CONAMA 2026

Adsorción de fármacos analgésicos-antiinflamatorios en mezclas binarias, de aguas residuales, usando biocarbón procedente de biomasa residual

Edita: Fundación Conama

Año: 2026

Este documento está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Personas autoras de la presente comunicación técnica

Autor Principal de la comunicación: María José San José. Catedrática de Universidad. Universidad del País Vasco.

Otros Autores: Raquel López. Investigadora predoctoral. Universidad del País Vasco.

Sonia Alvarez. Profesora Titular de Universidad. Universidad del País Vasco.

Índice

1. Introducción 1

2. Metodología 1

3. Resultados 3

4. Conclusiones 5

5. Bibliografía 6

1. Introducción

En las aguas residuales se pueden encontrar contaminantes en pequeñas concentraciones denominados compuestos emergentes, entre los que se encuentran los productos farmacéuticos, fundamentalmente por la excreción de fármacos, parcialmente metabolizados, de seres humanos y animales, como por los residuos de la Industria farmacéutica y de hospitales. Estos compuestos pueden presentar efectos perjudiciales para la vida acuática, así como para la salud humana y animal [1].

Entre los diferentes procesos de eliminación de estos contaminantes, la adsorción se considera un proceso eficaz y respetuoso con el Medio Ambiente. La adsorción de compuestos farmacéuticos en el agua puede tener alta en el tratamiento de fármacos individuales. Cabe decir, que en la bibliografía existe una laguna de estudios de adsorción de mezclas de fármacos.

El objetivo de este trabajo consistió en la determinación de la adsorción de disoluciones acuosas de cuatro fármacos individuales analgésicos y antiinflamatorios: nolotil, NOL; aspirina, ASP; ibuprofeno, IBU; y enantyum, ENA, y de tres mezclas binarias de los cuatro fármacos: NOL/ASP, NOL/IBU, NOL/ENA, usando un adsorbente usado, no convencional y de bajo coste. Se determinó experimentalmente la eficiencia de adsorción del biocarbón obtenido a partir de biomasa residual de industria agroalimentaria, hueso de aceituna, activado química y térmicamente [2].

2. Metodología

2.1. Adsorbente para la eliminación de los fármacos

El adsorbente usado en la disminución de concentración de los fármacos se preparó a partir de biomasa residual, hueso de aceituna, siguiendo el procedimiento publicado por San José et al. [2]. Para la activación del adsorbente se utilizó ácido fosfórico, y posterior carbonización a alta temperatura. En la Figura 1 se muestra el esquema del proceso de preparación del adsorbente.



Figura 1. Proceso de activación del adsorbente.

La caracterización del adsorbente activado se realizó por espectroscopías FTIR y Raman. Las propiedades texturales se determinaron mediante isotermas de N_2. La morfología superficial del biocarbón se obtuvo mediante microscopía electrónica de barrido, SEM, y la estructura se evaluó mediante difractometría de Rayos X.

2.2. Fármacos

Los fármacos analgésicos y antiinflamatorios utilizados han sido: nolotil, NOL; aspirina, ASP; ibuprofeno, IBU; y enantyum, ENA. Las mezclas binarias de los cuatro fármacos han sido: NOL/ASP, NOL/IBU, NOL/ENA.

Los laboratorios farmacéuticos de los fármacos fueron: Normon para el NOL; Bayer para ASP: Stada para IBU, y Menarini para ENA.

Se prepararon disoluciones de cada uno de los cuatro fármacos, de concentración 50 mg/l, y de las tres mezclas binarias de fármacos, a partir de disoluciones de 50 mg/L de cada fármaco. El proceso de adsorción se realizó, utilizando entre 1 y 5 g/L de adsorbente.

2.3. Adsorción de fármacos y mezclas de fármacos

Durante el proceso de adsorción, se tomaron muestras de las disoluciones a temperatura ambiente, 20 ± 1 °C, manteniendo agitación constante de 500 rpm. Las muestras se obtuvieron a intervalos de tiempo regulares durante cuatro horas, siendo el tiempo infinito 24 horas, registrándose el pH cada 30 min. La centrifugación se realizó con la centrífuga Eppendorf 5804 R). El proceso de adsorción de fármacos y mezclas se muestra en la Figura 2.

