





Carbón Activado obtenido de subproductos de cocina utilizado como adsorbente de naproxeno

Activated carbon obtained from kitchen by-products used as a naproxen adsorbent

F. Yañez Portillo , V. García Hernández , A. Castañeda Ovando , Yari Jagüey Hernández , D. Bahena Uribe ,
A. Trujillo Estrada ^{a,c,*}

^a Área Académica de Química, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

^b Área Académica de Ciencia de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

^c Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, Investigadores por México, 03940, Ciudad de México, México.

^d Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, 42660, Tepatepec, Hidalgo, México.

^e Departamento de Investigación y Estudios Multidisciplinarios, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. CINESTAV- Zacatenco, 07360, Ciudad de México, México.

Resumen

En este trabajo se realizó la caracterización de un material que es obtenido de subproductos orgánicos de cocina, sinterizados a 600°C; se hace por medio de MEB y DRX, lo que nos muestra que se obtiene un material poroso con capacidad de adsorción debido a los carbonos activos encontrados, además, se utiliza para el retiro del contaminante emergente como es el naproxeno en efluentes. Los resultados de análisis con espectroscopía de absorción en rangos de longitud de onda UV-Vis (Ultra violeta-visible) indican que el material retiró 99.9% del naproxeno contenido. Además, se utilizan 2 modelos de isotermas de adsorción Langmuir y Freundlich.

Palabras Clave: Contaminantes farmacéuticos, adsorción, isotermas, naproxeno.

Abstract

In this work, the characterization of a porous material obtained from organic kitchen waste, sintered at 600 °C, is carried out by means of SEM and XRD, which shows us that a porous material with adsorption capacity is obtained due to the active carbons found. In addition, it is used for the removal of the emerging contaminant such as naproxen in effluents. The results of analysis with absorption spectroscopy in UV-Vis (Ultraviolet-visible) wavelength ranges indicate that the material removed 99% of the naproxen contained. In addition, two Langmuir and Freundlich adsorption isotherm models are used.

Keywords: Pharmaceutical contaminants, adsorption, isotherms, naproxen.

1. Introducción

El naproxeno o naproxeno sódico es un medicamento de uso humano que se emplea como antiinflamatorio no esteroide alivia dolores y molestias que van de leves a moderados, además disminuye la hinchazón y aligera los síntomas de la artritis reumatoide, osteoartritis, episodios agudos de gota, espondilitis anquilosante, dismenorrea primaria, crisis agudas de migraña y tratamiento sintomático de la menorragia primaria así como secundaria asociada a un dispositivo

intrauterino (FICHA TECNICA De Medicamentos y Productos Sanitarios, A. E. (s. f.) CIMA, 2024).

Todos tenemos en casa una caja o frasco de pastillas de naproxeno, que están caducas o próximas a caducarse, ya que esporádicamente las utilizamos para algún síntoma como los que se han descrito anteriormente, sin embargo, al estar caducas ya no es posible ingerirlas y nos deshacemos de ellas tirándolas al bote de basura o aventándolas en la tasa del baño; por falta de conocimiento o de tiempo no es posible que todas ellas vayan hasta un centro de desechos farmacéuticos, y van a

*Autor para la correspondencia: ariadnat@gmail.com

Correo electrónico: ya424597@uaeh.edu.mx (Fabiola Yañez-Portillo), veronica_garcia@uaeh.edu.mx (Verónica García-Hernández), veronica_garcia@uaeh.edu.mx (Araceli Castañeda-Ovando), yari_jaguey@uaeh.edu.mx (Yari Jagüey-Hernández), d.bahena.u@gmail.com (Daniel Bahena-Uribe), ariadnat@gmail.com (Ariadna Trujillo-Estrada).

parar a los tiraderos y/o ríos que, se contaminan con este y muchos más fármacos.

El tratamiento de aguas residuales contaminadas con compuestos farmacéuticos (CF) es un desafío ambiental y de 2025 efectos perjudiciales en el medio ambiente acuático y en la salud humana, incluso en concentraciones muy bajas (Torres Cubillos, 2019).

La industria farmacéutica genera residuos que, al no ser tratados adecuadamente, pueden exhibir efectos mutagénicos, carcinogénicos y teratogénicos, lo que subraya la necesidad de un saneamiento eficiente (Torres Cubillos, 2019).

La selección de un proceso de tratamiento eficaz es crucial y se debe basar en el conocimiento de las características de las aguas residuales para una elección exitosa (Shah & Shah, 2020).

