

USO DEL ACEITE DE SOYA EN MEMBRANAS LÍQUIDAS EMULSIONADAS PARA LA RECUPERACIÓN DE CLORFENIRAMINA.

Cesar Roberto Rocha Romo ^a, Mariana Alonso Ramírez ^a, Fabiola Valeria Arias

Ruiz ^a, Teresa Alejandra Razo Lazcano ^{a,*}

^a Departamento de Química, sede Pueblito de Rocha, División de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Guanajuato, Cerro de la Venada s/N, C.P. 36040, Guanajuato, Guanajuato, México. teresarazo@ugto.mx^{1*}

Resumen

La clorfeniramina (CPM), antihistamínico de uso común, se ha detectado en cuerpos de agua (3–923 ng/L), afectando la salud de los ecosistemas. Las Membranas Líquidas Emulsionadas (MLE) son una opción eficiente para su eliminación, aunque suelen emplear diluyentes derivados del petróleo, tóxicos y poco sostenibles. Por ello, se evaluó el aceite de soya como medio de recuperación de CPM mediante MLE, buscando un método más verde. Las condiciones óptimas fueron 0.4% de surfactante y 15,000 rpm, logrando alta eficiencia y estabilidad. El aceite de soya se perfila como una alternativa sostenible, con potencial para perfeccionar la técnica con materiales más ecológicos.

Palabras Clave: Membranas Líquidas Emulsionadas (MLE); clorfeniramina; aceite de soya; tratamiento de aguas residuales.

USE OF SOYBEAN OIL IN EMULSION LIQUID MEMBRANE TO CHLORPHENIRAMINE RECOVERY

Abstract

Chlorpheniramine (CPM), a commonly used antihistamine, has been detected in water bodies (3–923 ng/L), affecting the health of ecosystems. Emulsified Liquid Membranes (ELM) are an efficient option for its removal, although they often use petroleum-derived diluents, which are toxic and unsustainable. Therefore, soybean oil was evaluated as a means of recovering CPM using ELM, seeking a greener method. The optimal conditions were 0.4% surfactant and 15,000 rpm, achieving high efficiency and stability. Soybean oil is emerging as a sustainable alternative, with the potential to improve the technique with more environmentally friendly materials.

Keywords: Emulsified Liquid Membranes (ELM); chlorphenamine; soybean oil; wastewater treatment.

1. Introducción

La industrialización y la urbanización aceleradas han resultado en la liberación generalizada de contaminantes emergentes (CE) en los ecosistemas acuáticos. Esta situación representa una amenaza creciente para la seguridad hídrica global. La contaminación ambiental afecta cada parte de la biosfera terrestre y la contaminación del agua puede tener consecuencias dramáticas para la salud humana y los ecosistemas, especialmente en el caso del agua reciclada que contiene contaminantes e impurezas (Ethiraj et al., 2024).

Estos CE, que incluyen contaminantes orgánicos persistentes (COP), productos farmacéuticos y de cuidado personal (PFCP), microplásticos y nanomateriales, exhiben características como persistencia ambiental, bioacumulación y biomagnificación (Guo et al., 2025). En años recientes, la contaminación del agua se ha posicionado como un problema de salud pública de criticidad creciente, afectando negativamente tanto el uso del agua urbano como la actividad acuática. Aunado a lo anterior, la presencia de compuestos farmacéuticos en aguas superficiales se ha reportado con una frecuencia cada vez mayor a nivel mundial en

los últimos años. Por ejemplo, se han detectado fármacos de uso común como la clorfeniramina (CPM) en concentraciones que oscilan entre 3 y 923 ng/L en distintos cuerpos de agua (Oyetade et al., 2025).

En este contexto, la clorfeniramina es un fármaco perteneciente a la clase de los antihistamínicos de primera generación, empleado para aliviar los síntomas de reacciones alérgicas potenciadas por la liberación de histamina. Tras la ingestión, el cuerpo humano asimila aproximadamente el 50% de la dosis, mientras que el resto se excreta por vía renal y, a través del sistema de alcantarillado, llega a la red municipal de aguas residuales. Desde allí, es descargada a los cuerpos de agua superficiales, lo que puede alterar los procesos metabólicos de los organismos que residen en ellos (Cavazos-Cuello et al., 2023).

