

Producción de un adsorbente a partir de semillas de guayaba

Daniela Torres Holguín¹, David Mauricio Canal Méndez², Sebastián López Valencia³ y Andrés Felipe Rojas González⁴

RESUMEN

En este artículo se describe el uso de semillas de guayaba para la elaboración de un adsorbente, realizando una comparación de resultados del proceso experimental y de simulación mediante el software Aspen Plus 7.2. La obtención experimental del adsorbente se realizó con ácido sulfúrico como agente activante, en atmósfera de aire (Oxígeno 21%, nitrógeno 79%) a condiciones normales. En la simulación se plantea dióxido de carbono como agente activante en atmósfera de nitrógeno. Para los valores obtenidos por simulación se encontró que la semilla pierde cerca del 70% en peso, valores similares se obtuvieron en el proceso experimental de producción. Los hallazgos de este estudio reportan el beneficio e impacto medio ambiental que genera la producción de bioadsorbentes de bajo costo, aprovechando la composición y propiedades de los residuos agroindustriales.

Palabras Clave—Adsorbentes, residuos agroindustriales, semillas de guayaba.

I. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales industriales proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales, estas contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos, grasas y otros subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable y depende de las diferentes actividades de la industria [1].

En los últimos años algunos residuos agroindustriales han demostrado ser eficaces en la adsorción de compuestos de aguas residuales industriales. Entre los residuos que se han empleado para producir un adsorbente se encuentran la

cáscara y fibra de coco, cascarilla de arroz, cáscara del plátano, cáscara de naranja, bagazo de caña de azúcar, residuos de maíz, entre otros [2].

La adsorción se considera generalmente como una técnica eficaz para el tratamiento de aguas residuales. Esta técnica se encarga de disminuir la carga orgánica e inorgánica del agua. Actualmente en la región cafetera colombiana se cuenta con materia prima suficiente para desarrollar un adsorbente, encontrándose como recurso potencial las semillas de Guayaba (*Psidium guajava L*) [3].

Los carbones activados son una esponja microscópica formada por microcristales de carbón que posee una relación específica de micro y macro poros cuidadosamente diseñados, en función de utilidad del producto. La estructura microporosa con una superficie interna muy elevada (700-1200 m²/g) le confiere a los carbones activados las más altas y eficientes propiedades de adsorción [4].

Las aplicaciones de los carbones activados son diversas y se llevan a cabo en fase líquida como en fase gaseosa. Entre estas aplicaciones se encuentran, la purificación y tratamiento de aguas, el procesamiento de efluentes industriales, la protección de resinas de intercambio iónico, la purificación y decoloración de aceites vegetales y minerales, y la recuperación de solventes [5].

En estudios anteriores referentes a la valorización de residuos agroindustriales, se han realizado simulaciones que permiten establecer la viabilidad de producción de bioadsorbentes, entre estos estudios de modelado se destacan, bioadsorción de Cr (III) usando cáscara de [6], remoción de colorantes usando semillas de papaya [7], adsorción de colorante básico a partir de residuos de coco [8], adsorción de azul de metileno a partir de borra de café [9].

En investigaciones preliminares de semillas de guayaba se ha encontrado que contienen material lignocelulósico con gran cantidad de grupos ácidos, que pueden ser totalmente degradados por tratamiento térmico. Las semillas pueden ser utilizadas como precursor de carbono o como un adsorbente potencial para la eliminación de colorantes ácidos [10].

Este artículo está enfocado en determinar y evaluar las distintas condiciones de operación y de diseño del proceso de obtención de un adsorbente a partir de semillas de guayaba, analizando y comparando la información y variables de

¹ dtorresh@unal.edu.co, estudiante de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

² dmcanal@unal.edu.co, estudiante de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

³ seblopezval@unal.edu.co, estudiante de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

⁴ anfrojago@unal.edu.co, Profesor, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

Los autores agradecen a la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales por el apoyo financiero al proyecto con código 18921, titulado “Remoción de compuestos azufrados y amoniacales de aguas residuales con un adsorbente obtenido de residuos agroindustriales.

producción mediante simulación en Aspen Plus® y por datos obtenidos experimentalmente.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología implementada en este trabajo consiste en comparar los datos obtenidos en el laboratorio, donde se desarrolla el proceso de fabricación del adsorbente con ácido sulfúrico como agente activante, en atmósfera de aire (Oxígeno 21%, nitrógeno 79%) a condiciones normales, contra los datos obtenidos en la simulación del software Aspen Plus® donde se tiene dióxido de carbono como agente activante en atmósfera de nitrógeno.