Entre las tecnologías de tratamiento disponibles, la adsorción por medio de carbón activado CA se ha posicionado como una de las alternativas más prometedoras para la eliminación de compuestos orgánicos de las aguas residuales.

El carbón activado (CA) es un material carbonáceo ampliamente utilizado en este proceso debido a su alta eficiencia, bajo costo y simplicidad de aplicación. Los estudios han demostrado su capacidad para eliminar diversos fármacos, como el ciprofloxacino (Torres-Pérez et al., 2021), el ibuprofeno (Herrera Salazar & Sarzosa Tipanluisa, 2022) y la carbamazepina (Décima-Marzeddu, et al. 2021). La versatilidad del carbón activado ha impulsado la investigación en el desarrollo de materiales a partir de diferentes precursores, incluyendo lodos biológicos de plantas de tratamiento de aguas residuales, demostrando la posibilidad de convertir residuos problemáticos en adsorbentes de alta calidad (Streit et al., 2019).

La investigación en este campo avanza hacia la mejora de las propiedades del carbón activado CA, como la incorporación de nanopartículas magnéticas para facilitar su separación del agua tratada, evitando así procesos de filtración o centrifugación costosos e ineficientes (Rocha et al., 2020). Además, se han explorado materiales alternativos como el biochar y el carbón de neumáticos, demostrando su potencial para la adsorción de fármacos en soluciones acuosas (Feizi, F., Sarmah, A. K., & Rangsvieb, R., 2021; Décima-Marzeddu, 2021). Estos avances no solo demuestran la viabilidad técnica y económica del uso de carbones activados CA's, sino que también contribuyen a la circularidad en el tratamiento del agua al aprovechar materiales residuales (García, 2024; Alcántara, 2020).

2. Metodología

2.1. Obtención del CA

Se obtuvieron subproductos de cocina doméstica o de comercio que se utilizó como materia prima. Se recolectaron desperdicios de frutas y vegetales tales como: cáscaras plátano (*Musa* sp.), limón (*Citrus limon*), naranja (*Citrus sinensis*), corazones de manzana (*Golden Delicious*), calabazas (*Cucurbita* sp), semillas grandes de fruto como las de mango (*Mangifera* sp.) y aguacate (*Persea americana*). Así como tallos de espinaca (*Spinacia oleracea*), apio (*Apium graveolens*); y también restos de origen animal como los huesos del ave de gallina (*Gallus gallus*).

Toda la materia prima se picó y homogeneizó de forma mecánica con un dispositivo de aspas (licuadora), para obtener una sola masa, aproximadamente 150 gramos; se introdujo dentro de un vial metálico de acero AISI 314 con las siguientes dimensiones: diámetro 5 cm y de alto 7 cm, se cerró herméticamente.

Se introdujo el vial en una mufla Thermolyne, y se elevó la temperatura de 600 °C, por un tiempo de 30 minutos, posteriormente se apagó la mufla y se dejó enfriar 12 horas mínimo. El material carbonizado (carbón activado CA) obtenido a partir de dicho proceso, es caracterizado por la presencia de enlaces de carbono libres, que son reactivos y proporcionan propiedades de adsorción del material (Trujillo 2021) y su aplicación en la adsorción de contaminantes de naproxeno en soluciones acuosas.

2.2. Preparación de columnas filtro

El carbón activado CA se muele en un mortero, y se tamiza a un tamaño de partícula de 0.250 mm.

Las columnas se elaboraron de 5 ml de capacidad, con papel filtro Whatman no. 42 por duplicado, este se colocó en el fondo para evitar la salida del carbón activado CA, las columnas se hicieron por triplicado.

El material se preparó en 3 columnas de filtración y se le añadió una solución de naproxeno, con la finalidad de que llevara a cabo el proceso de adsorción de los iones contaminantes en solución.

2.3. Preparación de solución contaminada con naproxeno

La solución sintética de naproxeno, se elaboró como sigue: utilizamos comprimidos de Naproxeno sódico 550 mg, por un proceso de molienda en un mortero de ágata se procesaron 4 tabletas. Se tamizó en malla 270 MESH, obteniendo una granulometría de 0.053 mm, se pesan 0.055g de naproxeno y, en un matraz aforado se vierte el material pesado, se va agregando agua desionizada hasta diluirlo, una vez que esto se logra, se afora a 500 ml, y se obtiene una solución de 100 ppm de naproxeno.