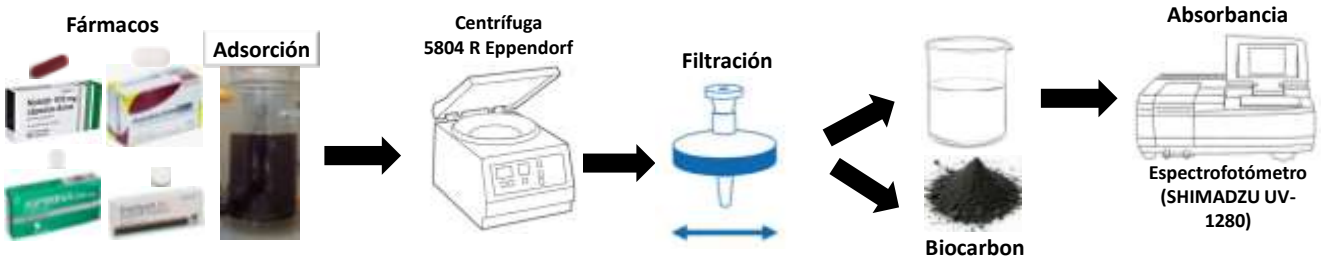


Figura 2. Adsorción de fármacos y mezclas.

La concentración de los fármacos se determinó a partir de la medida de la absorbancia, por espectrofotometría UV-VIS mediante el espectrofotómetro Shimadzu UV-1280. Las curvas de calibración se obtuvieron a partir de disoluciones de distintas concentraciones.

En las disoluciones de las mezclas binarias de fármacos, la concentración se cuantificó a partir de la absorbancia, según el método de Vierordt [3]. Este método se basa en la Ley de Lambert-Beer que dice que la absorbancia de una mezcla a una longitud de onda se obtiene a partir de la suma de las absorbancias de cada componente, el resultado se obtiene usando un sistema de dos ecuaciones simultáneas, ecuaciones (1) y (2)

$$A_1 = a_{11}\, C_1 + a_{21}\, C_2 \quad (1)$$

$$A_2 = a_{12}\, C_1 + a_{22}\, C_2 \quad (2)$$

donde A_1 y A_2 son las absortividades de la mezcla a las longitudes de onda λ_1 y λ_2, que corresponden a los máximos de absorción de las sustancias puras; a_{11} y a_{12} son la absortividades de la sustancia 1 a las longitudes de onda λ_1 y λ_2; a_{21} y a_{22}, son la absortividades de la sustancia 2 a las longitudes de onda λ_1 y λ_2; C_1 y C_2 son las concentraciones de los componentes 1 y 2 en la mezcla.

3. Resultados

3.1. Biocarbón

Para determinar las características del adsorbente activado, se ha realizado un proceso de adsorción-desorción de N_2 del adsorbente. En la Figura 3 se muestra la isoterma de adsorción, Figura 3a, y en la Figura 3b la distribución del tamaño de poro determinada según la teoría del funcional de la densidad no local (NLDFT). Como resultado, se ha obtenido que el bioadsorbente presenta una alta área BET (1535 m^2/g), un 66% superior al del carbón activo comercial (921 m^2/g), un tamaño medio de poro de 2,2264 nm y un volumen total de poros de 0,854342 cm^3/g. Los ensayos del adsorbente mediante técnicas espectroscópicas FTIR y Raman permiten deducir que el adsorbente presenta estructura aromática y grupos funcionales superficiales oxigenados, además de una alta porosidad, y desorden estructural. Cabe destacar que el ácido fosfórico le confiere la gran capacidad de adsorción.

