

# Tratamiento por procesos de oxidación avanzada de colorantes presentes en aguas residuales

Juan Eduardo Ángeles-Sánchez<sup>1</sup>, Norma Martínez Valencia<sup>1</sup>, Adriana Benítez Rico<sup>2</sup>, Arizbeth Pérez Martínez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad La Salle México, Facultad de Ciencias Químicas, Licenciatura en Ingeniería Química. Ciudad de México, México.

<sup>2</sup>Universidad La Salle México, Vicerrectoría de Investigación. Ciudad de México, México.

juanangeles@lasallistas.org.mx, n.martinez@lasallistas.org.mx,

adriana.benitez@lasalle.mx, arizbeth.perez@lasalle.mx

**Resumen.** La contaminación de agua por actividades industriales genera un fuerte impacto ambiental, en particular la industria textil requiere del uso de grandes cantidades de agua que al ser desechadas tienen altas concentraciones de contaminantes químicos, siendo los colorantes unos de los más frecuentes. En este trabajo se presenta una metodología novedosa para el tratamiento de colorantes presentes en agua, la propuesta experimental se lleva a cabo en dos etapas basadas en procesos de oxidación avanzada de diferente origen: fotocátalisis heterogénea y ozonación simple. Los resultados son precedentes para el diseño de nuevos tratamientos de agua residuales eficientes y sostenibles para de este modo aportar soluciones reales a las problemáticas planteadas por el Objetivo de Desarrollo Sostenible 3 de Salud y Bienestar y el Objetivo 6 Agua Limpia y Saneamiento.

**Palabras Clave:** Industria textil, fotocátalisis y ozonación, contaminación del agua.

## 1 Descripción de la problemática prioritaria abordada

El agua es un recurso natural indispensable para la vida en el planeta. El hombre a lo largo de los años ha explotado este recurso de una manera inmensurable. Según datos de la ONU actualmente más del 80% de las aguas residuales resultantes de actividades humanas se vierten en ríos o en el mar sin tratamiento alguno, los cuerpos de agua al ser receptores de muchos tipos de contaminantes tienden a acumularse y causar efectos tóxicos en seres vivos [1].

Los contaminantes de agua se clasifican por tipo en químicos, biológicos y de naturaleza física. Los contaminantes químicos del agua tienen diferentes orígenes como desechos urbanos, actividades agrícolas, desechos industriales, actividades portuarias y mineras, entre otros. En México, la industria textil es una importante actividad económica que requiere un alto consumo de agua, energía y reactivos químicos, siendo los colorantes son uno de los principales residuos que se generan, este tipo de compuestos presentan se mantiene estable en condiciones ambientales y son agentes resistentes a la degradación por microorganismos como las bacterias, por lo que son considerado como *persistentes*.

Por lo anterior planteado el generar metodologías capaces de tratar los colorantes presentes en aguas residuales es necesario para atender las demandas tomando en cuenta los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente el número 6 de Agua Limpia y Saneamiento, ya que

al atender esta problemática de manera local se estaría actuando para poder cumplir con la meta de apoyo para la creación de programas de tratamiento de aguas residuales. De igual manera se tomaría en cuenta el objetivo de número 3 de Salud y Bienestar, específicamente la meta sobre la reducción de número de muertes producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del agua, aire y suelo.

Este trabajo propone el uso de una metodología novedosa basada en procesos de oxidación avanzada mixtos, dichos procesos permiten que sustancias químicas sean descompuestas hasta compuestos más sencillos e inocuos para seres vivos. De forma particular se expone el uso de un tratamiento fotocatalítico seguido de una ozonación para degradación total de colorantes de la industria textil.

## 2 Objetivo

Diseñar un tratamiento eficiente para degradar colorantes presentes en agua basado en un tratamiento mixto dos procesos de oxidación avanzada: fotocatalisis heterogénea y ozonación simple; y de esta manera atender a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 3 y 6 de Salud y Bienestar y; Agua Limpia y Saneamiento.

