

Obtención de carbón activado a partir del bagazo de caña para su uso en la remoción de los fármacos diclofenaco y amoxicilina en aguas residuales.

Obtention of activated carbon from sugarcane bagasse for its use in removal of drugs diclofenac and amoxicillin in wastewater.

Jean Carlo Jaén Jiménez¹, Guilherme Jesús Zamora Umaña²

¹ Bachiller en Química Industrial, Departamento de Química, Universidad de Ciencias Médicas (UCIMED), San José, Costa Rica.

² Bachiller en Microbiología y Química Clínica, Facultad de Microbiología, Universidad de Ciencias Médicas (UCIMED), San José, Costa Rica.

✉ Contacto de correspondencia: Jean Carlo Jaén Jiménez jaenjj@ucimed.cr

RESUMEN

La obtención de carbón activado se basa en dos procesos fundamentales: la carbonización de la materia prima y la posterior activación del producto que puede ser realizada de manera física o química. Costa Rica es un país que presenta una alta producción agrícola, como consecuencia genera grandes cantidades de desechos, entre ellos los desechos lignocelulósicos de diferentes tipos de cultivos. En este contexto se propone aprovechar estos desechos para la producción de carbonos activados con el fin de remover fármacos en diferentes matrices. El objetivo es evaluar la eficiencia de remoción de los fármacos diclofenaco y amoxicilina utilizando carbón activado a partir de desechos de bagazo de la industria azucarera.

Para la síntesis de carbón activado (CA) se realizó la recolección de la muestra de bagazo de caña, procedente del ingenio azucarero Taboga. La muestra se secó en horno de convección a 40°C durante una semana y se realizó la disminución del tamaño de partícula con molino de cuchilla, para su posterior activación. La carbonización y activación del material se realizó mediante la activación por microondas en un paso, bajo atmósfera inerte con corriente de nitrógeno. Fue utilizado ácido fosfórico (H₃PO₄) con el fin de analizar el efecto de este en la activación y capacidad de adsorción del CA. Para determinar las características del CA se aplicaron las pruebas de porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas, porcentaje de material volátil y determinación del número de yodo. Finalmente, para la cuantificación de la remoción de fármaco se utilizó la metodología estándar para la determinación de la capacidad de absorción del carbono activado por la técnica de isoterma en fase acuosa (5).

De acuerdo con los resultados, se determinó la concentración de ácido fosfórico (H₃PO₄) que generaba los mejores porcentajes de absorción, pudiendo observar que sí existe una diferencia en la cantidad de adsorción en función de la concentración del activante. Con respecto a la adsorción del diclofenaco, en el presente trabajo, se obtuvo un valor de 138 mg/g, comparado con otras fuentes de información se concluye que el activante químico es la principal variante para obtener una mayor adsorción

Cómo citar:

Jaén Jiménez, J. C., & Zamora Umaña, G. J. . Obtención de carbón activado a partir del bagazo de caña, para su uso en la remoción de los fármacos diclofenaco y amoxicilina en aguas residuales. Revista Ciencia Y Salud Integrando Conocimientos, 8(2). <https://doi.org/10.34192/cienciaysalud.v8i2.766>

Recibido: 26/Ene/2024

Aceptado: 24/May/2024

Publicado: 14/Jun/2024



del fármaco. Para el caso de la adsorción de amoxicilina se obtuvieron valores de 13,16 mg/g y 45,45 mg/g para el CA sintetizado y el comercial respectivamente.

En resumen, el carbón activado a partir de bagazo de caña se presenta como un adsorbente obtenido de una biomasa agrícola de bajo costo, que es prometedor para su aplicación en el control de la contaminación del agua por fármacos y presenta una economía muy valiosa con beneficios para el medio ambiente.

Palabras clave: Carbón activado; bagazo de caña; adsorción; amoxicilina; diclofenaco.

ABSTRACT

Obtaining activated carbon is based on two fundamental processes. First, the carbonization of the raw material and subsequently the activation of the product, this can be carried out physically or chemically.

Since Costa Rica is a country that has a high agricultural production, and as consequence large quantities of waste are generated, among which lignocellulosic waste from different types of crops stand out. In this context, it is proposed to take advantage of these wastes to produce activated carbon to remove drugs in different matrices. The objective is evaluate the removal efficiency of the drugs diclofenac and amoxicillin using activated carbon obtained from bagasse wastes from the sugar industry.

For the synthesis of activated carbon (AC), it began with the collection of the sugar cane bagasse sample from the Taboga sugar mill. The sample was dried in a convection oven at 40°C for one week, and the particle size was decreased to use it in the subsequent activation process. The carbonization and activation of the material was done by microwave activation in one step, under an inert atmosphere with a nitrogen stream. At the same time, phosphoric acid (H_3PO_4) was used to study its effect on the activation and adsorption capacity of AC. To determine the characteristics of the AC, the tests of percentage of humidity, percentage of ash, percentage of volatile material and determination of the iodine number were applied. Finally, to quantify drug removal capacity, the standard methodology was used by the aqueous phase isotherm technique.

According to the results, the concentration of phosphoric acid (H_3PO_4) that generated the best absorption percentages was determined, and it was possible to observe that there is a difference in the amount of adsorption depending on the concentration of the activator. Regarding the absorption of diclofenac, in the present work a value of 138 mg/g was obtained. Compared with other sources of information, it concludes that the chemical activator is the main variable to obtain greater adsorption of the drug. In the case of amoxicillin adsorption, values of 13,16 mg/g and 45,45 mg/g were obtained for the synthesized and commercial AC respectively.