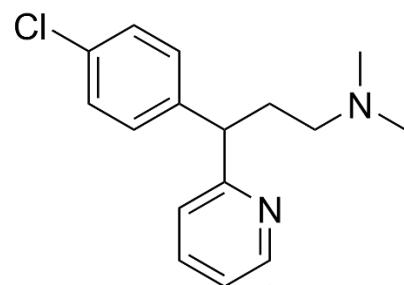


Figura 1. Estructura química de la clorfeniramina

Para mitigar la problemática de los CE, en las últimas dos décadas, se han desarrollado diversos métodos de eliminación, que incluyen diferentes técnicas de separación. Entre estas, las membranas líquidas emulsionadas, han demostrado un gran potencial desde su invención como herramientas eficaces para el tratamiento de diversos residuos industriales (Bahloul et al., 2016).

Las Membranas Líquidas Emulsionadas de tipo agua/aceite/agua (w/o/w) están fundamentalmente compuestas por tres fases: una fase orgánica (FO) y dos fases acuosas, una interna (FAI) y otra externa (FAE). La fase orgánica generalmente se constituye de un diluyente, un extractante y un surfactante. Aunque los derivados del petróleo se han utilizado comúnmente como diluyentes, su toxicidad, inflamabilidad, alto costo y bajos puntos de ebullición son desventajas conocidas. En contraste, los aceites vegetales emergen como una alternativa superior, siendo biodegradables, no volátiles, no tóxicos, renovables y más económicos. Estos aceites han sido empleados eficazmente no solo en la eliminación de compuestos metálicos y orgánicos, sino también para la remoción de derivados farmacéuticos. En esta

línea, el aceite de soya, derivado de las semillas de soya, encuentra diversos usos culinarios, se le atribuyen amplias propiedades medicinales, como actividades antioxidantes y antimicrobianas, además de su capacidad para proteger las membranas celulares de daños e infecciones (Razo-Lazcano et al., 2024).

Con base en las consideraciones previas y la necesidad de soluciones más sostenibles para la remoción de compuestos farmacéuticos de efluentes acuosos, la presente investigación propone una alternativa ecológica. Este estudio se centra en la evaluación de una Membrana Líquida Emulsionada (MLE) que incorpora aceite de soya como diluyente y extractante para la recuperación de clorfeniramina. La metodología experimental abarcó la optimización de la formulación de la MLE para determinar las condiciones óptimas, así como, una evaluación rigurosa de la estabilidad del sistema y la eficiencia de recuperación del fármaco.

2. Materiales y Métodos

2.1. Reactivos

La fase orgánica (FO) empleada en los experimentos se preparó utilizando aceite de soya (Nutrioli®) como diluyente y extractante de origen natural. Para la estabilización de la emulsión, se incorporó Abil EM 90® (Evonik Industries) como surfactante.

Para la fase acuosa interna se utilizó una solución de HCl 0.1 M, mientras que la fase acuosa externa se preparó usando clorfeniramina (CPM, Merck) en una solución de fosfatos (NaH_2PO_4) ajustada a pH 8. Para todas las soluciones preparadas en la experimentación se utilizó agua destilada, estos parámetros se establecieron por Flores y col., (Flores y col., 2024).

2.2. Preparación de las membranas líquidas emulsionadas.

La preparación de las Membranas Líquidas Emulsionadas se realizó mediante el contacto de volúmenes equitativos de la fase orgánica a diferentes concentraciones de surfactante (0.2% - 0.5% m/V) y de la fase acuosa interna.

Se combinaron volúmenes fijos de FAI y FO, y la dispersión de la fase acuosa interna en la

fase orgánica se logró mediante la agitación utilizando un rotor/estator de alta velocidad (T18 digital Ultraturrax®, IKA) durante 10 minutos. Una vez determinada la concentración de emulsión más adecuada para las MLE, se procedió a variar la velocidad de emulsificación (10,000 – 17,000 rpm) y a registrar la temperatura final de la emulsión tras cada preparación. Para poder evaluar la estabilidad de la emulsión se midió la relación que hay entre el volumen de fase orgánica y la fase acuosa interna en función del tiempo.