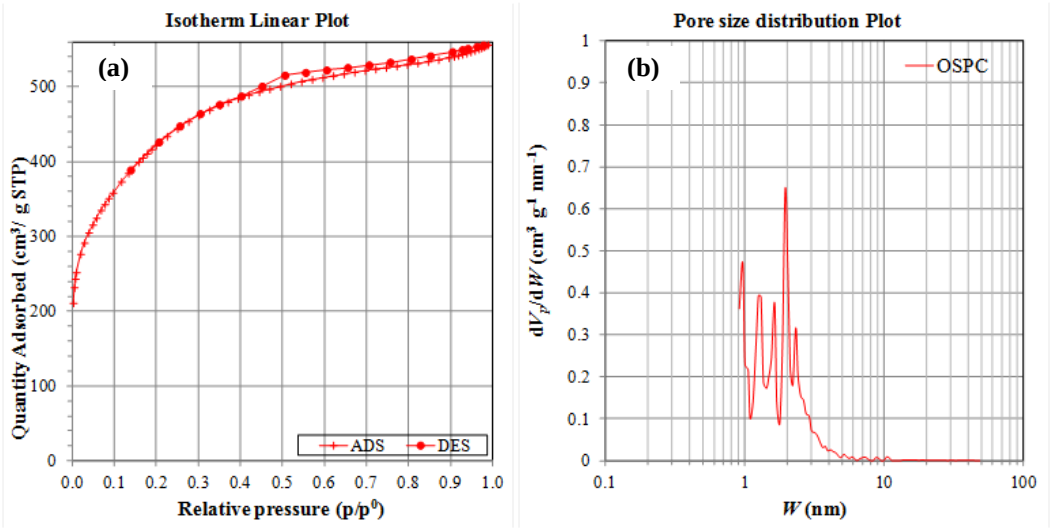


Figura 3. (a) Isoterma de adsorción-desorción de N_2 del adsorbente. (b) Distribución de tamaño de poro del adsorbente.

3.2. Adsorción

La capacidad de adsorción, q, y la eficiencia de adsorción, η, se han calculado a partir de la concentración inicial del fármaco y de la concentración a lo largo del tiempo del proceso de adsorción, ecuaciones (3) y (4).

$$q = V \times (C_o - C)/S \quad (3)$$

$$\eta = (C_o - C)/C_o \times 100 \quad (4)$$

donde q representa la capacidad de adsorción (mg g^{-1}), V es el volumen de la solución (mL), C_0 es la concentración inicial del adsorbato (mg L^{-1}), C es la concentración del adsorbato a tiempo t (mg L^{-1}), S es la masa del adsorbente (g) y η es la eficiencia de adsorción (%).

Para analizar el comportamiento del biocarbón obtenido, se realizó una prueba de concepto que

consistió en llevar a cabo la adsorción de disoluciones de dos colorantes de gran uso en la Industria textil y en medicina, azul de metileno y naranja de metilo [2]. La Figura 4 muestra la variación de color de disoluciones de azul de metileno y naranja de metilo (con una concentración inicial de 20 mg/L), durante el proceso de adsorción con el biocarbón de hueso de oliva activado. Se observa que el color se degrada desde azul intenso hasta incoloro, en el caso del azul de metileno y desde naranja intenso a incoloro, en el caso del naranja de metilo. Estas decoloraciones evidencian la alta capacidad de adsorción para ambos colorantes, con eficiencias próximas al 100% en ambos [2].



(**a**) (**b**)

Figura 4. Evolución del color de las muestras durante el proceso de adsorción. (a) Azul de metileno. (b) Naranja de metilo.

