

## Eliminación de microplásticos provenientes de aguas grises por método de electrocoagulación

### Removal of Microplastics from Gray Water by Electrocoagulation Method

María G. Serna Díaz <sup>a\*</sup>, Mariana Bolaños Dávila <sup>b</sup>, Luis A. Heredia Sandoval <sup>c</sup>,  
Joselito Medina Marín <sup>d</sup>

#### Abstract:

An emerging environmental problem is contamination by microplastics, affecting biodiversity and human health. In this work, a study was carried out to eliminate microplastics through electrocoagulation in gray water obtained from a washing process. In the experiment, 5 different voltages were tested, and 100 mL cells, 2 aluminum plates and 2 iron plates separated by 2 cm from each other were used. With the results, a regression model was generated, and the logarithmic function obtained presents a coefficient of determination ( $R^2$ ) of 0.92199.

#### Keywords:

Microplastics, electrocoagulation, voltages, regression model

#### Resumen:

Un problema ambiental emergente es la contaminación por microplásticos, afectando a la biodiversidad y a la salud humana. En este trabajo se realizó un estudio para la eliminación de microplásticos mediante electrocoagulación en aguas grises obtenidas de un proceso de lavado. En la experimentación se probaron 5 voltajes distintos, y se utilizaron celdas de 100 mL, 2 placas de aluminio y 2 hierro separadas por 2 cm entre sí. Con los resultados se generó un modelo de regresión, y la función logarítmica obtenida presenta un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.92199.

#### Palabras Clave:

Microplásticos, electrocoagulación, voltaje, modelo de regresión

#### Introducción

La contaminación por microplásticos ha emergido como una de las principales preocupaciones ambientales del siglo XXI. Los microplásticos (MPs), definidos como partículas plásticas menores de 5 mm, se encuentran omnipresentes en diversos ecosistemas acuáticos, desde ríos y lagos hasta océanos. Esta contaminación afecta no solo a la biodiversidad acuática, sino también a la salud humana y los recursos económicos asociados con el agua[1].

Se considera microplástico a residuos de polímeros sintéticos de dimensiones menores a 5 mm. Se estima

que alrededor de 8 millones de toneladas de los microplásticos primarios que ingresan al medio ambiente provienen de residuos plásticos. Los microplásticos son contaminantes difundidos en muchos compartimentos de los ecosistemas acuáticos y terrestres. Los estudios revelan que los (MPs) casi siempre estarían liberando otros contaminantes químicos provenientes de los aditivos de los plásticos [2]. Los MPs pueden ser clasificados en base a su tamaño como primarios; diseñados y fabricados a escala inferior a 5 mm o generados de otros que lo sean y luego liberados al medio acuático de manera intencionada y no

<sup>a</sup> María G. Serna-Díaz | Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Preparatoria Número Uno | Pachuca-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-2846-6908>, Email: maria\_serna10348@uaeh.edu.mx

<sup>b</sup> Mariana Bolaños Dávila | Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Preparatoria Número Uno | Pachuca-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0007-5969-8625> Email: mariana\_bolanos@uaeh.edu.mx

<sup>c</sup> Luis A. Heredia Sandoval | Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Preparatoria Número Uno | Pachuca-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0005-0099-2753> Email: he485499@uaeh.edu.mx

<sup>d</sup> Joselito Medina Marín | Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Preparatoria Número Uno | Pachuca-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-0937-8707>, Email: jmedina@uaeh.edu.mx

intencionada. Supone un 26% de los microplásticos de los océanos por otro lado, los microplásticos secundarios: resultado de la descomposición de los residuos plásticos de mayor tamaño [3].

Se ha demostrado en diversas investigaciones que los MPs pueden ser eliminados de los efluentes de agua para evitar que estos lleguen a los cuerpos de agua en donde pueden ocasionar severos daños a los ecosistemas, estos tratamientos pueden ser de tipo primario, secundario o terciario [4]. El tratamiento primario es el primer paso en la purificación del agua residual y tiene como objetivo eliminar los sólidos grandes y suspendidos, entre este se encuentra la sedimentación y la filtración en rejillas, el tratamiento secundario se centra en la eliminación de materia orgánica biodegradable que no se eliminó en el tratamiento primario utilizando lodos activados, filtros precolados y algunos tipos de reactores [4,5]. El tratamiento terciario es la última etapa y tiene como objetivo eliminar contaminantes específicos que no fueron eliminados en las etapas anteriores, incluyendo nutrientes (nitrógeno y fósforo), patógenos y otros contaminantes disueltos. [4,5].

