

PÁGINA: INICIO

Estos elementos no deben ser modificados por el autor.

**MUTIS** Vol. 12 (2) julio – diciembre del 2022  
https://doi.org/10.21789/22561498.3813

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

## Remoción de cefalexina en solución acuosa empleando ozono y radiación UV

Removal of Cephalexin in Aqueous Solution Using Ozone and UV Radiation

Paula Moreno Rojas <sup>ab</sup>, Natalia Puerto Mora <sup>ac</sup>, Rafael Nikolay Agudelo Valencia <sup>ad</sup>, Edward Villamil <sup>ae</sup>

<sup>a</sup> Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Libre, Colombia  
<sup>b</sup> paulaa-morenor@unilivre.edu.co | https://orcid.org/0000-0003-4655-027X  
<sup>c</sup> natalia-puertom@unilivre.edu.co | https://orcid.org/0000-0002-7325-4680  
<sup>d</sup> rafaeln.agudelo@unilivre.edu.co | https://orcid.org/0000-0002-6646-7725  
<sup>e</sup> edward.villamil@unilivre.edu.co | https://orcid.org/0000-0002-9003-4153

Citation: Moreno-Rojas, P., Puerto-Mora, N., Agudelo-Valencia, R. N. y Villamil, E. (2022). Remoción de cefalexina en solución acuosa empleando ozono y radiación UV. *Mutis*, 12(2).  
https://doi.org/10.21789/22561498.3813

Recibido: 12 de mayo de 2021  
Aceptado: 1 de agosto de 2021

Copyright: © 2021 por los autores. Licenciado para Mutis. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

### RESUMEN

Los fármacos como la cefalexina se catalogan como microcontaminantes emergentes, por estar presentes en cantidades mínimas en el ambiente y por el desconocimiento de sus efectos. En este proyecto se evaluó un proceso de oxidación avanzada (POA) que consistió en analizar la transformación de cefalexina en solución acuosa por medio de ozono como agente oxidante y radiación UV (254 nm, 5 W); el proceso fue comparado con ensayos en los cuales se utilizó solamente ozono en ausencia de radiación UV. Se empleó un diseño experimental de tipo Box-Behnken, para el cual los factores variables del proceso fueron el pH inicial de la solución acuosa (6,5, 7,5 y 8,5), el tiempo de reacción (30, 45 y 60 minutos) y la concentración inicial de cefalexina (7,5, 10 y 12,5 mg/L). Los parámetros de respuesta fueron el porcentaje de reducción de concentración de cefalexina y de carbono orgánico total (COT). Los resultados indican que las mayores reducciones de concentración fueron de 48,85 % utilizando ozono, y 62,53 % con ozono y radiación UV. Estos valores fueron alcanzados para un pH inicial de 8,5, con 60 minutos de reacción y 12,5 mg/L de concentración inicial de cefalexina. La comparación estadística de los resultados indica que la efectividad del proceso de ozonización intensificado por radiación UV es mayor que la ozonización sola. El análisis de varianza realizado a los datos obtenidos señala que con un pH alcalino la efectividad del proceso es mayor, lo cual se explica a través de las reacciones de descomposición del ozono y la formación de radicales OH<sup>•</sup> y de ozono por efecto de radiación UV.

**Palabras clave:** contaminantes emergentes, proceso de oxidación avanzada, cefalexina, carbono orgánico total.

### ABSTRACT

Drugs such as cephalexin are emerging micro-pollutants because they are present in minimal amounts in the environment and their effects are unknown. In this project, an advanced oxidation process (AOP) was evaluated in order to examine the transformation of cephalexin in an aqueous solution utilizing ozone as an oxidizing agent and UV radiation (254 nm, 5 W). The process was compared with tests in which only ozone was used in the absence of UV radiation. An experimental design of the

CORNISA

Estos elementos hacen parte de la pauta gráfica, no deben ser modificados.

TÍTULO

Calibri + negrita a 16 pt + Azul, énfasis 1: 4E71C0 + alineado al centro

TRADUCCIÓN

Calibri a 12 pt + Negro, texto 1: 000000 + justificado al centro

AUTORES

**Nombres:** Calibri + negrita + cursiva a 10,5 pt + Negro, texto 1: 000000 + alineado a la derecha.

**Descripción:** Calibri a 8 pt + Negro, texto 1: 000000 + alineado a la derecha.

RESÚMENES

**T1\*:** Calibri + negrita + mayúsculas a 10 pt + Azul, énfasis 1: 4E71C0 + alineado a la izquierda, sangría 1,25 cm.

**txt\*:** Calibri a 10 pt + Negro, texto 1: 000000 + justificado, sangría de primera línea 1,25 cm.

\*Se encuentran en el panel Estilos de Word.