Respecto a la disminución de la concentración de los fármacos en disoluciones de cada uno de ellos, en la Figura 5 se muestra la evolución con el tiempo de la capacidad media de adsorción y de la eficiencia de adsorción de los cuatro fármacos en disoluciones individuales, usando el biocarbón obtenido a partir de biomasa residual de huesos de aceituna. Como se observa en la Figura 5, la capacidad de adsorción del biocarbón aumenta con el tiempo, para cada uno de los cuatro fármacos, ibuprofeno, IBU; aspirina, ASP; enantyum, ENA; y nolotil, NOL. La máxima capacidad de adsorción alcanzada ha sido 10 mg/g, para IBU, ASP y ENA. Sin embargo, NOL presentó una capacidad máxima de adsorción alcanzada cercana 9 mg/g. En cuanto al porcentaje de eliminación de fármaco ha sido próximo al 100% para IBU, ASP y ENA, siendo para NOL superior al 80%.

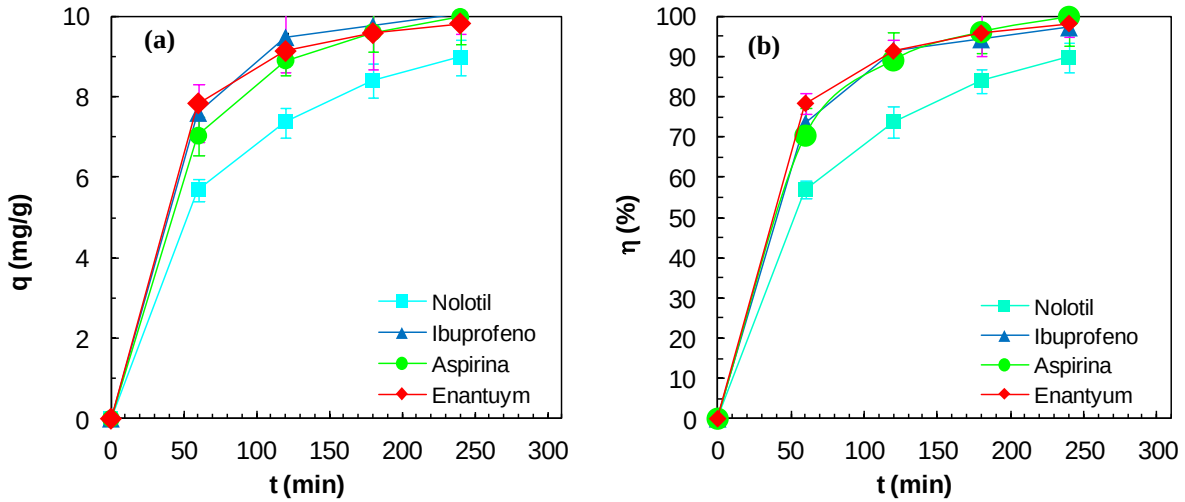


Figura 5. Evolución con el tiempo del comportamiento de adsorción del adsorbente de los fármacos individuales. C_o = 50 mg/L. (a) Capacidad de adsorción del adsorbente, (b) Eficiencia de adsorción del adsorbente.

En lo que respecta a la adsorción de las tres mezclas binarias de los fármacos NOL/ASP, NOL/IBU, NOL/ENA, se utilizó el biocarbón en concentración de 1 g/L. En la Figura 6 se muestran

los porcentajes de eliminación de cada componente de cada una de las tres mezclas binarias. Como se observa, en las tres mezclas la mayor eficiencia de eliminación correspondió al ENA, 97%, de la mezcla NOL/ENA. NOL se eliminó en un porcentaje similar, del orden del 41-42%, en la mezcla NOL/ASP y en la mezcla NOL/IBU. Sin embargo, en la mezcla NOL/ENA se obtuvo prácticamente la mitad de eficiencia de eliminación, 23%.