In conclusion, activated carbon from sugarcane bagasse is presented as an adsorbent obtained from a low-cost agricultural biomass, which is promising for its application in the control of water pollution and presents a very valuable economy with benefits for the environment.

Keywords: Activated carbon; sugarcane bagasse; adsorption; amoxicillin; diclofenac.

INTRODUCCIÓN

La presencia en aguas residuales de contaminantes orgánicos emergentes (COE´s) se ha evidenciado en los últimos años. Los COE´s son sustancias químicas detectadas en diferentes sustancias naturales como el agua y representan un riesgo para la salud pública. Dentro de los COE´s destacan los compuestos químicos utilizados como fármacos (1). Los COE´s entran en contacto con el medio ambiente a través de los sistemas domésticos de tratamiento de aguas residuales que casi en su totalidad son procesos ineficientes para el tratamiento de estos (2). Independientemente del origen de los COE´s, los principales efectos negativos son la feminización y hermafroditismo en peces, problemas de crecimiento y disrupción endocrina (3).

Según estudios realizados por el Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET) de la Universidad Nacional (UNA) y por el Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) de la Universidad de Costa Rica (UCR), se determinó que en 25 de las 34 cuencas hidrográficas analizadas en el país había presencia de Productos Farmacéuticos y de Cuidado Personal (PFCP) en aguas superficiales y subterráneas. Dentro de estos PFCP´s se encontraron analgésicos, antipiréticos, antiepilépticos, antidepresivos, antihipertensivos, antimicrobianos, antiinflamatorios no esteroideos (AINES), bloqueadores de los receptores histamínicos H₂, estimulantes del Sistema Nervioso Central tipo alcaloides, metabolitos de cafeína y reguladores de lípidos y sus metabolitos (4).

La síntesis de carbón activado (CA) se basa en dos procesos esenciales. Primeramente, la carbonización de la materia prima y posteriormente la activación del material, esta puede ser realizada de manera física o química. En el presente trabajo, el bagazo de caña fue utilizado como material precursor y el ácido fosfórico (H₃PO₄) como activante químico a diferentes concentraciones (15%, 30% y 50% %v/v). La activación química presenta múltiples ventajas con respecto al método de activación física, ya que requiere solo una etapa de tratamiento térmico, temperaturas más bajas y rendimientos superiores. Estos factores contribuyen con la reducción de los costos del proceso, lo que lo hace más atractivo desde un punto de vista económico y técnico (5).

El carbón activado se caracteriza por su alta área superficial, debido a su estructura microporosa y de fácil regeneración. Gracias a que en su superficie existen grupos funcionales como grupos carboxílicos, fenólicos, cetonas, quinonas, hidroquinonas y aldehídos el CA presenta la capacidad de generar una capa de partículas. La capacidad de adsorción que tiene el CA le confiere la capacidad de remoción de diferentes sustancias en una matriz específica, esto depende de los grupos químicos existentes en la superficie donde la adsorción se da por fuerzas intermoleculares entre estos grupos y el sustrato de interés (3). El CA tiene múltiples aplicaciones industriales, entre las que se destacan el tratamiento de efluentes que, en combinación con otras técnicas como la rizofiltración y la precipitación química, permiten cumplir con los estándares permitidos en el desecho de aguas residuales (6). Es importante destacar que las propiedades del CA varían en función del precursor utilizado, cambiando los diferentes grupos funcionales que se encuentran en su superficie, y se puede generar de diversas fuentes que contenga celulosa en su estructura. En este estudio, se utilizará el bagazo de la caña que es el residuo producido por la industria azucarera y que presenta varios usos, como la producción de energía y elaboración de diversos productos en la industria papelera y constructora. Químicamente, el bagazo está compuesto por celulosa, hemicelulosa y lignina como principales polímeros naturales (5,6).

Costa Rica es un país que presenta una alta producción agrícola generando grandes cantidades de desechos, entre ellos destacan los desechos lignocelulósicos de diferentes tipos de cultivos, los cuales pueden ser aprovechados para la producción de carbón activado. Dentro de estos desechos tenemos el bagazo de caña que representa el 30 % en masa de la caña molida (7). Si se toma en cuenta este porcentaje, de acuerdo con datos disponibles en la página web de la Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER), el ingenio azucarero Taboga procesa alrededor de 7000 toneladas de caña diarias, esto representa la

generación de 2100 toneladas de bagazo diarios; a estas se le debe sumar las generadas por los otros 13 ingenios azucareros del país (8).

A nivel internacional se han realizado diversas investigaciones donde se ha utilizado el carbón activado para la remoción de contaminantes farmacéuticos en aguas residuales. Existen estudios donde se ha reportado que usando diferentes tipos de carbones activados se obtuvieron porcentajes de remoción de amoxicilina, cefalexina, tetraciclina y penicilina, desde 26,31% hasta 88,17% (9). En otros estudios, se reportan porcentajes de remoción de acetaminofén (73-84%), carbamazepina (74-86%), triclosán (90-96%) y fluoxetina (91%) (10).