PÁGINA: SOLO TEXTO

Moreno-Rojas, P., Puerto-Mora, N., Agudelo-Valencia, R. N. y Villamil, E. (2022). <https://doi.org/10.21789/22561498.1813>

Box-Behnken type was used, for which the process factors were the initial pH of the aqueous solution (6.5, 7.5, and 8.5), reaction time (30, 45, and 60 minutes), and initial concentration of cephalexin (7.5, 10 and 12.5 mg / L). The response variables were the percentage reduction in the concentration of cephalexin and TOC. The results indicate that the greatest concentration reductions were 48.85% using ozone, and 62.53% with ozone and uv radiation, these values were reached for an initial pH of 8.5, 60 minutes of reaction, and 12.5 mg/L of initial concentration of cephalexin. Statistical comparison of the results indicates that the effectiveness of the uv radiation intensified ozonation process is greater than the ozonation process alone. The analysis of variance carried out on the results indicates that at alkaline pH the effectiveness of the process is greater, which is explained through the decomposition reactions of ozone and the formation of OH<sup>•</sup> and ozone radicals due to the effect of uv radiation.

**Keywords:** Emerging pollutants, advanced oxidation process, cephalexin, total organic carbon.

INTRODUCCIÓN

La preocupación de la humanidad con respecto a la presencia de contaminantes emergentes en aguas residuales ha aumentado en los últimos años. El adjetivo "emergentes" se debe a que se conoce muy poco acerca de la presencia y el impacto ambiental de este tipo de sustancias (Becerril-Bravo, 2009), razón por la cual no han sido objeto de regulación dentro de las normas ambientales de la mayoría de los países del mundo. Dentro de la categoría de contaminantes emergentes se encuentran los productos farmacéuticos (Caridad & Albariño, 2006), que comprenden a los antibióticos, analgésicos y antidepresivos, entre otros más. Los antibióticos son compuestos utilizados tanto en humanos como animales para tratar enfermedades infecciosas (Nkoom *et al.*, 2019). En las últimas décadas se han realizado investigaciones en las cuales se ha demostrado que el uso de estos es excesivo, y por lo tanto se pueden encontrar presentes en las aguas residuales, hecho que acarrea alteraciones en los ecosistemas acuáticos, riesgos para la salud humana, efectos genotóxicos y desarrollo y proliferación de bacterias resistentes a los antibióticos (Castro-Pastrana *et al.*, 2015; Perea *et al.*, 2019; Urbina-Jaimes & Vera Solano, 2020).

Diversos estudios demuestran que la presencia de medicamentos tiene consecuencias en los ecosistemas (Robledo-Zacarias *et al.*, 2017), puesto que pueden afectar directamente a las bacterias, rotíferos, vertebrados e invertebrados (Moreno-Ortiz *et al.*, 2013). Se han demostrado en estudios de laboratorio alteraciones reproductivas, así como cambios en el comportamiento, el crecimiento y rango de vida. Por ejemplo, la exposición a diclofenaco (200 ng/L) tiene como consecuencia para el bagre negro (*Rhamdia quelen*) insuficiencia de la actividad hepática, mientras que el pez cebra (*Danio rerio*) expuesto a ibuprofeno disminuye su crecimiento y capacidad de movimiento (Ortega-Borunda, 2019). Por otro lado, se ha encontrado que algunas poblaciones de aves han disminuido en su cantidad de individuos por ingerir accidentalmente residuos de antibióticos (Moreno-Ortiz *et al.*, 2013).

Según algunos estudios (Barrero-Garzón *et al.*, 2019), entre 1997 y 2007 aumentó el consumo de antibióticos y se observó que los países con mayores consumos fueron Argentina, con 16,6 dosis diarias definidas (ddd) por cada 1.000 habitantes, seguida de Venezuela (15,9), Perú (13,5), México (13,3) y Chile (12,5). En el caso de Colombia, se obtuvo un consumo de 8,1 ddd por cada 1.000 habitantes, su-

CORNISA

Estos elementos hacen parte de la pauta gráfica, no deben ser modificados.