Posteriormente, una vez formada la emulsión, se pusieron en contacto 10 mL de dicha emulsión con un volumen idéntico de fase acuosa externa (FAE), mediante agitación moderada durante 5 minutos. Concluida la agitación, se llevó a cabo la separación de fases. Posteriormente, se procedió a la ruptura de la emulsión mediante un choque térmico. Finalmente, la emulsión tratada térmicamente fue centrifugada para la posterior recuperación de la fase acuosa interna. Para la evaluación del proceso, se determinó el pH de ambas fases (acuosa externa e interna) antes y después de la extracción, y se cuantificó la concentración de clorfeniramina mediante la técnica de

espectrofotometría UV/Vis (Varian, Cary 50 Scan), a una longitud de onda de 262 nm.

Los porcentajes de extracción (transferencia de masa desde fase acuosa externa hacia fase orgánica), fueron obtenidos mediante la siguiente ecuación:

$$\%E = \frac{[CPM]_{inicial} - [CPM]_{final}}{[CPM]_{inicial}} \times 100$$

Donde:

$\%E$ = porcentaje de extracción.

$[CPM]_{inicial}$ = concentración inicial de la clorfeniramina en fase acuosa externa.

$[CPM]_{final}$ = concentración final de la clorfeniramina en fase acuosa externa.

Finalmente, los porcentajes de recuperación (transferencia de masa desde fase acuosa externa hacia fase acuosa interna) fueron obtenidos mediante la siguiente ecuación:

$$\%R = \frac{[CPM]_{FAI}}{[CPM]_{inicial}} \times 100$$

Donde:

$\%R$ = porcentaje de recuperación.

$[CPM]_{FAI}$ = concentración inicial de la clorfeniramina en fase acuosa interna.

$[CPM]_{inicial}$ = concentración inicial de la clorfeniramina en fase acuosa externa.

3. Discusión de Resultados.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para las pruebas de variación de concentración de surfactante, así como de velocidad de emulsificación.

3.1. Efecto de la concentración de surfactante

Una vez obtenidos los porcentajes de extracción y recuperación se graficaron en la Figura 2.

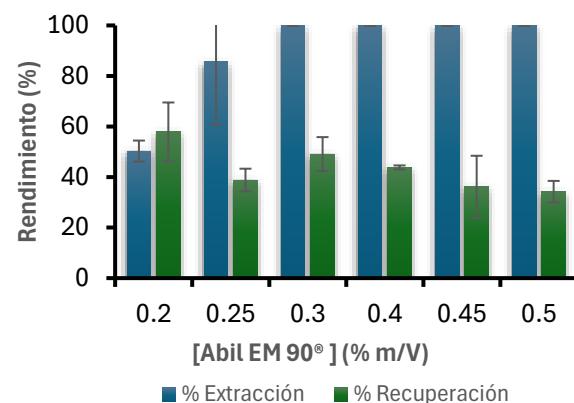


Figura 2. Porcentaje de extracción y recuperación de CPM en función de la concentración de surfactante

Como se muestra en la figura anterior, el porcentaje de extracción aumenta en medida

que la concentración del surfactante también lo hace. No obstante, se observa que a concentraciones 0.2% y 0.25% m/V no se logró una extracción completa, es hasta el punto 0.3% m/V en adelante donde vemos una transferencia total del principio activo hacia la fase orgánica. Esto se relaciona con la estabilidad de la membrana ya que el surfactante tiene como función la reducción de la tensión interfacial logrando obtener una membrana más estable y por consecuencia una mayor transferencia del fármaco de la fase acuosa externa a la fase orgánica. Sin embargo, los porcentajes de recuperación sufren un decaimiento a partir de la concentración 0.3% m/V pues al ir aumentando la cantidad de tensoactivo, la emulsión también adopta una mayor viscosidad lo que probablemente trae como consecuencia la reducción de velocidad de trasferencia de CPM desde la fase orgánica hacia la fase interna (Hernández Ramírez,

2020).

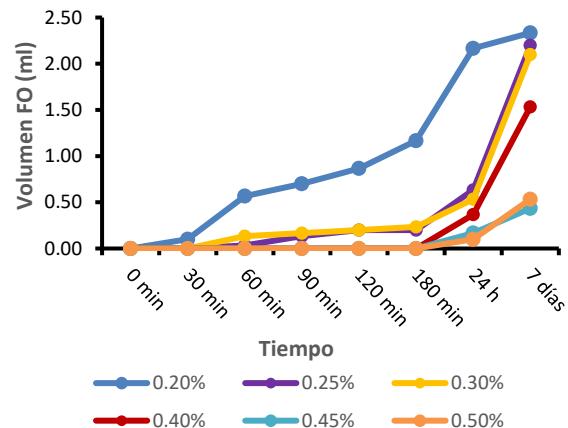


Figura 3. Tiempo promedio de estabilidad de emulsión en función de la concentración de surfactante.