Por lo tanto, el desarrollo de este proyecto pretende estudiar la posibilidad de emplear el desecho de bagazo para la obtención de carbón activado como un producto de mayor valor agregado, el cual podría ser utilizado para la solución de otro problema ambiental siendo la remoción de sustancias contaminantes tipo fármacos presentes en aguas residuales a nivel doméstico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención y preparación de la muestra

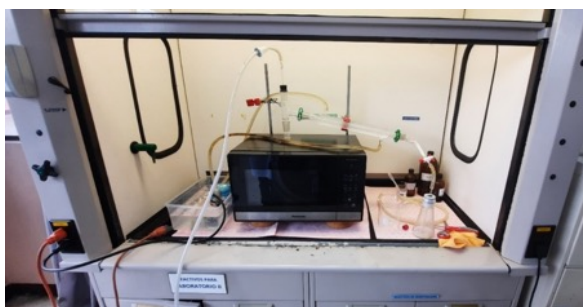
Para la síntesis de carbón activado se realizó la recolección de la muestra de bagazo de caña procedente del ingenio azucarero Taboga, mediante un muestreo sistemático aleatorio de la muestra vegetal de bagazo, la muestra fue llevada a sequedad en horno de convección a 40°C durante una semana y se disminuyó el tamaño de partícula para su uso en el proceso de activación.

Carbonización y activación del material

La carbonización y activación del material se hizo mediante la activación por microondas en un paso, bajo atmósfera inerte con corriente de nitrógeno. Este proceso se realizó por lotes, para ello se tomaron 3,00 g de material vegetal y se dejó en impregnación con 15 mL del agente activante, ácido fosfórico (H_3PO_4), durante una hora en baño ultrasónico. El proceso se realizó utilizando tres diferentes concentraciones del activante, 15%, 30% y 50% m/V con el fin de estudiar el efecto de este en la activación y capacidad de absorción del CA. Luego, el material vegetal se introdujo en el sistema de reacción, bajo una potencia del microondas de 900W, durante 7 min, bajo flujo de nitrógeno, como se muestra en la Figura 1. El tiempo de reacción se determinó de acuerdo con pruebas previas donde se pudo observar que a los 5 minutos ya se encontraba todo el material carbonizado y dando 2 minutos más para asegurar la carbonización completa y activación del material.

Figura 1. Sistema de activación de carbón, mediante el uso de microondas en atmosfera de nitrógeno.

(Fotografía propia)



Caracterización de la muestra

Para determinar las características del CA se aplicaron las pruebas de porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas, porcentaje de material volátil y determinación del número de yodo, siguiendo las normas ASTM D2867-17, ASTM D2866-11, ASTM D5832-98 y ASTM D4607-14 respectivamente.

El porcentaje de humedad se realizó tomando una masa de 0,3 g pesados al 0,1 mg en balanza analítica en un crisol llevado previamente a masa constante, el crisol con la muestra se colocó en una estufa a 105°C por 1 hora, repitiendo el proceso hasta obtener masa constante del crisol con la muestra (11). El porcentaje de humedad se determina utilizando la ecuación:

$$\%H = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

(Ecu. 1)

Por otro lado, para determinar el porcentaje de ceniza se tomó por triplicado una masa de 0,5 g del carbón activado, pesados al 0,1 mg en balanza analítica en un crisol llevado previamente a masa constante, el crisol con la muestra se colocó en una mufla a 900°C por 2 horas, repitiendo el proceso hasta obtener masa constante (12), el porcentaje de ceniza se determina siguiendo la ecuación:

$$\%Ceniza = \frac{m_i - m_{ceniza}}{m_i} \times 100$$

(Ecu. 2)

El porcentaje de volátiles se determinó tomando una masa de 0,2 g del carbón activado, pesados al 0,1 mg en balanza analítica en un crisol y llevados a una mufla a 900°C por 7 min, midiendo la masa resultante (13). El porcentaje de humedad se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\%Volátiles = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

(Ecu. 3)

Para la determinación del número de yodo se lleva a cabo el procedimiento indicado en la norma ASTM D4607-04 (14).

Determinación de la capacidad de adsorción de los fármacos

Para la cuantificación de la remoción de fármaco se utilizó la metodología estándar para la determinación de la capacidad de adsorción del carbono activado por la técnica de isoterma en fase acuosa (ASTM D3860-98, reprobado en 2014). Para esto se preparó una disolución acuosa de cada fármaco de 100 mg/L y se vertió una alícuota de 100,0 mL a 5 masas diferentes de CA en un rango entre 0,01 y 0,1 g, se agitó la mezcla durante 2 horas, se filtró para separar la disolución del carbón y se cuantificó la concentración residual del fármaco, con estos datos se construyó la curva de adsorción, graficando la concentración remanente de fármaco contra los mg de principio activo adsorbidos por gramo de CA, como se observa en las Figuras de la 4 a la 7 (15).

La cuantificación del medicamento se llevó a cabo utilizando la técnica de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Para este caso se cuantificó antes y después de realizar el tratamiento con el carbón activado, siguiendo el siguiente procedimiento, descrito en la Farmacopea USP 30-NF 25 (16):

Cuantificación de amoxicilina por HPLC (basado de USP 42 & NF 37).