CUERPO

T1\*: Calibri + negrita + mayúsculas a 10 pt + Azul, énfasis 1: 4E71C0 + alineado a la izquierda, sangría 1,25 cm.

txt\*: Calibri a 10 pt + Negro, texto 1: 000000 + justificado, sangría de primera línea 1,25 cm.

DESCRIPCIÓN

Estos elementos hacen parte de la pauta gráfica, no deben ser modificados.

PÁGINA: CON GRÁFICOS

Moreno-Rojas, P., Puerto-Mora, N., Agudelo-Valencia, R. N. y Villamil, E. (2022). <https://doi.org/10.21789/22561498.1813>

pH Inicial	Tiempo de reacción (min)	Concentración inicial de cfx (mg/L)
7,5	30	7,5
6,5	60	10
6,5	45	12,5
7,5	45	10
8,5	60	10

Fuente: elaboración propia.

Cada ensayo fue realizado en una probeta de 1 L, la cual fue ubicada sobre un agitador magnético, ajustado a una velocidad de 200 rpm. Los ensayos fueron ejecutados en una cámara aislada de luz solar, para evitar la influencia de esta sobre el proceso. Se realizaron dos grupos de ensayos: en el primero se analizó la influencia del ozono sobre la cfx y el cot, y en el segundo se aplicó ozono y radiación uv, a fin de analizar el efecto de la radiación uv sobre el proceso de ozonización. La concentración del antibiótico se midió por espectrofotometría a 261 nm, y los valores de pH, concentración de cfx y cot se determinaron en la muestra antes de ser tratada. Al finalizar cada procedimiento se dejó reposar la muestra 1 hora y posteriormente se determinó la concentración de cfx y cot. A partir de estos datos se obtuvo el porcentaje de reducción de concentración alcanzado en cada uno de los ensayos realizados, el cual fue calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ reducción de concentración} = \frac{\text{Concentración}_{\text{inicial}} - \text{Concentración}_{\text{final}}}{\text{Concentración}_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los porcentajes de reducción de concentración de cfx y cot para los ensayos realizados se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de los ensayos realizados

pH	Tiempo (min)	Concentración inicial de cfx (mg/L)	Sin luz uv		Con luz uv	
			% reducción de concentración de cfx	% reducción de concentración de cot	% reducción de concentración de cfx	% reducción de concentración de cot
7,5	45	10	15,97	10,47	27,59	20,30
6,5	30	10	6,60	4,10	12,70	6,40
8,5	30	10	25,00	19,80	35,37	29,87
7,5	45	10	14,90	10,03	28,01	21,40
7,5	45	10	15,23	10,60	27,92	20,75
7,5	30	12,5	20,86	14,12	41,59	36,69
7,5	45	10	15,64	10,13	29,50	20,40
6,5	45	7,5	5,08	3,23	9,51	4,12
7,5	60	7,5	9,86	4,80	16,15	11,41
7,5	60	12,5	33,92	28,54	50,88	44,65
8,5	45	12,5	48,85	34,72	62,53	56,47
8,5	45	7,5	31,71	26,26	41,71	34,98
7,5	30	7,5	14,98	11,59	20,68	16,34

CORNISA

Estos elementos hacen parte de la pauta gráfica, no deben ser modificados.

**Encabezados:** Calibri + negrita a 9 pt + Negro, texto 1: 000000 + alineado al centro.

**Celdas:** Calibri a 9 pt + Negro, texto 1: 000000 + alineado al centro.

\*Los textos de los encabezados y las celdas pueden usarse a 8 pts cuando es necesario incluir más columnas o usar textos más largos.

Tablas con todos los bordes.

**Título:** Calibri a 8 pt+ negrita hasta el punto (.) + Negro, texto 1: 000000 + alineado a la izquierda.

**Fuente:** Calibri a 8 pt+ cursiva hasta los dos puntos (;) + Negro, texto 1: 000000 + alineado a la izquierda.

Nota: los gráficos grandes pueden salirse del ancho de la caja de texto u ocupar hasta la margen exterior.

GRÁFICOS

DESCRIPCIÓN

Estos elementos hacen parte de la pauta gráfica, no deben ser modificados.