Esta solución sintética de naproxeno se vertió en las 3 columnas preparadas en el paso anterior, de manera pausada a una velocidad de 1 ml cada 5 minutos por para no derramar material ni solución, una vez que la solución filtrada salga por la parte inferior, se recolecta cada 5 ml posterior a este procedimiento se somete a análisis de UV Vis realizado con un espectrofotómetro visible modelo VE-5000V marca Velab con un rango de longitud de onda de 200-900nm para medir la absorbancia de las soluciones (los primeros 5 ml de la solución sintética de naproxeno está en contacto con el material aproximadamente 120 minutos mientras que las soluciones a continuación tardan en solo 30 minutos en contacto con el material adsorbente).

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización del CA

El análisis de DRX que se muestra en la figura 1 es para el material que es obtenido de subproductos orgánicos de cocina,

se obtiene la señal en la forma de una media luna desde antes de los 5° y hasta aproximadamente los 34° en 2 Theta, característico de materiales amorfos.

Es decir, tenemos una mezcla de feldespatos o aluminosilicatos que se forman cuando la materia prima se somete a termo destrucción (Trujillo 2021) de Ca, Mg, Na y K, ya que cada uno de estos componentes que conforman este material poroso incluyendo el C en todos los sitios activos sirven en el proceso de adsorción, ya que están inmersos en la matriz del material.

En la figura 2 se muestra una micrografía del material obtenido(a) el C todos los sitios activos aparece presente en la mayor parte de la superficie observada, así como los mapeos del mismo en los cuales se aprecian los elementos mencionados en los análisis DRX de la figura 1, y estos son Ca, Mg, Na y K en la figura 2 (b,c,d,e y f) respectivamente.

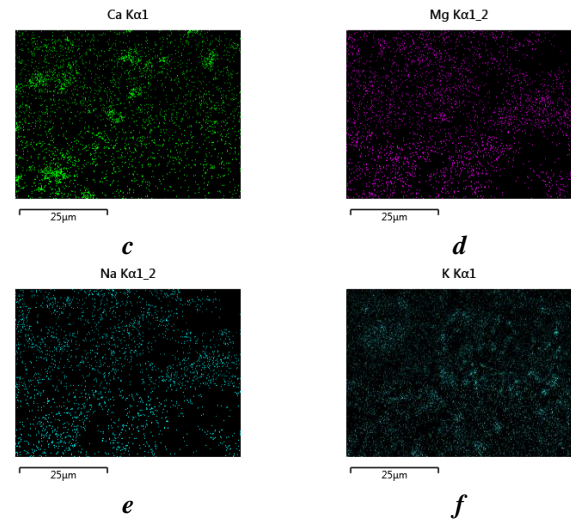


Figura 2. a) Micrografía CA 600°C y mapeo de elementos en el material; b) C, c) Ca, d) Mg, e) Na y f) K.

3.2. Caracterización de soluciones filtradas, análisis UV VIS

Se obtienen las soluciones filtradas de cada columna de carbón activado CA preparada, los resultados del procesamiento de datos en longitud de onda de 262 nm (Mora, 2025) se observan en la figura 3, en la que se contempla 3 señales cada una perteneciente a las 3 columnas preparadas, los mililitros vertidos (eje de las x) de la solución sintética de naproxeno (200ppm) con la absorción en una λ de 262 nm en unidades arbitrarias; mientras que la tabla 1 muestra el porcentaje de naproxeno que se quedó atrapado en el material, aunque los porcentajes al principio son muy bajos este va aumentando a medida que se vierte más solución hasta obtener un máximo de 94.21% en la segunda columna en los 40 ml de solución vertida.

En la figura 4 se presentan los datos con las isothermas de adsorción que se procesaron con los datos de absorción en una λ de 262 nm, observando que ambas isothermas se adaptan de forma excelente ya que ambas están cerca de la unidad.

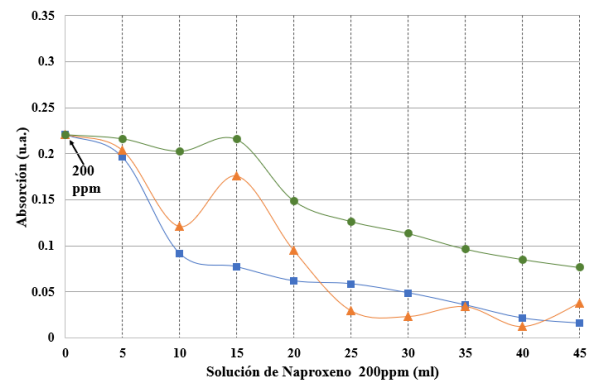


Figura 3. Absorción en λ de 262 nm de una solución sintética de naproxeno vertida en cada columna.