- Se preparó una curva de calibración de amoxicilina, con disoluciones preparadas a partir de un patrón de amoxicilina en un rango de entre 10 y 100 mg/mL, utilizando el diluyente como disolvente.
- Se preparó la muestra de manera tal que la concentración de esta esté dentro del rango de los patrones de la muestra, utilizando el diluyente como disolvente.
- Se utilizaron las siguientes disoluciones y condiciones para el HPLC:
 - Δ **Diluyente:** Buffer de fosfatos pH 5,0±0,1.
 - Δ **Fase móvil:** Acetonitrilo: Diluyente (1 : 24).
 - Δ **Detector:** UV 230 nm.
 - Δ **Flujo:** 1,5mL/min.
 - Δ **Columna:** C18.
 - Δ **Volumen de inyección:** 20 µL.

Cuantificación de diclofenaco por HPLC (basado de USP 42 & NF 37)

- Se preparó una curva de calibración de diclofenaco, con disoluciones preparadas a partir de un patrón de diclofenaco en un rango de entre 10 y 100 mg/mL utilizando diluyente como disolvente.
- Se preparó la muestra de manera tal que, la concentración de esta esté dentro del rango de los patrones de la muestra, utilizando el diluyente como disolvente.
- Se utilizaron las siguientes disoluciones y condiciones para el HPLC:
 - Δ **Disolución A:** ácido fosfórico: agua (0,62:1000).
 - Δ **Disolución B:** 1,86 g de dihidrógeno fosfato de sodio en 1000 mL de agua.
 - Δ **Disolución C:** Disolución A: Disolución B (50:50).
 - Δ **Fase móvil:** Metanol: Disolución C (70:30).
 - Δ **Diluyente:** Metanol: Disolución C (70:30).
 - Δ **Detector:** UV 254 nm.
 - Δ **Flujo:** 1ml/min.
 - Δ **Columna:** C18.
 - Δ **Volumen de inyección:** 20 µL

Resultados

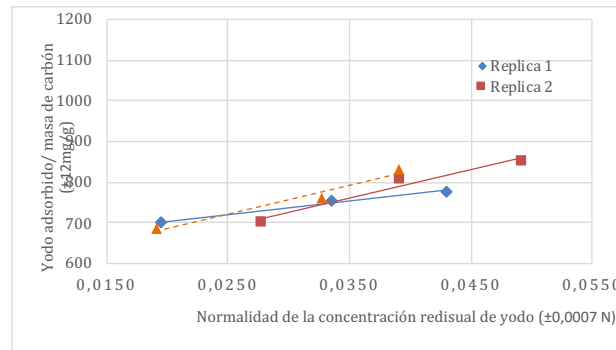
Una vez obtenidos los tipos de carbón activado, utilizando la atmósfera inerte con las tres diferentes concentraciones de activante, para determinar cuál de las concentraciones de activante que presentaba los

mejores resultados, se procedió a cuantificar la cantidad de fármaco diclofenaco adsorbido por gramo de carbón, contra un blanco, mediante cromatografía HPLC, cuyos resultados fueron los siguientes:

Cuadro 1. Resultados de la adsorción del fármaco diclofenaco por los carbones activados sintetizados por microondas a las diferentes concentraciones de activante, reportadas en mg de diclofenaco absorbido por g de carbón (mg/g).

Muestra	Masa promedio de muestra (g)	Promedio de diclofenaco absorbido por gramo de muestra de carbón (mg/g)
CA-MO-H ₃ PO ₄ -15	0,0506	123,32
CA-MO-H ₃ PO ₄ -30	0,0526	41,67
CA-MO-H ₃ PO ₄ -50	0,0505	41,71

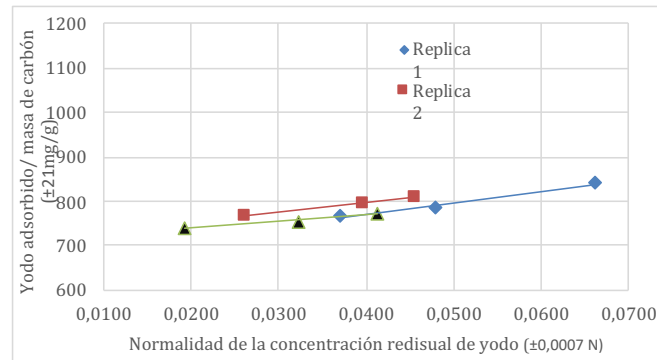
Una vez seleccionado el CA-MO-H₃PO₄-15 como el mejor carbón, se procedió a realizar la caracterización de este, además de un carbón comercial de marca Sigma-Aldrich Darco 4-12 Mesh, con el fin de tener un punto de comparación de los resultados, que se muestran a continuación:



	Replica 1	Replica 2	Replica 3
NO. Yodo	703	656	685
Pendiente	3358	7026	7188
Coficiente correlación	0,979	0,962	0,967

Figura 2. Isoterma de adsorción de yodo en el carbón activado comercial.

Fuente: Elaboración propia (2024).



	Replica 1	Replica 2	Replica 3
NO. Yodo	717	754	739
Pendiente	2635	2145	1514
Coefficiente correlación	0,988	0,990	0,988

Figura 3. Isoterma de adsorción de yodo en el carbón activado CA-MO-H₃PO₄-15.

Fuente: Elaboración propia (2024).

Por otro lado, también se determinó el porcentaje de humedad, cenizas y materia volátil para el carbón sintetizado, obteniendo los datos reportados en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Caracterización del carbón activado CA-MO-H₃PO₄-15.