Se han realizado una gran variedad de estudios en donde se tiene como objetivo desarrollar técnicas y estrategias que ayuden a la eliminación de los MPs. Se ha cuantificado la eficacia de la eliminación de microplásticos en plantas de tratamiento de aguas residuales, comparando 21 estudios diferentes. Los resultados muestran que los tratamientos secundarios y terciarios eliminan un promedio del 88% y 94% de los microplásticos, respectivamente. [6, 7, 8]. En cuanto a los porcentajes de eliminación en tratamientos primarios se ha demostrado que el mayor porcentaje de Mps se elimina durante estos procesos [9] sin embargo, la efectividad en la eliminación mejora cuando se aplican los tratamientos secundarios; lodos activados, filtros percolados y reactores con membranas han sido de los métodos más estudiados para lograr la eliminación de Mps en aguas residuales [10].

La electrocoagulación es un proceso de tratamiento de aguas residuales que se utiliza tanto en la etapa secundaria como en la terciaria, dependiendo de su aplicación específica. Es un método electroquímico que utiliza corriente eléctrica para coagular y flocular contaminantes presentes en el agua [11]. Este proceso implica la disolución de electrodos de metal (generalmente hierro o aluminio) bajo la influencia de una corriente eléctrica. Este método genera iones metálicos en el agua que actúan como coagulantes. [12,13].

El proceso de electrocoagulación con electrodos de hierro (Fe) y aluminio (Al) ocurre mediante una serie de reacciones electroquímicas que producen iones metálicos en el agua, los cuales actúan como agentes coagulantes.

Cuando se usa un electrodo de hierro en el proceso de electrocoagulación, el hierro se disuelve en el agua al aplicarse corriente eléctrica. El hierro puede oxidarse en dos formas comunes: como iones férricos ( $\text{Fe}^{3+}$ ) o ferrosos ( $\text{Fe}^{2+}$ ) [14].

En el ánodo (oxidación):  $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$  o, dependiendo de las condiciones:  $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^-$

En el cátodo (reducción):  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-$

El hierro ( $\text{Fe}^{2+}$  o  $\text{Fe}^{3+}$ ) formado en el ánodo reacciona con los iones hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) generados en el cátodo, produciendo hidróxidos de hierro  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  o  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  que son los verdaderos coagulantes. Estos hidróxidos adsorben partículas contaminantes en suspensión, formando flóculos que pueden ser separados del agua por sedimentación o filtración [15].

En el caso del aluminio, el mecanismo es similar, pero involucra la disolución del electrodo de aluminio para generar iones de aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ), que también actúan como coagulantes.

En el ánodo (oxidación):  $\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$

En el cátodo (reducción):  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-$

Los iones de aluminio generados reaccionan con los iones  $\text{OH}^-$  producidos en el cátodo, formando hidróxidos de aluminio  $\text{Al}(\text{OH})_3$  que son muy efectivos para adsorber contaminantes. Los hidróxidos metálicos ( $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  o  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) adsorben las partículas contaminantes, formando flóculos que precipitan y son fácilmente removidos. [14,15].

En el presente estudio se evaluó la efectividad del proceso de electrocoagulación en diferentes tiempos y voltajes, con la finalidad de lograr la mejor combinación de variables para eliminar MPs procedentes de aguas grises de procesos de lavado de ropa.

## Materiales y Métodos

Las muestras de aguas grises fueron recolectadas del proceso de lavado realizado por una sola familia en la ciudad de Pachuca, Hidalgo. Esta familia utiliza para el proceso de lavado una mezcla de dos tipos de jabón comercial biodegradable y prendas de ropa de diferentes fibras sintéticas, principalmente; poliéster, nylon, acrílico, spandex y rayón.

Electrocoagulación.

Para la realización de la electrocoagulación se utilizaron celdas de 100 mL, 2 placas de aluminio y 2 hierro separadas por 2 cm entre sí. Como fuente de voltaje se utilizó el equipo Cassy lab 2 de Leybold.

Se conectó un circuito en paralelo (Imagen 1), donde las placas de hierro llevan la carga negativa (cátodo) y las de aluminio, la positiva (ánodo). El proceso se llevó a cabo durante una hora, probando con diferentes voltajes. Cuantificación de microplásticos.

El conteo de microplásticos fue realizado por conteo directo en microscopio. Se tomaron muestras de 10 ml en

al inicio del proceso y ora muestra del mismo volumen después de una hora de electrocoagulación, las cuales fueron filtradas al vacío y se procedió al conteo de microplásticos usando un microscopio estereoscópico, solo se consideraron las fibras visibles en un aumento de 4x y se realizó la diferencia en porcentaje de la muestra inicial a la muestra final (Imagen 2).

