

Uso de escorias metalúrgicas para la eliminación de fármacos del agua.

Alexandra Galina-Licea¹, Andrea García-Oseguera¹, Arizbeth Amitzin Pérez-Martínez²

¹Universidad La Salle México, Facultad de Ciencias Químicas. Ciudad de México, México.

²Universidad La Salle México, Vicerrectoría de Investigación, Departamento de Ciencias Químicas. Ciudad de México, México.

galina.a@lasallistas.org.mx, a.garciao@lasallistas.org.mx,
arizbeth.perez@lasalle.mx

Resumen. El rápido avance de la sociedad ha dado lugar a un aumento significativo en el consumo de recursos naturales, así como a la generación de una gran cantidad de residuos sólidos. Entre estos residuos, se encuentran las escorias, que son particularmente prevalentes en la industria metalúrgica, representando una amenaza considerable para el medio ambiente y la seguridad de la vida humana debido a la liberación de metales pesados a través de un proceso de lixiviación. En la actualidad, la problemática de la contaminación del agua se ha vuelto cada vez más apremiante. En este contexto, la utilización de las escorias como una herramienta para el tratamiento de aguas residuales no solo cumple con el propósito de "emplear residuos para tratar residuos", sino que también contribuye a la reducción de las existencias de escoria metalúrgica. Este enfoque conlleva beneficios significativos para la protección del medio ambiente y la mejora de la calidad de vida de las personas. Por lo tanto, en este trabajo se presenta la propuesta de un sistema acoplado de ozonación en un foto-reactor empacado con escorias, diseñado para llevar a cabo la degradación de compuestos farmacéuticos, como el Bezafibrato y el Tylenol. Esta innovadora iniciativa representa un paso importante hacia la solución de problemas ambientales urgentes y la promoción de prácticas sostenibles en la gestión de residuos industriales.

Palabras Clave: Escorias metalúrgicas, tratamiento de agua, ozonización, contaminación.

1 Descripción de la problemática prioritaria abordada

Los residuos sólidos son producidos en cantidades importantes por las actividades industriales. La mayoría de estos terminan en vertederos, mientras que una pequeña porción se recicla. Según las estadísticas, el mundo produce 190-290 millones de toneladas de escoria de acero, 150 millones de toneladas de lodo rojo y 70 millones de toneladas de escoria de cobre cada año, y la mayoría de ellas se siguen apilando al aire libre o se depositan en vertederos al aire libre o en vertederos, lo que tiene un impacto negativo en el medio ambiente.

La acumulación de escorias sin tratar produce lixiviación de elementos metálicos peligrosos, incluyendo Cr, V y Ba; lo que causa la contaminación del suelo y las fuentes de agua, y el daño al medio ambiente es permanente.⁵⁻⁶

Las escorias ferrosas son generadas cuando el hierro en bruto se funde en las ferrerías y durante la producción de acero, y dado el extenso campo de aplicación de esta industria, estos subproductos son inevitables. Además de hierro, contienen una gran variedad de componentes

Memorias del Concurso Lasallista de Investigación, Desarrollo e innovación
Vol. 10, Núm. 1, pp. DyT 128-133, 2023, DOI: 10.26457/mclidi.v10i1.3876 Universidad La Salle México
ALEXANDRA GALINA LICEA, ANDREA GARCÍA OSEGUERA, de la carrera en INGENIERÍA AMBIENTAL, de la FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, de la UNIVERSIDAD LA SALLE MÉXICO.
ARIZBETH AMITZIN PÉREZ MARTÍNEZ es la asesora de este trabajo.

como son Na, Ca, Mg y Si, por lo que las escorias pueden ser una sustancia ideal para el tratamiento de agua. Por ejemplo, debido a su alta estabilidad, rica en óxidos metálicos, y alta actividad catalítica, la escoria de acero se ha aplicado en la fabricación de electrodos para el tratamiento electroquímico de aguas residuales.⁵⁻⁶

Debido a dichas propiedades, las escorias pueden funcionar como catalizadores en reacciones de oxidación, tal es el caso de la ozonización, produciendo iones radicales, o radicales libres que aumentarán la eficiencia de degradación del contaminante. Un ejemplo de estos son los desechos farmacológicos, que debido a su estructura química compleja los convierte en compuestos recalcitrantes. La fuente principal de contaminación con estos productos es el agua proveniente de la industria farmacéutica y una pequeña cantidad excretada por el humano, con lo que se ha desencadenado una descarga continua de agentes activos, excipientes y metabolitos al medio ambiente.¹⁵

En el presente trabajo, se consideraron dos agentes farmacéuticos: tylenol y bezafibrato, ambos en solución, los cuales se degradaron con el uso de un foto-reactor para ozonización empacado con escorias, llegando a formar compuestos de estructura química más sencilla, como ácidos orgánicos de cadena corta.¹⁴

Se busca atender las necesidades que plantea la ONU en los objetivos del desarrollo sostenible; entre los que se encuentran:

- El objetivo 6 de agua limpia y saneamiento, contribuyendo en la meta 6.3 que busca mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.
- El objetivo 9 de industria, innovación e infraestructura; aportando a la meta 9.4 en que se desea reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales.
- El objetivo 12 de producción y consumo responsables, enfocando en la meta 12.5 que trata de reducir la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización.