Muestra	%Humedad	%Ceniza	% Volátiles	Número de Yodo (mg/g)
CA-MO-H ₃ PO ₄ -15	13,90±0,05	10,4±0,1	22,16±0,09	737±16

Una vez caracterizado el CA sintetizado, se procedió a realizar las pruebas de adsorción de los fármacos, amoxicilina y diclofenaco, utilizando la norma ASTM D-3860, cuyos resultados son los siguientes:

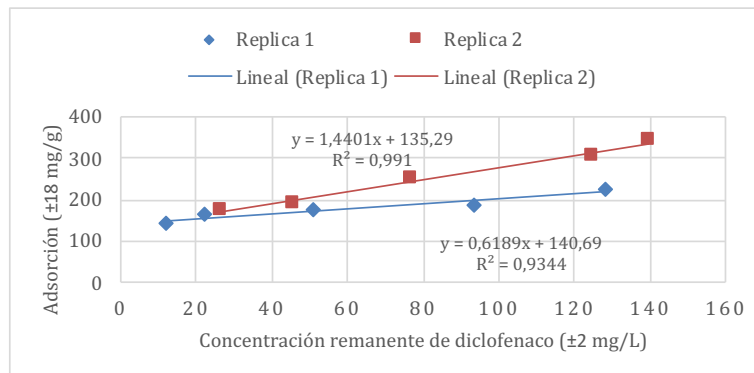


Figura 4. Isoterma de adsorción de diclofenaco en el carbón activado CA-MO- H₃PO₄-15.

Fuente: Elaboración propia (2024).

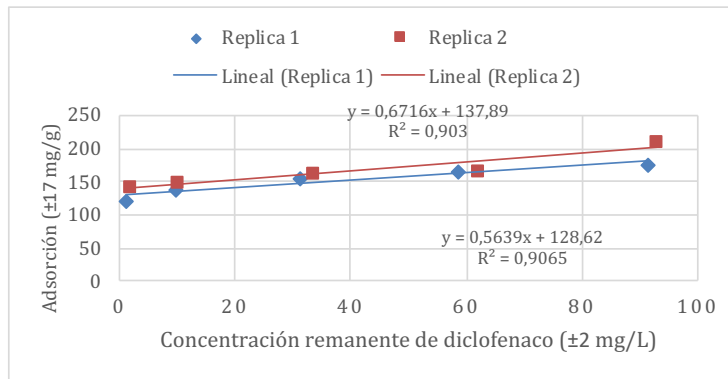


Figura 5. Isoterma de adsorción de diclofenaco en el carbón activado comercial.

Fuente: Elaboración propia (2024).

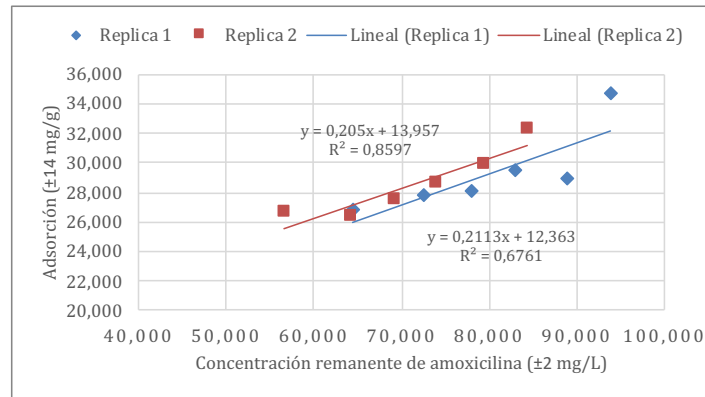


Figura 6. Isoterma de adsorción de amoxicilina en el carbón activado CA-MO-H₃PO₄-15.

Fuente: Elaboración propia (2024).

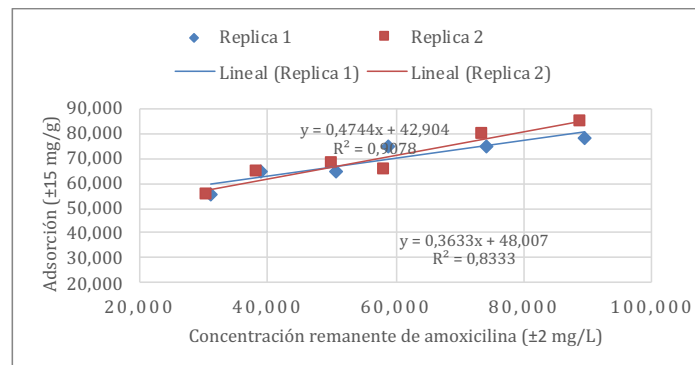


Figura 7. Isoterma de adsorción de amoxicilina en el carbón activado comercial.

Fuente: Elaboración propia (2024).

De acuerdo con la información de la regresión de cada curva de adsorción, las adsorciones promedio, dadas en mg de fármaco por g de carbón activado, por muestra de carbón se pueden observar a continuación:

Cuadro 3: Promedio de adsorción de los fármacos diclofenaco y amoxicilina por muestra de carbón.

