

# Técnicas Electroquímicas y Biológicas para el Tratamiento de Aguas Residuales de la Industria Farmacéutica

Autores: Domínguez Morales Alejandra, Peral Palacio María José, Rivero Zambrano Hugo  
Asesora: Hernández García Aline

## INTRODUCCIÓN

La presencia de contaminantes emergentes, como fármacos, compuestos industriales y pesticidas, en aguas residuales representa un desafío ambiental y de salud pública debido a su difícil detección y eliminación mediante tratamientos convencionales. Estos compuestos tienden a bioacumularse y generan efectos adversos a largo plazo. En México, el segundo mayor productor de fármacos y tercer consumidor de pesticidas en América Latina, este problema es particularmente crítico. La combinación de oxidación avanzada con electrodos de boro-dopado diamante (BDD) y ficorremediación con *Chlorella vulgaris* se presenta como una solución prometedora para eliminar estos contaminantes, alineándose con el ODS 6: Agua limpia y saneamiento para todos.

## OBJETIVO

Analizar el impacto del tren de tratamiento conjunto, compuesto de procesos de oxidación avanzada y de ficorremediación en los parámetros de pH, turbidez y DQO (demanda química de oxígeno).

## METODOLOGÍA

1.- Obtener muestras de agua residual de la industria farmacéutica.

2.- Determinar los parámetros de tiempo y densidad de corriente para el tratamiento electroquímico.

3.- Realizar el tratamiento electroquímico.

4.- Exposición a microalgas para el tratamiento de ficorremediación.

5.- Realizar la medición de los parámetros y la medición de los efectos del tratamiento.

Figura 1. Diagrama de la metodología.  
Elaboración propia.



Figura 2. Fotografía de una de las muestras post ficorremediación.  
Elaboración propia.

## REFERENCIAS

- Balasundaram, G., Banu, R., Varjani Sunita, Kazmi, A. A., & Kumar Tyagi, V. (2021). Recalcitrant compounds formation, their toxicity, and mitigation. *Chemosphere*, Checa Artos, M., Sosa del Castillo, D., Ruiz Barzola, O., & Barcos-Arias, M. (2021). Presencia de productos farmacéuticos en el agua y su impacto en el ambiente. *Bionat*, 6, 1618-1627.
- Hajalifard, Z., Mousazadeh, M., Khademi, S., Khademi, N., Jamadi, M. H., & Sillanpää, M. (2023a). The efficacious of AOP-based processes in concert with electrocoagulation in abatement of CECs from water/wastewater. *Npj Clean Water*, 6(1), 30. <https://doi.org/10.1038/s41545-023-00239-9>

## RESULTADOS

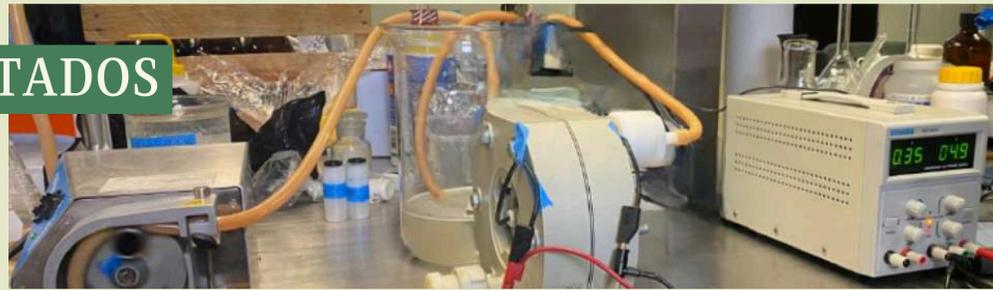


Figura 3. Montaje del experimento electroquímico.  
Elaboración propia.

### Condiciones iniciales del agua:

DQO 380  $\frac{mg}{L}$  pH 5.8 TURBIDEZ 111.3 NTU

### Condiciones finales del agua:

DQO 42  $\frac{mg}{L}$  pH 7.39 TURBIDEZ 30.8 NTU

### DQO

El DQO representa la materia orgánica que proviene de los fármacos presentes en el agua. En el gráfico, las curvas o superficies reflejan la respuesta del DQO a diferentes densidades de corriente y tiempos. Mediante interpolación, es posible identificar tratamientos potenciales que de otro modo serían inviables debido al alto consumo de materiales y recursos. En nuestro caso, para un tren de tratamiento combinado, se observa que la reducción del DQO es más eficiente al emplear altas densidades de corriente y tiempos cortos.