Sahu, et al., 2023, realizaron un análisis bibliográfico, de los trabajos de investigación que se centran en el uso de escorias metalúrgicas para la remediación de agua. Entre ellos puede recalcar, el uso de polvos ferrosos, como catalizador en la foto-reacción heterogénea de Fenton para la degradación de dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDDs), que también son contaminantes de gran interés, en el que consiguen llegar hasta un 56% de mineralización con este sistema.

Ji, et al., 2022, destacan la importancia de realizar un pretratamiento ácido/alcalino a las escorias para mejorar el rendimiento del tratamiento de aguas residuales. Esto se explica dado que, la escoria metalúrgica modificada tiene una elevada y predominante porosidad, lo que permite que exista una mayor cantidad de sitios activos para la eliminación de contaminantes. Sin embargo, las investigaciones en este tema aún son limitadas, y con ello se presenta el desarrollo de este trabajo.

2 Objetivo

Utilizar escorias como empaques en un foto-reactor de ozonización para aumentar la eficiencia de degradación del bezafibrato y tylenol.

3 Propuesta teórico-metodológica

El proceso se realizó a nivel laboratorio; donde, a través de una corriente de O₂ extra seco y un generador de ozono tipo corona de descarga (AZCO HTU 500 G), se obtuvo una mezcla de ozono-oxígeno.

Esta corriente de gas se hace pasar por la parte inferior de un reactor de vidrio, con una placa difusora, esta con el objetivo de formar microburbujas que garanticen una adecuada transferencia de masa para una mayor eficacia en las reacciones entre el ozono y el compuesto orgánico. Además, se utilizó una fuente de luz púrpura de 395-405 nm.

En el reactor se encuentra la solución de cada fármaco junto con las escorias correspondientes. Los sistemas utilizados son:

- Solución de Bezafibrato a 100 mg/L tratado con escorias metalúrgicas Base fina-1 año-Puebla 0.086 in.
- Solución de Paracetamol a 100 mg/L tratado con escorias metalúrgicas Base fina-1 año-Monterrey 0.086 in.

Las mediciones de ozono en fase gaseosa a la salida del reactor se realizaron con un sensor de ozono BMT-930 con detector UV conectado a una computadora personal, la cual junto a una tarjeta de adquisición de datos nos permite obtener un ozonograma, es decir, una gráfica que muestra la variación de la concentración de ozono con respecto al tiempo. Esta metodología se puede ver representada en la figura 1.

Se realizaron curvas de calibración para los contaminantes, a pH 7, 3 y 10 en el caso del Paracetamol, ya que la solución original es neutra, mientras que se realizaron únicamente a pH 5 y 10 para el caso del Bezafibrato, dado que originalmente es ácida, lo anterior analizando la concentración con un espectrómetro UV-Vis; de este modo se pudo comparar la concentración de las soluciones con los contaminantes, antes y después de ser sometidos a la oxidación.

4 Discusión de resultados

La reacción de degradación de los fármacos se siguió por medio de un ozonograma, que es una gráfica de tiempo vs concentración de ozono, para el caso del Tylenol, se determinó que el tiempo de reacción total fue de 20 minutos, es decir, pasado este tiempo no se observó variación en la concentración de ozono, lo que indica que la reacción ha terminado. Para el bezafibrato el tiempo total de reacción fue de 30 minutos. Estos resultados fueron confirmados por medio de Espectroscopía UV-Vis, se obtiene de forma cualitativa la dinámica de descomposición de cada fármaco. Para el caso del Tylenol, se analizó a una longitud de onda de 246 nm, mientras que para el Bezafibrato se realizó a los 227 nm.

En la figura 2 y 3 se muestra una gráfica con los resultados de las eficiencias de degradación del Tylenol y el Bezafibrato respectivamente, de los diferentes sistemas probados; se puede observar que para el caso del Tylenol la mayor eficiencia fue utilizando un pH de 3 en la solución ozonada con escorias obteniéndose un valor de 96.2 % de eficiencia, comparado con el sistema de ozonación simple al pH natural de la solución en donde la eficiencia fue de 93.6%, esto significa

un incremento del 2.7% en la eliminación del Tylenol. En este sistema, la reacción de ozonación directa resultó tener mayor eficiencia.