Muestra/Fármaco	Diclofenaco	Amoxicilina
CA-MO-H ₃ PO ₄ -15 (mg/g)	138±7	13,16±2
Carbón Activado Comercial (mg/g)	133±5	45,46±6

Discusión

De acuerdo con los resultados mostrados en el Cuadro 1, se determinó la concentración de ácido fosfórico (H₃PO₄) que generaba los mejores porcentajes de absorción, pudiendo observar que sí existe una diferente cantidad de adsorción en función de la concentración del activante.

Con respecto a la capacidad de adsorción, en función de la concentración del activante, en la activación con atmósfera inerte, se puede observar que al aumentar la concentración de activante la capacidad de adsorber del carbón disminuye, de acuerdo con lo descrito por Duan X. *et al.* Esto se puede deber a que a mayor concentración de activante se presenta una mayor reacción entre este y la estructura orgánica del carbón, que incluye procesos como deshidratación, degradación y condensación con liberación de gases (17) produciendo cambio en los grupos funcionales de la superficie del carbón. También en otros estudios se ha encontrado que al aumentar la concentración del ácido fosfórico (H₃PO₄), este puede causar una disminución de la constante dieléctrica, propiedad que indica la capacidad de absorber radiación, produciendo una mala absorción de la energía proveniente del microondas (18) generando que la activación del carbón no sea la idónea. No se debe de olvidar que el precursor que se utilice puede definir cuál de estos 2 mecanismos afectaría más la activación del carbón activado producido.

Con respecto a la caracterización del CA sintetizado, el contenido de humedad obtenido fue de 13,96%, que no representa un inconveniente ya que la humedad en un carbón activado varía mucho en función de las condiciones ambientales, por su propia naturaleza, por lo que para todos los análisis se procedió a secar primero el carbón en estufa a 105°C por 1 hora.

Por otro lado, como se puede observar en el Cuadro 2, se halló que el CA sintetizado tiene un porcentaje de ceniza que se encuentra en el rango de porcentaje reportados en otras investigaciones donde se preparó carbón activado usando el mismo precursor, por ejemplo, se han reportado porcentajes de ceniza de: 17,5% (19), 8,2% (20), 13,26 % (21) y 8,3% (22). De manera similar el CA sintetizado presenta un porcentaje de materia volátil muy similar al obtenido por Primera-Pedrozo, de un 22,3% o al 31,3% reportado por Prieto García y colaboradores (23).

El número de yodo se puede tratar como un indicador de la porosidad de un carbón activado, es decir, se puede utilizar como una estimación del área superficial para algunos tipos de carbones activados. Este índice representa la masa de yodo (en mg) adsorbida por 1 gramo de carbón activado utilizado (24). Siendo el rango de número de yodo entre 500 y 1200, el valor normal para los carbones activados, que equivale a un área superficial entre 900 y 1100 m²/g (25). Los valores determinados en la investigación muestran un número de yodo de 681 y 737 para el carbón activado comercial y el CA-MO-H₃PO₄-15 respectivamente, resultados que están dentro del rango esperado para este parámetro, por lo que se puede decir que el CA sintetizado presenta un área superficial suficiente para considerarse un carbón activado y, además, presenta un mayor número que el del carbón activado comercial utilizado. Es importante resaltar que los resultados obtenidos se encuentran muy cerca del límite menor del rango.

Al CA sintetizado también se le realizó un análisis de microscopía electrónica de barrido usando un equipo JEOL JSM-6010LA, obteniendo las siguientes imágenes:

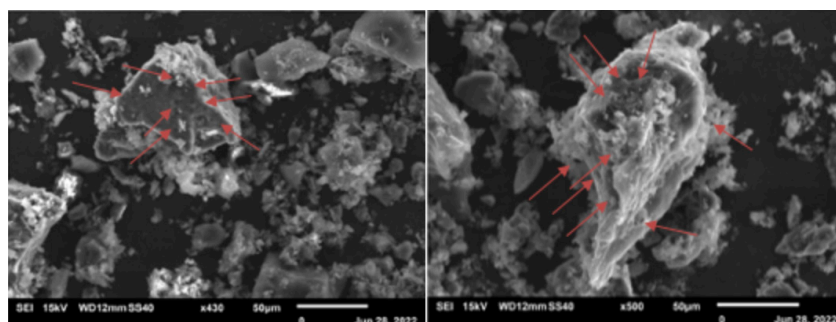


Figura 8. Fotografía obtenida mediante microscopía electrónica de barrido para el CA-MO-H₃PO₄-15.

Fuente: Elaboración propia (2024).

En la imagen se pueden ver (de acuerdo con las flechas rojas) algunos de los poros presentes en el carbón, poros que son producto del proceso de activación, confirmando que la activación del carbón se llevó a cabo como se esperaba, de acuerdo con los parámetros utilizados.

Con respecto a la adsorción de diclofenaco utilizando carbón activado se han reportado valores de adsorción de 1033 mg/g y 821 mg/g en carbones activados con CO₂ por 40 h y 24 h respectivamente (26), 315 mg/g con un carbón activado producido a partir de bagazo de caña (27), 96,10 mg/g con un carbón activado, cuyo precursor era el árbol *Terminalia catappa* (28).