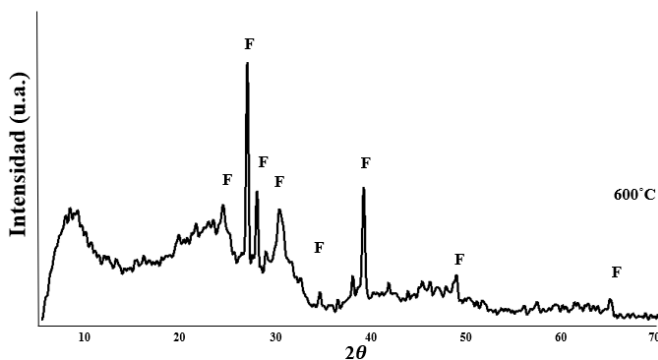


Figura 1. DRX material obtenido de subproductos orgánicos de cocina.

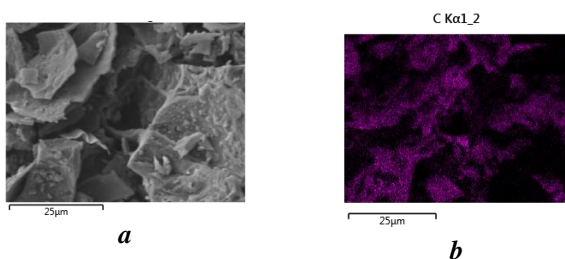


Tabla 1. Porcentaje de naproxeno adsorbido por el material en cada columna.

Solución (ml)	Absorción (%)		
	P1	P2	P3
5	11.07	7.68	1.98
10	58.41	45.13	8.16
15	65.02	20.37	2.31
20	71.95	56.87	32.51
25	73.38	86.42	42.70
30	77.84	89.30	48.59
35	83.80	84.41	56.31
40	90.28	94.21	61.42
45	92.78	82.70	65.36

4. Conclusiones

Los análisis de UV VIS muestran que material carbón activado CA obtenido a 600°C es un buen material adsorbente de naproxeno, ya que queda atrapado en la superficie del material. Además, utilizando los modelos teóricos de isothermas

de adsorción de Langmuir y Freundlich se comprueba que el material es un excelente adsorbente.

Los análisis de mapeos dan como resultado que el material contiene carbono en toda la superficie analizada y al incluir los demás elementos forman feldespatos o aluminosilicatos que sirven para el intercambio iónico y coadyuvan a la limpieza del agua reteniendo el naproxeno.

Es un filtro que se elabora a baja temperatura, con materia prima de reciclaje, y fácil de elaborar, muy eficaz en la adsorción de naproxeno.

Es caracterizado por la presencia de enlaces de carbono libres, que son reactivos y proporcionan propiedades de adsorción del material y su aplicación en la adsorción de naproxeno en soluciones acuosas.

5. Cálculos matemáticos

El análisis de los datos de adsorción se calcularon mediante las isotermas Langmuir y Freundlich, la isoterma Langmuir es un modelo teórico válido para la adsorción en una monocapa sobre una superficie completamente homogénea con un número finito de sitios idénticos y específicos de adsorción y con una interacción despreciable entre las moléculas y lo representa la “(1)” de Langmuir; mientras que el modelo de Freundlich es una ecuación empírica que no asume homogeneidad en la energía de los sitios en la superficie y sin límites de carga máxima de adsorción, y muestra una consistencia de una distribución exponencial de centros activos característicos de una superficie heterogénea, representada con la “(2)”.

$$q_t = (C_0 - C_1) \frac{V}{W} \quad (1)$$

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

En la figura 3 se observa la gráfica para las isotermas de adsorción, cada color representa una isoterma diferente, observando que ambas isotermas se adaptan de forma excelente, dejando ver que en Langmuir llega a la unidad mientras que Freundlich dos de las muestras llegan a la unidad, es decir que el sistema del material poroso funciona como adsorbente.