A partir de la *Figura 3*, podemos respaldar una mayor estabilidad a medida que se aumenta la concentración del surfactante, logrando generar una emulsión estable durante 180 minutos (3 h) a concentraciones mayores o iguales a 0.4% m/V de surfactante. Por lo anterior, se decidió que la membrana más adecuada para este sistema es aquella a concentración 0.4% (m/V) de Abil EM 90®, ya que es la que presenta una consistencia adecuada con un porcentaje de extracción y recuperación óptimos.

3.2. Efecto de la velocidad de emulsificación

A continuación, se anexa el gráfico obtenido para el rendimiento de extracción y recuperación.

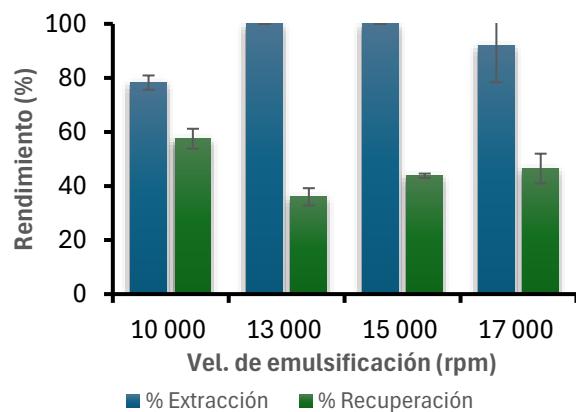


Figura 4. Porcentaje de extracción y recuperación de CPM en función de la velocidad de emulsificación

Habiendo seleccionado la concentración de surfactante adecuada para el sistema (0.4% m/V de Abil EM 90®), se procedió a variar la velocidad de emulsificación en un intervalo de 10,000 a 17,000 rpm. Al ver la *Figura 4* podemos observar cómo la velocidad de emulsificación llega a afectar los porcentajes de extracción y recuperación, pues al incrementarla, además de observar una menor viscosidad de ésta, se espera una disminución del tamaño de partícula, razón por la cual hay un incremento en los porcentajes de extracción de 10,000 a 13,000 rpm manteniéndose hasta 15,000 rpm (Hernández Ramírez, 2020). Por contrario, al someter el sistema a 17,000 rpm, los porcentajes disminuyen debido a un incremento considerable en la temperatura a

consecuencia de la energía mecánica que se convierte en calor lo que provoca una desestabilización de la membrana y por lo tanto una baja eficiencia de la misma (Razo-Lazcano, 2024). En cuanto a los porcentajes de recuperación, existe una tendencia hacia la disminución de éstos al incrementar la velocidad de emulsificación, debido a la inestabilidad generada por el incremento de la temperatura (*Tabla 1*).

Tabla 1. Temperatura promedio en función de la velocidad de emulsificación

Temperatura Promedio	
Vel.	°C
10,000 rpm	36.50
13,000 rpm	37.00
15,000 rpm	39.00
17,000 rpm	44.50

De igual forma, se evaluó la estabilidad de la emulsión en función del tiempo (*Figura 5*), observando que a 15,000 rpm el sistema se mantuvo estable por 180 minutos (3 h). Así pues, se determinó que la membrana formada a una velocidad de 15,000 rpm es la más adecuada para la formación de una emulsión estable, pues permite obtener una extracción completa y una recuperación significativa.

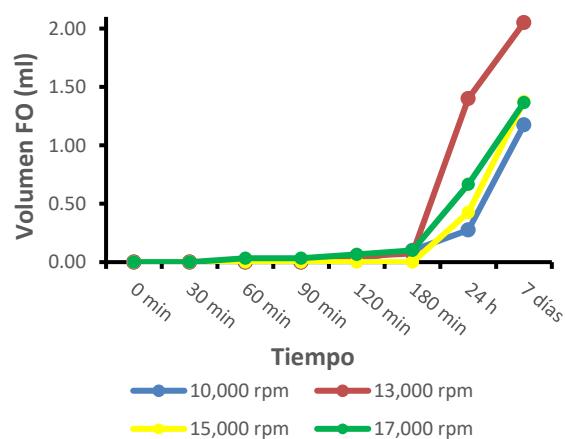


Figura 5. Tiempo promedio de estabilidad de emulsión en función velocidad de emulsificación.