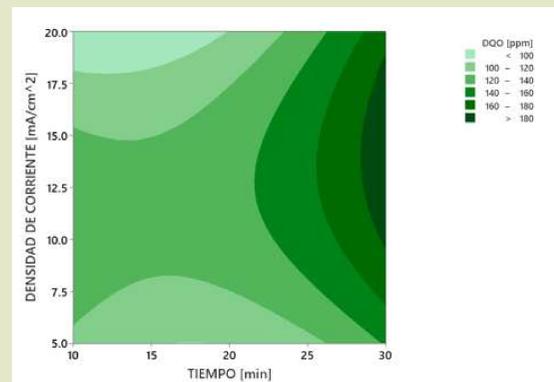


Figura 4. Gráfica de Superficie DQO vs. Tiempo, Densidad de Corriente.  
Elaboración propia.

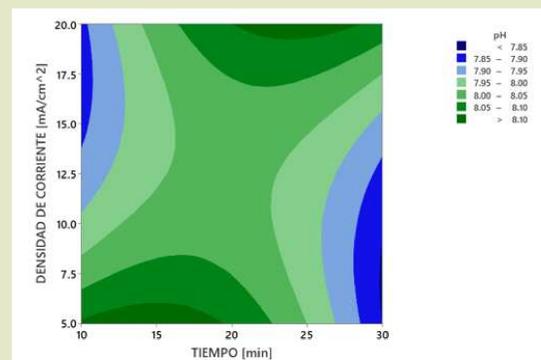


Figura 5. Gráfica de Superficie pH vs. Tiempo, Densidad de Corriente.  
Elaboración propia.

### pH

Para asegurar una calidad adecuada del agua, se recomienda que el pH se mantenga entre 6.8 y 7.5. El tren de tratamiento propuesto logra valores cercanos a este rango óptimo al operar con altas densidades de corriente y tiempos cortos.

### TURBIDEZ

Los valores mínimos de turbidez obtenidos en los diseños experimentales fueron inferiores a 37 NTU; sin embargo, el valor óptimo debería ser inferior a 5 NTU. Esto revela una oportunidad de mejora en el tratamiento, que podría abordarse en una PTAR durante la tercera fase de limpieza. Los resultados sugieren que la reducción más efectiva de la turbidez se logra con altas densidades de corriente y tiempos cortos de ejecución.

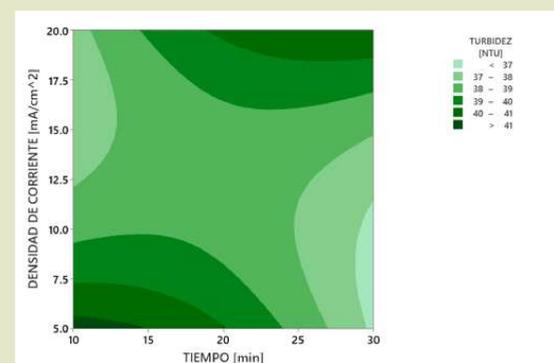


Figura 6. Gráfica de Superficie turbidez vs. Tiempo, Densidad de Corriente.  
Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

El tren de tratamiento aplicado logró una reducción de:

- DQO: hasta 79.5% (10 min, 20 mA/cm<sup>2</sup>).
- Turbidez: hasta 72.3% (30 min, 20 mA/cm<sup>2</sup>).
- Acidez (pH): hasta 28.6% (10 min, 20 mA/cm<sup>2</sup>).

La alta eficiencia en la reducción de DQO y turbidez con altas densidades de corriente y tiempos cortos mejora el rendimiento de una PTAR (Planta de Tratamientos de Agua Residuales) al:

- Reducir costos operativos por menor tiempo de tratamiento.
- Optimizar el consumo de energía al requerir menos tiempo y material.
- Disminuir el uso de reactivos y facilitar la operación y mantenimiento.