Obtención y Caracterización de la Materia Prima. La empresa Frugy ubicada en la ciudad de Manizales, proporcionó las semillas de guayaba. Se recibieron aproximadamente 12 Kg de semilla de guayaba (*Psidium guajava L.*), la cual presentaba trazas de pulpa. La pulpa fue retirada de la semilla a través de un lavado con agua potable.

Las semillas de guayaba se caracterizaron por medio de análisis próximo. Este da información acerca del contenido de humedad, materia volátil, cenizas y carbono fijo de la muestra. Esta sección fue desarrollada según lo expuesto por Hoyos y Vélez [11].

Obtención experimental del adsorbente. El procedimiento experimental se realizó con una muestra de 20 gramos de semilla de guayaba. Este proceso se divide en dos fases, la primera, un tratamiento preliminar de las semillas de guayaba. En esta fase de pretratamiento se acondicionaron las semillas al porcentaje de humedad requerido (50% Humedad relativa [12]), en un horno eléctrico (ZETA10 que opera entre 50°C y 300°C) a 60°C por un tiempo de 72 horas. Posteriormente, se realiza un proceso de molienda y clasificación de la semilla, para obtener un diámetro de partícula entre 0.1 y 0.5 milímetros correspondiente al tamaño característico del carbón activado [13].

En la segunda fase ocurre la transformación de la semilla, en donde se busca deshidratar y eliminar materia volátil de forma controlada, para obtener un carbonizado con elevado porcentaje en carbono fijo y una estructura porosa. Previo a la carbonización se inicia la activación de la muestra, sumergiendo las semillas en ácido sulfúrico al 40% en agua. Esta mezcla se somete a agitación constante, a 120 revoluciones por minuto (rpm), durante un tiempo aproximado de una hora y a temperatura ambiente, en un rotaevaporador (Heidolph). Esto con el fin de mejorar la capacidad de adsorción del carbón [13].

La carbonización se realiza a 400°C por una hora a presión atmosférica, en donde ocurre de manera simultánea un proceso de reacción /separación. Investigaciones anteriores afirman que tras el proceso de carbonización del precursor, se pierde alrededor del 70% de peso [14].

Simulación del proceso de Obtención del adsorbente.

Con ayuda del software ASPEN PLUS ®7.2 se simuló el proceso de aprovechamiento de semillas de guayaba, utilizando el modelo termodinámico NRTL, el cual se ajusta para sistemas sólidos. Se exploraron las diferentes alternativas y equipos disponibles para llevar a cabo dicho proceso, a continuación puede observarse en la figura 1 el diagrama general de procesamiento.

Para la simulación se consideró una alimentación de 10 kg/h de semillas de guayaba, un flujo de nitrógeno y dióxido de carbono de 2 kg/h, con el fin de generar la atmósfera modificada en la etapa de transformación.

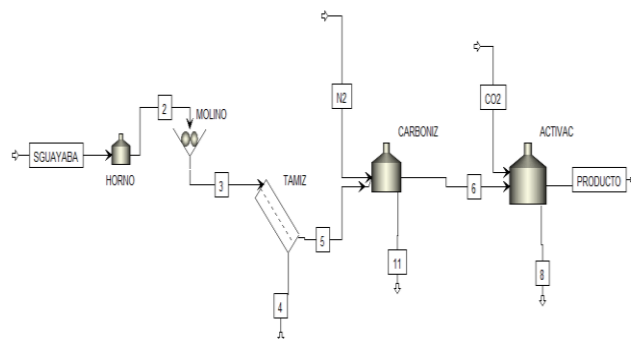


Fig.1. Diagrama general del proceso de aprovechamiento de semillas de guayaba.

En la figura anterior se aprecian las dos fases características del proceso: la fase de pretratamiento, la cual está conformada por el secado, molienda y tamizado, y la fase de transformación, constituida por la carbonización y activación. En la fase de pretratamiento no ocurre ningún cambio frente al proceso desarrollado experimentalmente, teniendo como punto de partida las mismas condiciones de humedad y tamaño de partícula de las semillas de guayaba.

En la fase de transformación ocurre simultáneamente un proceso de reacción /separación. La simulación de la carbonización se realiza a 650°C por dos horas en presencia de nitrógeno. Posteriormente, se realiza la activación de la muestra, esto con el fin de mejorar la capacidad de adsorción del carbón obtenido. La activación se simuló empleando dióxido de carbono como agente oxidante, a una temperatura de 850°C.

La reacción que tiene lugar en el proceso de activación del adsorbente con dióxido de carbono se caracteriza por la porosidad que se le agrega a los carbones. En esta reacción se toma en cuenta el carbono propio de la biomasa, despreciando los demás componentes que la constituyen. Sin embargo, en la simulación se reporta la fórmula de la biomasa como $C_5H_7NO_2$, y se considera que ocurre la siguiente reacción de activación [13]



Reacción 1. Activación

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las semillas. El análisis próximo permite conocer la composición del residuo y confirmar su uso potencial. Los resultados se presentan a continuación en la tabla 1, donde se presentan los valores obtenidos experimental y teóricamente.

