental. Emplazamiento Santa Clara 110 kV. Santa Clara. Villa Clara. Grupo GEMA - MES. Centro de Estudio de Química Aplicada (CEQA). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba, 2008.
 6. Knight R., Borer, R., Clarke J., Pries J. Constructed wetlands for treatment of hydrocarbons. Ecological Engineering, 15, pp. 41-55. 2000.
 7. Salager, J.; Forgiarini, A., Fundamentos de la flotación. Referencia: Cuaderno FIRP S335A. Editado y publicado por: Laboratorio FIRP Escuela de Ingeniería Química, Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela, Versión 3, 2007.
 8. Beom-Goo, L., Han, J., Rowell, R. Oil Sorption by lignocellulosic fibers. Kenaf Properties, Processing and Products; Mississippi State University, Ag & Bioengineering, pp. 423-433. ISBN 0-9670559-0-3. Chapter 35. 1999.
 9. Reyes, J. "La biomasa cañera como alternativa para el incremento de la eficiencia energética y la reducción de la contaminación ambiental". Revista Centro azúcar No 2: pp. 14-20. ISSN: 02535777. 2003
 10. Danglad, J. "Uso de partículas hidrófobas de bagazo de caña en el tratamiento de aguas aceitosas". Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito para optar al título de Ingeniero Químico. Asesor académico: Ing. Químico. Dra. Shirley Marfisi. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Oriente, Venezuela. 2010.
 11. Brandão, 2010 Brandão, P; Souza, T; Ferreira, C; Hori, C; Lucienne; L, Romanielo, H. Removal of petroleum hydrocarbons from aqueous solution using sugarcane bagasse as adsorbent. Journal of Hazardous Materials. Volumen 175. Issues 1-3, 1106 -1112. ISSN 0304-3894. 15 March. 2010.
 12. Huang, Z., Wang, N., Zhang, Y., Hu, H., Luo, Y. Effect of mechanical activation pretreatment on the properties of sugarcane bagasse/poly(vinyl chloride) composites, Composites Part A, 43: 114-120. 2012.
 13. Hernández, M; González, A; Rojas, F; Asomoza, M; Solís, S; Lara V; Salgado, M; Portillo, R; Petranovski, V., Adsorción de hidrocarburos clorados en sustratos con microporos: clinoptilolitas desaluminizadas y SiO_2 . Rev. Int. Contam. Ambient. 21 (4) 183-191. 2005.
-