De estos resultados se puede observar que existe un gran rango de adsorción de diclofenaco en carbones activados, pero comparando el resultado obtenido, es esta investigación de 138 mg/g de diclofenaco adsorbido, con el reportado por Abo El Naga y colaboradores, en la que se obtuvo 315.0 mg/g. Se pueden ver una gran diferencia a pesar de ser el mismo precursor, la cual puede ser debido a que, en esa investigación, se usó FeCl₃ como activante química y la activación utilizada fue la convencional mediante calentamiento en mufla (27). Cabe resaltar que en esta investigación no se utilizó el FeCl₃ como activante debido al nivel de contaminante que este compuesto representa, siendo el fin principal del estudio buscar mecanismos para minimizar la contaminación ambiental. Por otro lado, podemos ver que no hubo diferencia significativa de adsorción entre el carbón activado CA-MO-H₃PO₄-15 con el carbón comercial utilizado, por lo que se puede decir que el carbón sintetizado en esta investigación presenta características de adsorción similares a los carbones activados presentes en el mercado.

Con respecto a la adsorción de amoxicilina, se puede observar que la adsorción no es tan importante como con el diclofenaco, obteniendo valores de adsorción de 13,16 mg/g y 45,45 mg/g para el CA sintetizado y el comercial respectivamente, también se puede observar que este resultado de adsorción es todavía más bajo si se compara con el reportado por Moussavi y colaboradores, de 262 mg/g y 427 mg/g (29).

CONCLUSIÓN

En este estudio se sintetizó un CA a partir de desechos de la agroindustria, específicamente de desecho del bagazo de caña, con el fin de dar un valor agregado a estos desechos, cuya aplicación tendría un doble valor, ya que contribuye a eliminar un contaminante. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede decir que se cumplió con el objetivo planteado, ya que el CA obtenido presenta buenas características para absorber el fármaco diclofenaco, además de presentar un número de yodo dentro de los rangos esperados para este parámetro. Además de presentar características de adsorción un poco mayores a las del CA comercial utilizado como punto de comparación, sin dejar de lado que la concentración de activante utilizado juega un

rol muy importante en la obtención de las características de adsorción del carbón, por otro lado, en cuanto a la adsorción de la amoxicilina los resultados no fueron tan satisfactorios, por lo que se puede decir que el CA sintetizado no serviría para tratar este fármaco en aguas.

En resumen, el carbón activado, a partir de bagazo de caña, se presenta como un adsorbente obtenido de una biomasa agrícola de bajo costo, que es prometedor para su aplicación en el control de la contaminación del agua y presenta una economía muy valiosa con beneficios para el medio ambiente.

Declaración de conflicto de intereses

Se declara que ninguno de los autores presenta algún conflicto de interés por el artículo.

Declaración de financiamiento

La publicación no presentó ningún medio de financiamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wang H, Wang Y, Dionysiou DD. Advanced oxidation processes for removal of emerging contaminants in water. *Water (Basel)* [Internet]. 2023;15(3):398. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/w15030398>
2. Quesada HB, Baptista ATA, Cusioli LF, Seibert D, de Oliveira Bezerra C, Bergamasco R. Surface water pollution by pharmaceuticals and an alternative of removal by low-cost adsorbents: A review. *Chemosphere*. 2019;222:766–80.
3. Jossette Quesada Rodríguez. Evaluación de la metodología de tratamiento por adsorción con piedra pómez para un contaminante orgánico emergente en aguas residuales. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA; 2017.
4. Angulo F. Manejo , disposición y desecho de las aguas residuales en Costa Rica. DECIMONOVENO INFORME ESTADO DE LA NACIÓN EN DESARROLLO HUMANO SOSTENIBLE. 2013. p. 3–34.
5. Mohamed F, Shaban M, Zaki SK, Abd-Elsamie MS, Sayed R, Zayed M, et al. Activated carbon derived from sugarcane and modified with natural zeolite for efficient adsorption of methylene blue dye: experimentally and theoretically approaches. *Sci Rep* [Internet]. 2022;12(1). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-022-22421-8>
6. Vera Raza BB, Mero Intriago RA, Burgos Briones GA, Cevallos Cedeño RE. Lignocellulosic waste and activated carbon production method. *Minerva* [Internet]. 2022;1(Special):122–30. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.47460/minerva.v1ispecial.87>
7. Becerra AP, Buitrago AL, Pinto P. Sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia. *Ing Solidar* [Internet]. 2016;12(20):133–49. Disponible en: <http://www.banrepcultural.org/revista-18>
8. PROCOMER. Página Oficial de PROCOMER [Internet] [Internet]. 2019 [cited 2023 Aug 25]. Disponible en: <https://www.esencialcostarica.com/empresas-licenciatarias/servicios/procomer/>
9. Paredes JL, Evangelista GD. Removal of ibuprofen and amoxicillin in domestic wastewater using activated carbon soaps and moringa seed powder at the laboratory level. *Rev Cienc Tecnol* [Internet]. 2024;20(1):63–74. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17268/rev.cyt.2024.01.05>