## 3 Propuesta de solución

Los procesos de oxidación avanzada (POA), se definen como metodologías capaces de modificar la naturaleza de contaminantes hasta convertirlos en especies que sean biodegradables o inocuas mediante la generación de radicales que disueltos en agua son capaces de atacar sustancias químicas hasta su mineralización (formación de especies más sencillas de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ , etc.). La fotocatalisis heterogénea es un POA fotoquímicos necesita de radiación para generación de los radicales libres y la ozonación simple es un POA no fotoquímicos en los que los radicales se generan al burbujear en agua ozono. En este trabajo se propone la utilización de estas dos técnicas para asegurar una completa degradación de colorantes en agua, a continuación, se detalla en que consistió cada etapa del tratamiento.

Etapas 1: Fotocatalisis heterogénea. Consistió en la utilización de catalizadores sólidos e insolubles para generar los radicales libres (los compuestos utilizados fueron provistos por el grupo de investigación de Ingeniería de Procesos y Nuevos Materiales de la Universidad, La Salle México), se probaron los catalizadores de óxido de titanio dopado con cerio al 7% ( $\text{TiO}_2\text{-Ce}$ ) y óxido de titanio mezclado con vanadato de bismuto ( $\text{TiO}_2\text{-BiVO}_4$ ), como fuente de radiación de la región visible se utilizó un reactor fotocatalítico en batch provisto de luz blanca LED de 150 Watts y luz ultravioleta de 254 nm.

Se trataron los colorantes azules de metileno y rodamina b, como se aprecia en la Figura 1, en concentraciones conocidas para simular aguas residuales contaminadas con colorantes, se tomaron muestras cada 10 minutos para determinar cómo se modificaba la concentración del colorante durante el tiempo, los resultados obtenidos se analizaron por la técnica de espectroscópica de UV-Vis.

Etapas 2: Ozonación. Las aguas resultantes de la etapa 1, se llevan a un reactor independiente, está técnica que consiste en la generación del gas ozono a partir de oxígeno con un flujo constante para alimentar un reactor como se muestra en a Figura 1. En este paso del tratamiento la concentración de ozono disminuye en función del tiempo hasta que se reestablecen las condiciones iniciales, la cantidad de ozono consumido se relaciona con los procesos oxidativos que se llevan en

los colorantes para su degradación. Para determinar la eficiencia del método, así como el grado de mineralización se miden las variables en condiciones iniciales y finales de pH (nivel de acidez de la muestra), conductividad (cantidad de iones presentes) y demanda química de oxígeno (DQO, que determina la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica presentes en una muestra de agua).

Los resultados de ambas etapas se muestran en la siguiente sección.

#### 4 Discusión de resultados e impactos obtenidos

Los resultados de degradación obtenidos por los catalizadores son mostrados en la Figura 2. El sistema TiO<sub>2</sub>-Ce logra entre el 10 y 30% de degradación de los colorantes tratados después de dos horas de iluminación con luz blanca y UV.

El TiO<sub>2</sub>-BiVO<sub>4</sub> logra el 64% de degradación de rodamina b a 5 ppm en 100 ml de volumen. El mismo catalizador y al incidir solo solo incidir luz visible, se llegó a un 34% de degradación con una hora menos de reacción. Esto significa que el sistema es capaz de actuar con luz solar con muy buenos resultados ya que la radiación electromagnética contiene todas estas regiones del espectro visible, en un futuro se pueden probar estos compuestos con radiación solar para hacer la parte del tratamiento fotocatalítico más sostenible.

Las soluciones de rodamina b residuales se centrifugaron a 10, 000 rpm en oscuridad para separar el catalizador, ya no activo, disperso en ellas, y se llevaron a un reactor de ozonación simple hasta observar que la solución fuera incolora y la concentración de ozono a la salida del reactor se mantuviera estable. Se midió pH, conductividad y demanda química de oxígeno de las muestras antes y después de la ozonación, los resultados se muestran en la Tabla 1.

El pH de todas las muestras disminuye después del tratamiento, esto significa que la molécula inicial se ha fragmentado en otras más sencillas, es decir el colorante inicial se degrado hasta formas especies ácidas en todos los casos. La conductividad aumenta de las muestras aumenta, este aumento también se relaciona con la fragmentación del colorante. Y por último la demanda química de oxígeno aumenta como las demás variables lo cual es consistente con la ruptura de la molécula de rodamina b.