Por otra parte, para el Bezafibrato el mayor porcentaje de degradación se obtuvo en la solución cuyo pH fue 10 ozonada con escorias, resultando en un valor del 90% de eficiencia, comparado con el 48% obtenido por ozonación simple, lo cual representa un incremento del 55.5% en la degradación. En este caso, el incremento en la eficiencia puede deberse a la presencia de radicales hidroxilo formados por la descomposición del Ozono a pH básico.

5 Conclusiones y perspectivas futuras

De acuerdo con los resultados obtenidos el empleo de escorias como empaques en un foto reactor de ozonización es una buena alternativa para la eliminación total o parcial de contaminantes orgánicos que pueden causar algún daño al ambiente y a la salud cuando se encuentran inmersos en el agua.

Los residuos farmacéuticos representan uno de los grupos con mayor interés de estudio, pues debido a su estructura química compleja los convierte en compuestos recalcitrantes. Para el caso del Tylenol se alcanzó aproximadamente un 96% de degradación, mientras que para el bezafibrato se obtuvo un 90% de descomposición, a los 20 y 30 minutos de ozonación respectivamente. Lo anterior con condiciones del sistema específicas, ya que el llevar las soluciones de dichos medicamentos a diferentes pH, permitió conocer a qué nivel de pH se obtenía una mayor eficiencia de descomposición, por lo que para el tylenol resultó beneficioso que un pH ácido estuviera en contacto con las escorias, y para el bezafibrato resultó más eficiente un pH básico.

Además, los resultados favorables, nos permiten concluir que el uso de escorias en el tratamiento de aguas residuales es una opción próspera, para reutilizar los residuos de la industria metalúrgica, que de otra manera, contaminarían directamente a los ecosistemas, desde los vertederos.

6 Agradecimientos

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad LaSalle México por su apoyo en el préstamo de equipos de laboratorio y reactivos para el desarrollo de este proyecto.

4 Referencias

1. Rivas, Javier F., Solís Rafael S., Beltrán, Fernando J., Gineo, Olga. (2019). Sunlight driven photolytic ozonation as an advanced oxidation process in the oxidation of bezafibrate, cotinine and iopamidol. *Water Research*. 151 (2019), 226-242. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.013>
2. Fedorava, Ganna., Grabic, Roman., Nyhlen, Jonas., Jarhult, Josef, Soderstrom Hanna. (2015). Fate of three anti-influenza drugs during ozonation of wastewater effluents – degradation and formation of transformation products. *Chemosphere*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.12.051>
3. Mestankova, Hana., Schirmer Kristin, Escher, Beate I. Gunten, von Urs., Canonica, Silvio. Removal of the antiviral agent oseltamivir and its biological activity by oxidative processes. *Environmental Pollution* 161(2012) 30-35. doi:10.1016/j.envpol.2011.09.018

4. Méndez Arriaba Fbiola, Otsu, Tomohiko, Oyama, Toshiyuki (2011). Photooxidation of the antidepressant drug fluoxetine (prozac) in aqueous media by hybrid catalytic/ozonation process. *Water Research* 45(2011) 27823-2794. doi:10.1016/j.watres.2011.02.030
5. Sahu, J. N., Kapelyushin, Y., Mishra, D. P. Ghosh, P., Sahoo, B. K., Trofimov, E. y Meikap, B.C. (2023). Utilization of ferrous slags as coagulants, filters, adsorbents, neutralizers/stabilizers, catalysts, additives, and bed materials for water and wastewater treatment: A review. *Chemosphere*, 325. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138201>.
6. Ji, R., Liu, T.-J., Kang, L.-L., Wang, Y.-T., Li, J.-G., Wang, F.-P., Yu, Q., Wang, X.-M., Liu, H., Guo, H.-W., Xu, W.-L., Zeng, Y.-N., & Fang, Z. (2022). A review of metallurgical slag for efficient wastewater treatment: Pretreatment, performance and mechanism. *Journal of Cleaner Production*, 380(135076), 135076. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135076>