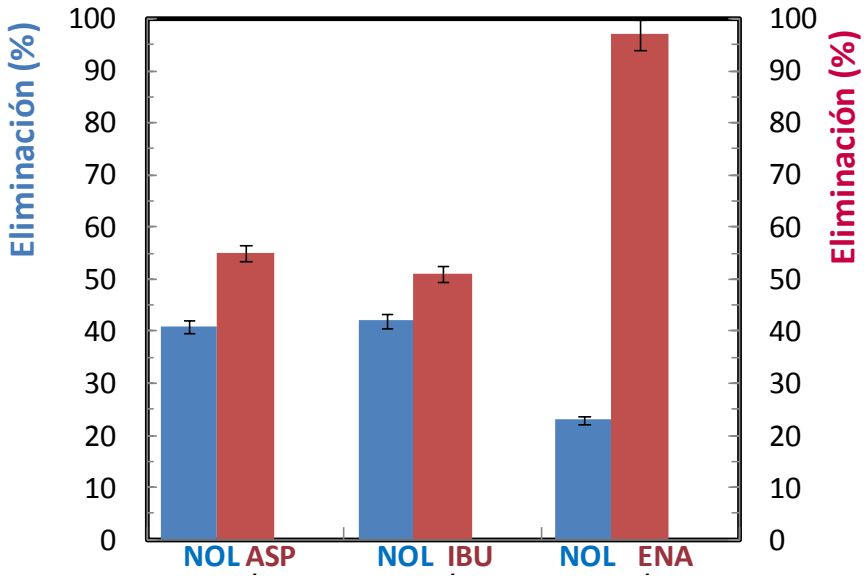


Figura 6. Eficiencia de adsorción máxima del biocarbón de cada fármaco en cada una de las mezclas binarias.

4. Conclusiones

El bioadsorbente preparado a partir de biomasa lignocelulósica residual de la Industria agroalimentaria, hueso de aceituna, activado con ácido fosfórico, presenta alta área BET, un 66% superior al del carbón activo comercial, y un volumen total de poros significativo. El biocarbón presenta estructura aromática y grupos funcionales superficiales oxigenados, alta porosidad, y gran desorden estructural, con una alta capacidad de adsorción.

Se ha obtenido un rendimiento de eliminación satisfactorio para los cuatro fármacos, IBU, ASP y ENA, y NOL, y en las tres mezclas binarias, NOL/IBU, NOL/ASP, NOL/ENA. La eficiencia de adsorción del adsorbente fue próxima al 100% para los fármacos IBU, ASP y ENA, y para NOL del 90%.

Respecto a la adsorción en las tres mezclas binarias de fármacos, la mayor eficiencia de eliminación correspondió a la mezcla NOL/ENA, siendo la eliminación del ENA cercana al 100%. En las mezclas NOL/ASP y NOL/IBU la disminución de concentración del ASP de la mezcla NOL/ASP y el IBU de la mezcla NOL/IBU fue cercana al 50%, mientras que la disminución del NOL fue menor, del orden del 40%, pero similar para ambas mezclas.

En conclusión, se puede considerar la aplicación de este biocarbón, a gran escala, en las plantas de tratamiento de aguas residuales, contribuyendo al desarrollo sostenible, y a alcanzar el objetivo medioambiental de residuo cero, en línea con la economía circular [4].

Agradecimientos. Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i PID2021-126331OB-I00 financiado por MCIU/AEI/10.13039/501100011033/ y por FEDER Una manera de hacer Europa.

5. Bibliografía

[1] Lin, J.Y., Zhang, Y., Bian, Y., Zhang, Y.X., Du, R.Z., Li, M., Tan, Y., & Feng, X.S. (2023). Non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) in the environment: Recent updates on the occurrence, fate, hazards and removal technologies. *Science of the Total Environment,* 904, 166897.

[2] San José, M.J., López, R., Alvarez, S., & Peñas, F.J. (2026). Bioadsorbents for the removal of pollutants in wastewaters. Adsorption kinetics, validation test using methylene blue and methyl orange. *Applied Sciences*, 16(3), 1512.

[3] Vyas, A.J., Jha, S.A., Patel, A.B., Patel, A.I., Shah, S.R., & Sheth, D.B. (2022). Review on simultaneous equation method (Vierodt's Method). *Asian Journal of Pharmaceutical Analysis*, 12, 149–156.

[4] Comisión Europea. (2020). Nuevo Plan de Acción para la Economía Circular (PAEC) por una Europa más limpia y más competitiva. COM/2020/98 final.

CONAMA 2026