Tabla 1. Análisis próximo de las semillas de guayaba.

Propiedad	Teórico [15]	Experimental	%Error
Humedad	11%	9%	18.2%
Materia Volátil	75.6	79%	4.5%
Cenizas	1.4	2%	42.9%
Carbono Fijo	12	10%	16.7%

Los valores experimentales presentan un porcentaje de error entre el 4.5 y 42.9 % lo que significa que existen variaciones entre los métodos reportados por vasco [15] y los hallados experimentalmente. Estos cambios pueden ser debidos a las diferencias en los métodos de análisis o variedad de la guayaba utilizada.

Bajos contenidos de cenizas como en este caso, favorecen los costos de operación en procesos de carbonización e incineración [16].

El carbono fijo es importante para calcular eficiencia en procesos de carbonización, para las semillas de guayaba este valor se encuentra entre el rango establecido para los residuos agroindustriales, entre 3-20%, [15] correspondiente a lignina, celulosa y hemicelulosa. El alto porcentaje de materia volátil se adjudica a compuestos orgánicos y aceites propios de la semilla [17].

Obtención experimental del adsorbente. En la Fig. 2 se aprecia las semillas de guayaba listas para realizar el proceso de activación y carbonización, para obtener el adsorbente. Las semillas se encuentran sin pulpa, y se ha retirado parte de la humedad, tras el proceso de secado.



Fig. 2. Semillas de Guayaba, posterior al proceso de pretratamiento.

En la Fig. 3 se tiene el proceso de activación de las semillas de guayaba por contacto con ácido sulfúrico, proceso que realizó en un rotaevaporador con el objetivo de asegurar que todas las semillas hicieran contacto con el ácido.



Fig. 3. Semillas de guayaba sumergidas en ácido sulfúrico.

En la tabla 2 se muestran los resultados del proceso de carbonización de las semillas de guayaba, evidenciando el rendimiento de la semilla con base en la producción de adsorbente.

Tabla 2. Cantidad y porcentaje obtenido mediante ensayo 1 (40 mL de H₂SO₄)

Volumen de ácido sulfúrico empleado [mL]	40
Semilla de Guayaba inicial[g]	20
Adsorbente obtenido [g]	7.73
Rendimiento	38.64%

De igual manera se presentan los valores encontrados para el segundo ensayo, en la tabla 3.

Tabla 3. Cantidad y porcentaje obtenido mediante ensayo 2 (60 mL de H₂SO₄)

Volumen de ácido sulfúrico empleado [mL]	60
Semilla de Guayaba inicial[g]	20
Adsorbente obtenido [g]	7.95
Rendimiento	39.74%

Con la metodología seguida, se comprueba lo que menciona Navarrete y Giraldo [14], donde expresan que se alcanza a consumir en las reacciones de transformación cerca del 70% de la masa del precursor, la cual se volatiliza en la etapa de carbonización. En la Fig.4 se observa el adsorbente obtenido, después de la carbonización.



Fig.4. Semilla activada térmicamente, carbón activado

Es importante anotar, que un aumento en el volumen de ácido sulfúrico en la etapa de activación, (20 mL) no es significativo a la hora de obtener mayor porcentaje de producto.

Simulación del proceso

En la tabla 4 se presentan los resultados de la simulación a lo largo de las líneas de proceso descrito en la Fig.1. Aquí se observa que en la corriente del proceso se generan 4 kg/h de absorbente, resultado que se asemeja al proceso experimental en donde se pierde aproximadamente el 70% en peso de la semilla.

Tabla 4. Resultados de las condiciones de operación, flujos y composición de la Fig. 1.

Líneas de proceso	2	4	5	6	12	CO ₂	N ₂	Producto
Temperatura [°C]	60	60	60	650	20	20	20	850
Presión[bar]	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	10	10	0.77
Flujo másico [kg/hr]	2.00	2.00	0.0	2.00	2.00	2.00	2.00	4.00
Ash	0.18	0.05	0.13	0.13	0.18	0.0	0.0	0.127
Hemicelulosa	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.0	0.0	0.013
Lignina	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.0	0.0	0.013
Celulosa	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.0	0.0	0.014

Con la simulación de obtención del adsorbente, se encuentra un valor de consumo de energía en la etapa de secado correspondiente a 0.224 kW/h, este gasto energético puede ser ahorrado al emplear el secado por medio de fuentes externas de calor, como la energía solar, disminuyendo costos e impacto ambiental.