4. Conclusión

Los resultados que se obtuvieron en esta investigación nos confirmaron que el aceite de soya promete ser un medio eficaz para la recuperación de clorfeniramina en soluciones acuosas haciendo uso de la técnica de Membranas Liquidas Emulsionadas. Se

determinó que una concentración de surfactante al 0.4% (m/V) de Abil EM 90® y una velocidad de emulsificación de 15,000 rpm son las condiciones más optimas, favoreciendo un sistema estable con una transferencia de masa eficiente, logrando los más altos rendimientos de extracción y una recuperación significativa para el principio activo en cuestión. Esta metodología demuestra un gran potencial como una alternativa verde para el tratamiento de aguas contaminadas con fármacos, contribuyendo al desarrollo de tecnologías sostenibles a favor del mejoramiento de la calidad del agua y su potencial reutilización en distintos sectores, teniendo así un impacto social y ambiental.

Referencias bibliográficas

Bahloul, L., Bendebane, F., Djenouhat, M., Meradi, H., & Ismail, F. (2016a). Effects and optimization of operating parameters of anionic dye extraction from an aqueous solution using an emulsified liquid membrane: Application of designs of experiments. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 59, 26–32.

<https://doi.org/10.1016/J.JTICE.2015.07.013>

Bahloul, L., Bendebane, F., Djenouhat, M., Meradi, H., & Ismail, F. (2016b). Effects and optimization of operating parameters of anionic dye extraction from an aqueous solution using an emulsified liquid membrane: Application of designs of experiments. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 59, 26–32.
<https://doi.org/10.1016/J.JTICE.2015.07.013>

Cavazos-Cuello, L. A., Dávila-Guzmán, N. E., Botello-González, J., Ocampo-Pérez, R., Leura-Vicencio, A. K., & Salazar Rábago, J. J. (2023). Mechanistic evaluation in the removal of chlorpheniramine and ciprofloxacin on activated carbons. *Environmental Research*, 238, 117196.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2023.117196>

Ethiraj, S., Samuel, M. S., & Indumathi, S. M. (2024). A comprehensive review of the challenges and opportunities in microalgae-based wastewater treatment for eliminating organic, inorganic, and emerging pollutants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 60, 103316.
<https://doi.org/10.1016/J.BCAB.2024.103316>

Flores Núñez, M. E., García Rincón, M., Rocha Romo, C. R., Rodríguez Núñez, F. C.,

González Muñoz, M. del P., & Razo Lazcano, T. A. (2024). Aceites vegetales como medios de recuperación de antihistamínicos mediante la técnica de extracción líquido-líquido. *Jóvenes en la Ciencia*, 29, Verano de la Ciencia XXIX.
<http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/13424>

Guo, Y., Jiang, L., Zhao, S., Ghazouani, S., Liu, Y., Yuan, S., Wei, S., Xue, S., Hou, Y., Wang, Z., Okeowo, I., Niu, Q. J., Jin, P., & Van der Bruggen, B. (2025). Multistage nanofiltration membranes with adsorptive substrate for enhanced removal of emerging organic pollutants. *Journal of Membrane Science*, 727, 124095.
<https://doi.org/10.1016/J.MEMSCI.2025.124095>

Hernández Ramírez, J. B. (2020). Uso del aceite de soya como medio de recuperación de naproxeno mediante la técnica de membranas líquidas emulsionadas [Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato].

Oyetade, J. A., Oluwafemi, K., Hammond, V. N. K., Boateng, A., Machunda, R. L., & Hilonga, A. (2025). Photocatalytic remediation of selected emerging organic pollutants in industrial effluent using

conducting polymeric-based nanocomposites photocatalysts -A review. Materials Science in Semiconductor Processing, 199, 109832.

<https://doi.org/10.1016/J.MSSP.2025.109832>

2

Razo-Lazcano, T. A., Hernandez-Ramirez, J. B., Flores-Rizo, J. O., Gonzalez-Muñoz, M. del P., & Falcon-Millan, G. (2024). Naproxen recovery by green emulsion liquid membranes based on soybean oil. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 695, 134232.

<https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2024.134232>