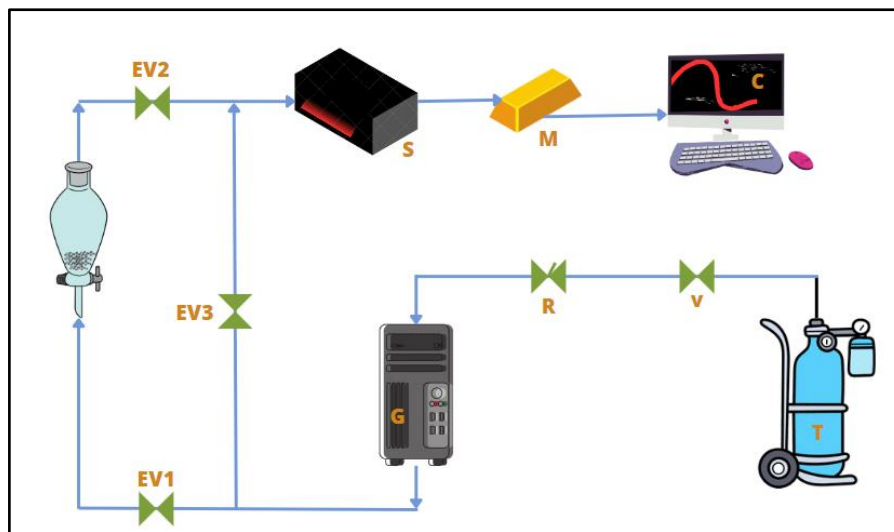


Figura 1. Esquema del proceso de ozonización a nivel laboratorio. Fuente: Elaboración propia.

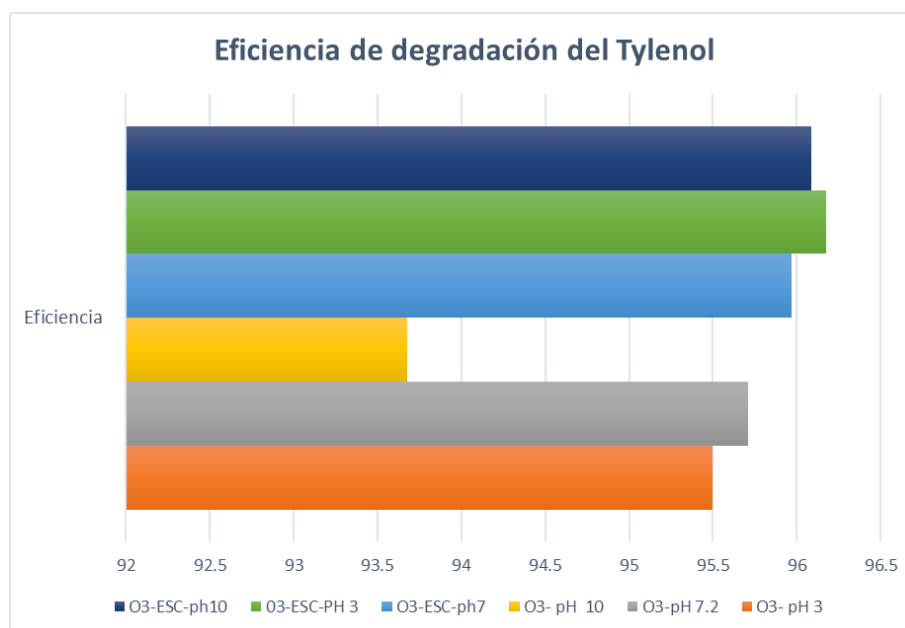


Figura 2. Eficiencia de degradación del Tylenol. Fuente: Elaboración propia.

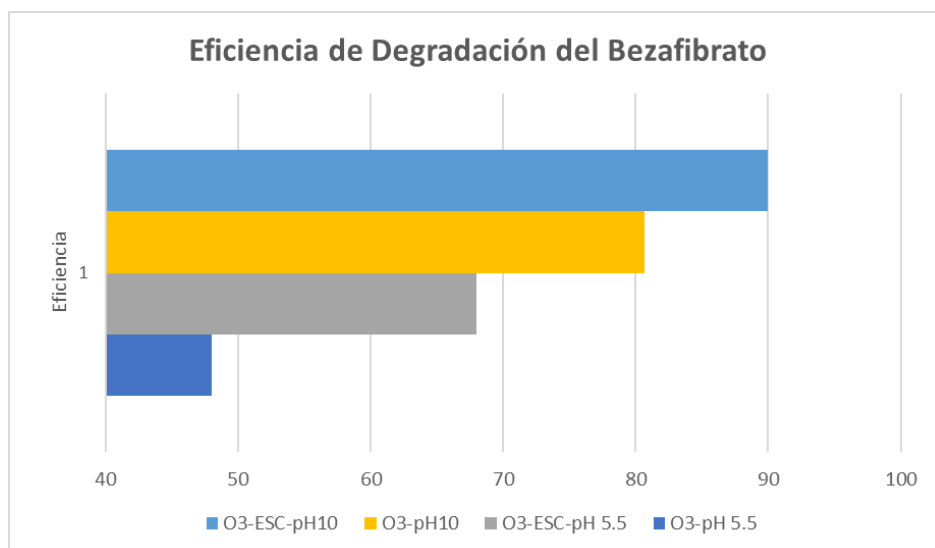


Figura 3. Eficiencia de degradación del Bezafibrato. Fuente: Elaboración propia.