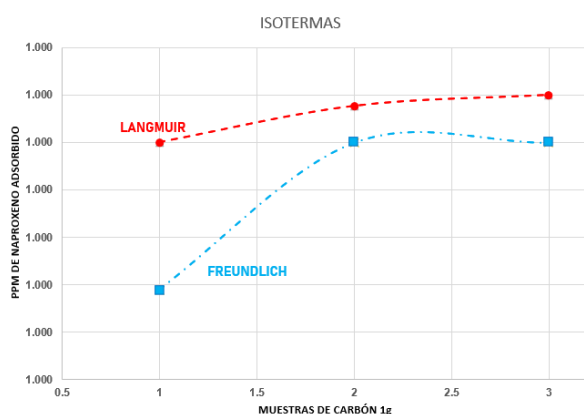


Figura 4. Isotermas de adsorción Langmuir y Freundlich del naproxeno.

Abreviaciones y Acrónimos

CA Carbón Activado

UV VIS Ultra violeta Visible

Agradecimientos

Los autores agradecen a las facilidades que proporcione la UAEH en sus instalaciones, y al CINESTAV por los análisis en sus instalaciones.

6. Referencias

- Décima, M. A., Marzeddu, S., Barchiesi, M., Di Marcantonio, C., Chiavola, A., & Boni, M. R. (2021). A Review on the Removal of Carbamazepine from Aqueous Solution by Using Activated Carbon and Biochar. *Sustainability*, 13(21), 11760. DOI: 10.3390/su132111760.
- Feizi, F., Sarmah, A. K., & Rangasivakb, R. (2021). Adsorption of pharmaceuticals in a fixed-bed column using tyre-based activated carbon: Experimental investigations and numerical modelling. *Journal of Hazardous Materials*, 417, 126010. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.126010
- FICHA TECNICA De Medicamentos y Productos Sanitarios, A. E. (s. f.). CIMA. FICHA TECNICA NAPROXENO SODICO TAD 550 MG COMPRIMIDOS RECUBIERTOS CON PELICULA EFG. https://cima.aemps.es/cima/dochtml/ft/82949/FT_82949.ht.
- Herrera Salazar, A. M., & Sarzosa Tipanluisa, D. C. (2022). Determinación del tipo de sistema de adsorción óptimo para la remoción del ibuprofeno en aguas residuales farmacéuticas [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional.
- Mora, Carolina P, Tello, Myriam E, & Martínez, Fleming. (2006). Validación de una metodología analítica para la cuantificación de naproxeno en estudios de reparto líquido/líquido mediante espectrofotometría ultravioleta. *Revista Colombiana de Ciencias Químico - Farmacéuticas*, 35(1), 81-105. Retrieved November 11, 2025, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-74182006000100005&lng=en&tlng=es.
- Pascacio Alcántara, K. A. (2020). Reactivación del carbono activado por lavado de ácido [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio Institucional.
- Rocha, L. S., Pereira, D., Sousa, E., Otero, M., Esteves, V. I., & Calisto, V. (2020). Recent advances on the development and application of magnetic activated carbon and char for the removal of pharmaceutical compounds from waters: A review. *Science of the Total Environment*, 718, 137272. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137272.
- Ruperto García, J. L. (2024). Adsorción de Compuestos Farmacéuticos sobre Carbón Activado y Xerogeles de Carbono [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí]. Repositorio Institucional.
- Shah, A., & Shah, M. (2020). Characterisation and bioremediation of wastewater: A review exploring bioremediation as a sustainable technique for pharmaceutical wastewater. *Groundwater for Sustainable Development*, 11, 100383. DOI: 10.1016/j.gsd.2020.100383.
- Streit, A. F. M., Côrtes, L. N., Druzian, S. P., Godinho, M., Collazzo, G. C., Perondi, D., & Dotto, G. L. (2019). Development of high quality activated carbon from biological sludge and its application for dyes removal from aqueous solutions. *Science of the Total Environment*, 660, 277-287. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.033.
- Torres Cubillos, D. D. P. (2019). Procesos desarrollados como sistemas generales o complementarios para el tratamiento de aguas residuales de las industrias farmacéuticas [Tesis de pregrado, Universidad de Pamplona]. Repositorio Institucional.
- Torres-Pérez, J., Santiago-Pérez, V., Carrasco-Urrutia, K. A., Corral-Avitia, A. Y., & Galicia-García, M. (2021). Remoción de Ciprofloxacino con un Medicamento Caduco a base de Carbón Activado. *Artículos del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Celaya*, 13(10).
- Trujillo Estrada, A., Reyes Cruz, V. E., & Reyes, Q. L. (2021). Material cerámico poroso obtenido de restos orgánicos de cocina, para adsorción de Plomo y Selenio en efluentes contaminados. *Pádi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 9(17), 129–131. DOI: 10.29057/icbi.v9i17.7147.