En la tabla 1, la muestra que se refiere como blanco es la rodamina sin ningún tratamiento previo de fotocatalisis se puede apreciar los cambios de pH, conductividad y demanda química de oxígeno que sugieren una menor degradación del colorante con respecto a los ocurridos cuando se realizan los tratamientos mixtos.

**Tabla 1.** Condiciones iniciales y finales de tratamiento por ozonación

<b>Muestra*</b>	<b>pH inicial</b>	<b>pH final</b>	<b><math>\sigma</math> inicial (<math>\mu\text{Scm-1}</math>)</b>	<b><math>\sigma</math> final (<math>\mu\text{Scm-1}</math>)</b>	<b>DQO inicial mg/L</b>	<b>DQO Final mg/L</b>
Ti-Ce7%	7.05	5.78	22.07	33.80	390	444
Ti-BiVO <sub>4</sub>	3.65	4.34	126.20	98.90	341	414
Blanco	6.88	6.04	7.67	25.07	473	545

\* **Aguas residuales del tratamiento por fotocatalisis heterogénea.**

En la figura 3, se aprecian las diferentes etapas del tratamiento mixto expuesto en el presente trabajo.

## 5 Conclusiones y perspectivas futuras

Si bien los colorantes que se utilizaron en la experimentación son una muestra representativa de la industria textil, se pueden utilizar como un punto de partida para encontrar las condiciones a las cuales debe de encontrarse para poder realizar una oxidación total de estos contaminantes.

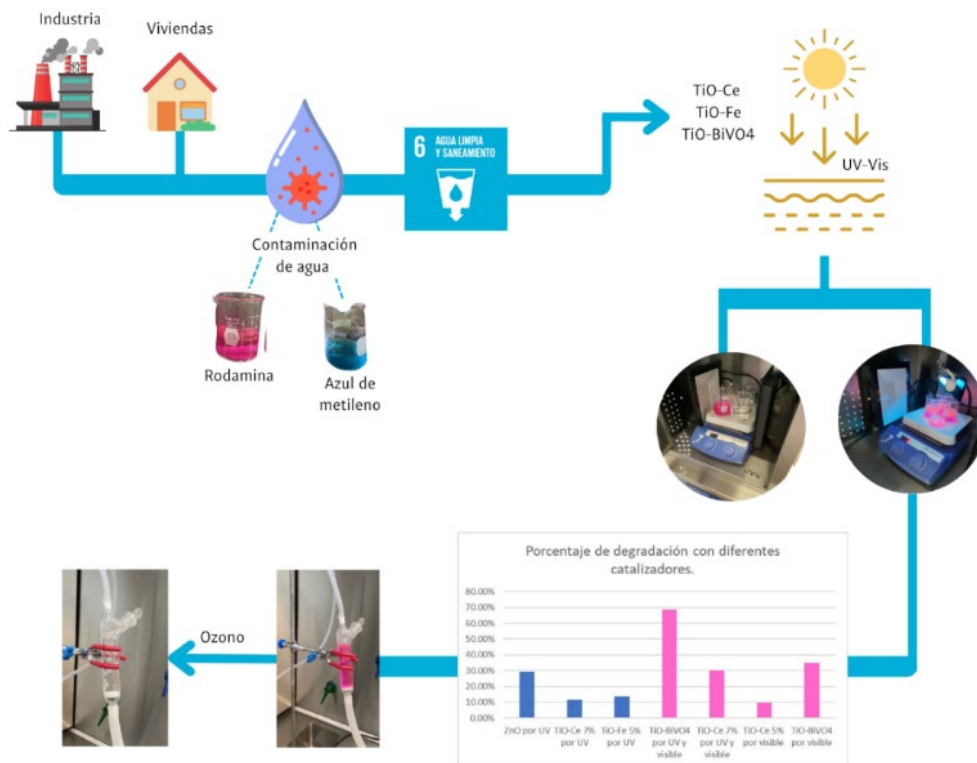
En este trabajo fue posible degradar la colorante rodamina b, hasta dejar el agua incolora con la mezcla de tratamiento de fotocátalisis heterogénea y ozonación simple. Este trabajo sirve como antecedente para el diseño de nuestros tratamientos para las aguas residuales de la industria textil. Es necesario evaluar la calidad del agua que se trató para verificar si se pudiera usar en actividades como riego o ver si se logra potabilizar con ayuda de este tratamiento.