PÁGINA: **REFERENCIAS**

Moreno-Rojas, P., Puerto-Mora, N., Agudelo-Valencia, R. N. y Villamil, E. (2022). <https://doi.org/10.21789/22561498.1813>

lograron con un pH de 8,5, luego de 45 minutos de reacción y con una concentración inicial de cfx igual a 12,5 mg/L. La remoción de cot indica que parte de la cfx se mineraliza completamente, mientras que otra parte de ella se descompone, dando lugar posiblemente a la aparición de moléculas orgánicas de menor tamaño. El análisis de varianza señaló que todas las variables de proceso analizadas influyen en la reducción de concentración de cfx y cot. El proceso de ozonización intensificado por radiación uv es estadísticamente más efectivo que la ozonización por sí sola. La ozonización de cfx intensificada por radiación uv representa una alternativa pasible de ser explorada para mayores tiempos de retención y valores de pH mayores, con el objetivo de lograr la mineralización de la totalidad de la cfx presente en soluciones acuosas. Finalmente, cabe señalar que la técnica empleada tiene como ventaja adicional que en el agua no quedan rastros de los agentes oxidantes, una vez estos realizan su función.

**REFERENCIAS**

Al-Musawi, T., Kamanj, H., Bazrafshan, E., Panahi, A., Fernandes. S. M., & Abi, G. (2019). Optimization the effects of physicochemical parameters on the degradation of cephalixin in sono-Fenton Reactor by using box-behnken response surface methodology. *Catalysis Letters*, 149, 1186-1196. <https://doi.org/10.1007/s10562-019-02713-x>

Antonopoulou, M., Evgenidou, E., Lambropoulou, D., & Konstantinou, I. (2014). A review on advanced oxidation processes for the removal of taste and odor compounds from aqueous media. *Water Research*, 53, 215-234. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.01.028>

Asociación Española de Pediatría. (2020, octubre 1). *Cefalexina*. Asociación Española de Pediatría. <https://www.aeped.es/comite-medicamentos/pediamecum/cefalexina>

Barrero-Garzón, L., Rivera-Vargas, S., Villalobos-Rodríguez, A., & Gómez-Rubio, A. (2019). *Consumo de antibióticos en el ámbito hospitalario*. ins. [https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Lineamientos/PRO\\_Consumo\\_de\\_antibioticos.pdf](https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Lineamientos/PRO_Consumo_de_antibioticos.pdf)

Becerril-Bravo, J. E. (2009). Contaminantes emergentes en el agua. *Revista Digital Universitaria*, 10(8). <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num8/art54/int54.htm>

Bofill, S., Casares, P. C., Gimenez, N. A., De-Motesporta, C. M., Gonfa, A., & Llop, R. G. (2005). Efecto sobre la salud de la contaminación de agua y alimentación por virus emergentes humanos. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 253-269. <https://doi.org/10.1590/S1135-57272005000200012>

Borrero-Salazar, P., Echeverry-Ibarra, D., & Aponte-Mayor, G. (2008). Ozonización del agua de piscinas: una alternativa al método tradicional de cloración. *Tecnura*, 11(22), 5-15. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/6258>

Busto-Soto, M., & Perez-Rodríguez, O. (2018). *Evaluación de la oxidación de contaminantes en agua de pelambre de curtiembre el Porvenir, ubicada en el municipio de Chocontá en Cundinamarca, mediante de un proceso de oxidación avanzada con ultrasonido asistido con ozono y radiación uv* [tesis de pregrado, Universidad Libre]. Repositorio Universidad Libre. <https://repository.unilivre.edu.co/bitstream/handle/10901/15873/DOCUMENTO%20FINAL%20PROYECTO%20OSCA%20Y%20DANG%20C3%89LUCA.pdf?sequence=1>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR]. (2018). *PTAR El Salitre*. CAR [https://www.car.gov.co/rio\\_bogota/vercontenido/9](https://www.car.gov.co/rio_bogota/vercontenido/9)

CORNISA

REFERENCIAS

Título: Calibri + negrita + mayúsculas a 10 pt + Azul, énfasis 1: 4E71C0 + alineado a la izquierda, sangría 1,25 cm.

Texto: Calibri a 10 pt + Negro, texto 1: 000000 + justificado, sangría de primera línea 1,25 cm.

DESCRIPCIÓN