IV. CONCLUSIONES

En el ejercicio de la ingeniería, se busca la innovación y optimización de alternativas que satisfagan las necesidades de una sociedad, por ello la característica más llamativa de la creación de bioadsorbentes a partir de residuos agroindustriales es la reducción de costos en el tratamiento de aguas contaminadas.

Este trabajo es valioso para observar las aplicaciones reales de la disposición adecuada de desechos, puesto que al hacer un aprovechamiento potencial de los residuos generados en cada sociedad e industria, se contribuye a la protección del medio ambiente.

Aunque se tiene literatura disponible sobre el uso de adsorbentes de bajo coste en tratamiento de aguas residuales, todavía existen vacíos que pueden ser pilares de investigaciones futuras, como la regeneración del adsorbente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa Frugy S.A por el suministro de la materia prima.

REFERENCIAS

- [1] Espigares and J.A. Pérez, *Estudio sanitario del agua. Madrid: España, Segunda edición, 1999, pp. 323-346.*

- Disponible en: http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LI_BROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf.
- [2] K. Marungrueng and P. Pavasant, "High performance biosorbent (*Caulerpa lentillifera*) for basic dye removal", *Bioresource Technology*, vol. 98, no. 8, pp. 1567-1572, May 2007.
- [3] G. Gómez and N. Rebolledo, "Modulo del Cultivo de la Guayaba", Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica, pp. 24-27, 2006. Disponible en: www.cadenahortofruticola.org/admin/.../590cultivo_de_la_guayaba.doc.
- [4] I. D. Ospina. *Distribuidora de químicos industriales S.A.* Noviembre, 2006. Disponible en: http://69.167.133.98/~dqisaco/pdf/CARBON%20ACTIVA_DO.pdf.
- [5] *Manual del Carbón activado, aplicaciones.* Carbotecnia S.A, 2014. Disponible en: <http://www.carbotecnia.info/encyclopedia/carbon-activado-aplicaciones/>.
- [6] M. L. Pinzón And L. E. Vera. "Modelamiento de la Cinética de Bioadsorción de Cr (III) usando cáscara de Naranja". (2010). *Dyna*, 76(160), 95-106. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/13588/14379>.
- [7] B.H. Hameed, "Evaluation of papaya seeds as a novel non-conventional low-cost adsorbent for removal of methylene blue", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 162, no. 2-3, pp. 939-944, March 2009.
- [8] B. H. Hameed, D. K. Mahmoud and A. L. Ahmad, "Equilibrium modeling and kinetic studies on the adsorption of basic dye by a low-cost adsorbent: coconut (*Cocos nucifera*) bunch International Journal of Chemical Engineering 9 waste", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 158, no. 1, pp. 65-72, 2008.
- [9] A. S. Franca, L. S. Oliveira and M. E. Ferreira, "Kinetics and equilibrium studies of methylene blue adsorption by spent coffee grounds", *Desalination*, vol. 249, no. 1, pp. 267-272, 2009.
- [10] M. P. Elizalde and V. Hernández, "Guava seed as an adsorbent and as a precursor of carbon for the adsorption of acid dyes", *Bioresource Technology*, vol. 100, no. 7, pp. 2111-2117, Abril 2009.
- [11] O. Hoyos and P. Vélez, "Análisis de alimentos: Manual de prácticas de laboratorio". Universidad del Cauca, Popayán. Colombia, 2000.
- [12] G. Velázquez, M.O. Martín, R. Martínez, M. Robles, "Efecto de la temperatura, humedad relativa y tipo de recubrimiento sobre la respiración de la guayaba", *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, vol. 2, no. 2, pp. 54-59, 1998.
- [13] *Manual de carbón activo*, Universidad de Sevilla, 2012. Disponible en: http://www.academia.edu/9676941/Manual_del_Carb%C3%B3n_Activo_MANUAL_DEL_CARB%C3%93N_ACTIVO.
- [14] L. F. Navarrete, L. Giraldo, M. C. Baquero and J. C. Moreno, "Carbón activado: efecto del lavado con ácido sulfúrico del precursor lignocelulósico, cuscudo de palma africana, sobre los procesos de carbonización y activación", *Revista Colombiana de Química*, vol. 34, no. 1, pp. 67-78, 2005.
- [15] N. L. Vasco, J. F. Toro and S. Padilla, "Composición Química De La Semilla De Guayaba", en *II Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia*, León Guanajuato. Departamento de Química, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes, 2005.

- [16] A. Ramírez, M. Zuluaga, J. Urresta and C. Gnecco, “Análisis próximo de la harina de sagú, de guayaba y de plátano cachaco”, *Revista Ciencia en Desarrollo*, vol. 3, no. 2, pp. 193-202, 2011
- [17] *Análisis próximos*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2014. Disponible en: http://www.unalmed.edu.co/~ctcarbon/analisis_proximos.htm.