10. Zhao Y, Cho C-W, Cui L, Wei W, Cai J, Wu G, et al. Adsorptive removal of endocrine-disrupting compounds and a pharmaceutical using activated charcoal from aqueous solution: kinetics, equilibrium, and mechanism studies. *Environ Sci Pollut Res Int* [Internet]. 2019;26(33):33897-905. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-018-2617-7>
11. ASTM. American Society for Testing Materials D2867 – 17: Standard Test Methods for Moisture in Activated Carbon. ASTM Stand [Internet]. 2023;i(Reapproved 2014):9-10. Disponible en: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/50899458-622b-4b86-b3e9-bfa0755bc727/en-14427-2022>
12. ASTM. American Society for Testing Materials D2866 – 11 (Reapproved 2018): Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon. ASTM Stand [Internet]. 2023;11(Reapproved):19428. Disponible en: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/50899458-622b-4b86-b3e9-bfa0755bc727/en-14427-2022>
13. ASTM. American Society for Testing Materials D 5832 – 98: Standard Test Method for Volatile Matter Content of Activated Carbon Samples. ASTM Stand. 2003;98(Reapproved):2.
14. ASTM. American Society for Testing Materials D 4607 – 94 (Reapproved 2006): Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon 1. ASTM Int [Internet]. 2006;94(Reapproved):1-5. Disponible en: <http://compass.astm.org.acces.bibl.ulaval.ca/download/D4607.6656.pdf>
15. ASTM International. Standard Practice for Determination of Adsorptive Capacity of Activated Carbon by Aqueous Phase Isotherm Technique. ASTM Stand. 2004;15(1):1-4.
16. The United States Pharmacopeial Convention. Farmacopea de los Estados Unidos de América. USP 30- NF 25 [Internet]. Rockville. USA; 2007. 1540-1541; 2090-2091 p. Disponible en: www.usp.org.]
17. Duan X, Srinivasakannan C, Wang X, Wang F, Liu X. Synthesis of activated carbon fibers from cotton by microwave induced H₃PO₄ activation. *J Taiwan Inst Chem Eng* [Internet]. 2017;70:374-81. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2016.10.036>
18. Villota EM, Lei H, Qian M, Yang Z, Villota SMA, Zhang Y, et al. Optimizing Microwave-Assisted Pyrolysis of Phosphoric Acid-Activated Biomass: Impact of Concentration on Heating Rate and Carbonization Time. *ACS Sustain Chem Eng*. 2018;6(1):1318-26.
19. Acevedo S, Colina M, Díaz a, Fernández N, Behling E, Marín J, et al. Chemical activation of sugar cane bagasse [Saccharum officinarum on nickel (II) adsorption in industrial effluents . Act química del bagazo caña azúcar (Saccharwn Off en la adsorción níquel en efluentes Ind [Internet]. 2007;30(3):244-52. Disponible en: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-47749129999&partnerID=40&md5=8dbcc26bda7e3f218bdad0bbae32849f>
20. Primera-Pedrozo O, Colpas Castillo F, Meza Fuentes E, Fernández-Maestre R. Carbones activados a partir de bagazo de caña de azúcar y zuro de maíz para la adsorción de cadmio y plomo. *Rev la Acad Colomb ciencias exactas, físicas y Nat*. 2011;35(136):387-96.
21. Eduardo R, Valdez OÑA. FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA OBTENCIÓN DE CARBÓN ACTIVADO , A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR DE IABSA EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA [Internet]. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO; 2017. Disponible en: <https://dicyt.uajms.edu.bo/investigacion/index.php/quimica/article/view/246/217>

22. Kakom SM, Abdelmonem NM, Ismail IM, Refaat AA. Activated Carbon from Sugarcane Bagasse Pyrolysis for Heavy Metals Adsorption. *Sugar Tech* [Internet]. 2022;25(3):619-29. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01214-3>
23. Prieto García JO, Gehan Geulamussein N, Pérez Leiva A, Martínez Albelo E, Enríquez García M. Adsorción de Cadmio desde soluciones acuosas en carbón activado de bagazo de caña de azúcar variedad Roxa. *Cent Azúcar* [Internet]. 2020;47(1):90-9. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612020000100090
24. ASTM. Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon 1. *ASTM Int* [Internet]. 2006;94(Reapproved):1-5. Disponible en: <http://compass.astm.org/acces.bibl.ulaval.ca/download/D4607.6656.pdf>
25. Saka C. BET, TG-DTG, FT-IR, SEM, iodine number analysis and preparation of activated carbon from acorn shell by chemical activation with ZnCl₂. *J Anal Appl Pyrolysis* [Internet]. 2012;95:21-4. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2011.12.020>
26. Moral-Rodríguez AI, Leyva-Ramos R, Ania CO, Ocampo-Pérez R, Isaacs-Páez ED, Carrales-Alvarado DH, et al. Tailoring the textural properties of an activated carbon for enhancing its adsorption capacity towards diclofenac from aqueous solution. *Environ Sci Pollut Res*. 2019;26(6):6141-52.
27. Abo El Naga AO, El Saied M, Shaban SA, El Kady FY. Fast removal of diclofenac sodium from aqueous solution using sugar cane bagasse-derived activated carbon. *J Mol Liq* [Internet]. 2019;285:9-19. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.04.062>
28. Lonappan L, Rouissi T, Kaur Brar S, Verma M, Surampalli RY. An insight into the adsorption of diclofenac on different biochars: Mechanisms, surface chemistry, and thermodynamics. *Bioresour Technol* [Internet]. 2018;249:386-94. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.10.039>
29. Moussavi G, Alahabadi A, Yaghmaeian K, Eskandari M. Preparation, characterization and adsorption potential of the NH₄Cl-induced activated carbon for the removal of amoxicillin antibiotic from water. *Chem Eng J* [Internet]. 2013;217:119-28. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2012.11.069>