## 6 Agradecimientos

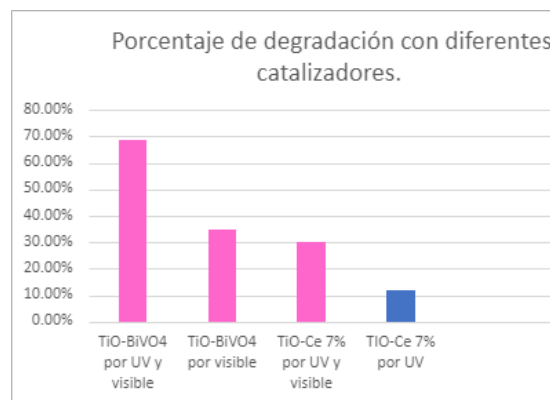
Al financiamiento del proyecto NEC 12-19 de la Vicerrectoría de Investigación, La Salle México

## 7 Referencias

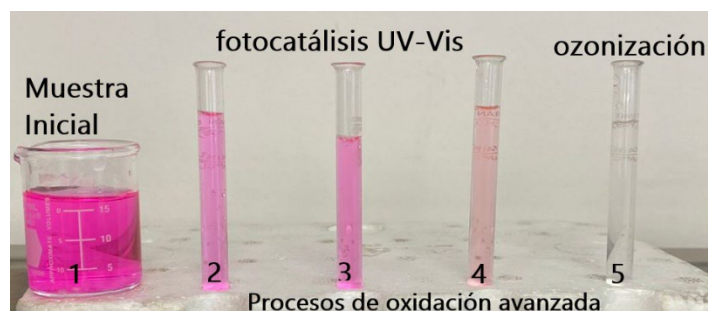
1. Vera Sandoval, E. (2021) Revisión bibliográfica de productos farmacéuticos como contaminantes emergentes en cuerpos de agua y sus procesos de degradación actuales [Tesis de Licenciatura, Universidad La Salle, México]
2. De la Cruz Gonzales, N. (2013) Estudio de la eliminación de contaminantes emergentes en aguas mediante Procesos de Oxidación Avanzados [Tesis de doctorado, Universitat de Barcelona] <http://hdl.handle.net/2445/66864>
3. Jaime-Urbina, Juliana; Vera-Solano, Javier (2020). Los contaminantes emergentes de las aguas residuales de la industria farmacéutica y su tratamiento por medio de la ozonización. *Informador Técnico*, 84(2), 249-263. <https://doi.org/10.23850/22565035.2305>
4. Castro-Peña, L.; Durán-Herrera, J. Degradación y decoloración de agua contaminada con colorantes textiles mediante procesos de oxidación avanzada. *Tecnología en Marcha*. Vol. 27, N° 2. Pág 40-50
5. López Ramírez, M. Á., Castellanos Onorio, O. P., Lango Reynoso, F., Castañeda Chávez, M. D. R., Montoya Mendoza, J., Sosa Villalobos, C. A., & Ortiz Muñoz, B. (2021). Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión. *Enfoque UTE*, 12(4), 76-87



**Figura 1.** Representación gráfica de la problemática y posible solución al tratamiento de aguas residuales haciendo referencia a los objetivos de desarrollo sostenible



**Figura 2.** Resultados de las fotocatalisis en porcentaje de degradación. Elaboración propia.



**Figura 3.** Resultados de tratamiento mixto fotocatalisis-ozonización de Rodamina B. 1 muestra de 5 pmm; 2,3 y 4 resultados de fotocatalisis; 5 resultados después de ozonizar la muestra es incolora.