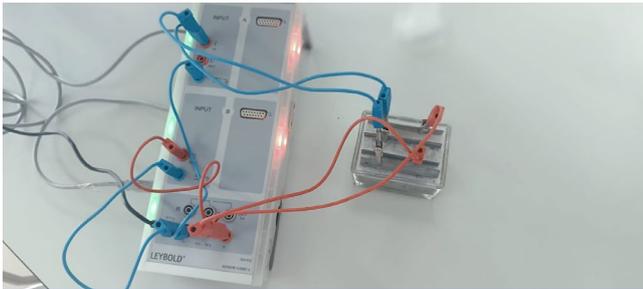


Imagen 1. Celda electrolítica con electrodos conectados en paralelo.



Imagen 2. Fibras de microplásticos visibles en 4x

### Resultados.

Con base en los resultados obtenidos en el laboratorio, se procedió a la generación de modelos de regresión que representaran el comportamiento de los datos. El mejor ajuste lo presentó una ecuación logarítmica (Ecuación 1), con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.92199, lo cual indica que el 92.199% de los datos son explicados por el modelo.

$$f(x) = 13.194 \ln \ln (x) + 59.393 \quad (1)$$

En la figura de la imagen 3 se observa el gráfico de dispersión para las variables del voltaje utilizado y el porcentaje de micro plásticos eliminados, así como el modelo matemático obtenido.

El porcentaje de eliminación de micoplásticos por electrocoagulación aumenta de forma proporcional al

incremento del voltaje, obeteniendo mejores resultados en un voltaje de 12 V.

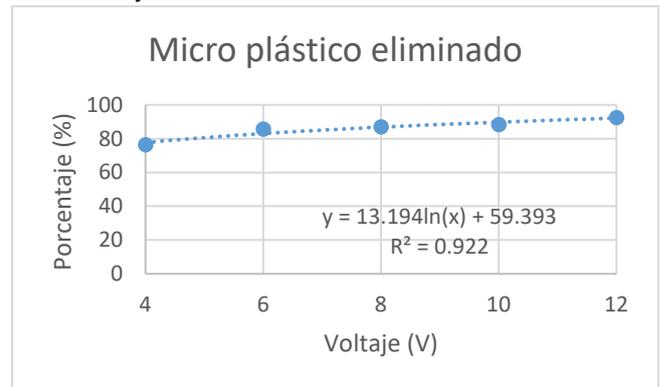


Imagen 3. Modelo de regresión obtenido.

### Conclusiones

La electrocoagulación es eficiente debido a su capacidad para formar coágulos que atrapan los microplásticos, su versatilidad en diferentes condiciones y su habilidad para reducir otros contaminantes al mismo tiempo.

### Referencias

- [1] Hale RC, Seeley ME, La-Guardia MJ, Mai L., Zeng, EY. A global perspective on microplastics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2020; 125(1), <https://doi.org/10.1029/2018JC014719>
- [2] Tirkey A, Upadhyay LSB. Microplastics: An overview on separation, identification and characterization of microplastics. *Marine Pollution Bulletin*. 2021; 170, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112604>
- [3] Sarria-Villa, RA, Gallo-Corredor JA. La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería*. 2016; 8(1): 21-27.
- [4] Metcalf, Eddy. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill Education; 2003
- [5] Tchobanoglous G, Burton FL, Stensel HD. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. Metcalf & Eddy; 2003
- [6] Iyare PU, Ouki SK, Bond T. Microplastics removal in wastewater treatment plants: a critical review. *Environmental Science: Water Research & Technology*. 2020; 6(10): 2664-2675.
- [7] Sun J, Dai X, Wang Q, van-Loosdrecht MCM, Ni BJ. Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water Research*. 2019; 152: 21-37.
- [8] Ziajahromi S, Neale PA, Rintoul L, Leusch FDL. Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: Development of a new approach to sample wastewater-based microplastics. *Water Research*. 2017; 112: 93-99.
- [9] Magnusson K, Norén F. Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant. IVL Swedish Environmental Research Institute. 2014
- [10] Lares M, Ncibi MC, Sillanpää M, Sillanpää M. Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. *Water Research*. 2018; 133: 236-246.
- [11] Kobya M, Demirbas E, Dedeli A, Sensoy MT. Treatment of rinse water from zinc phosphate coating by batch and continuous electrocoagulation processes. *Journal of Hazardous Materials*. 2010; 173(1-3): 326-334.
- [12] Mollah MYA, Schennach R, Parga JR, Cocke DL. Electrocoagulation (EC)—science and applications. *Journal of Hazardous Materials*. 2001; 84(1): 29-41.

[13] Chen G. Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology. 2004; 38(1): 11-41.

[14] Mollah MYA, Schennach R, Parga JR, Cocke DL. Electrocoagulation (EC)—science and applications. Journal of Hazardous Materials. 2001; B84(1): 29-41

[15] Chen G. Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology. 2004; 38(1): 11-41.