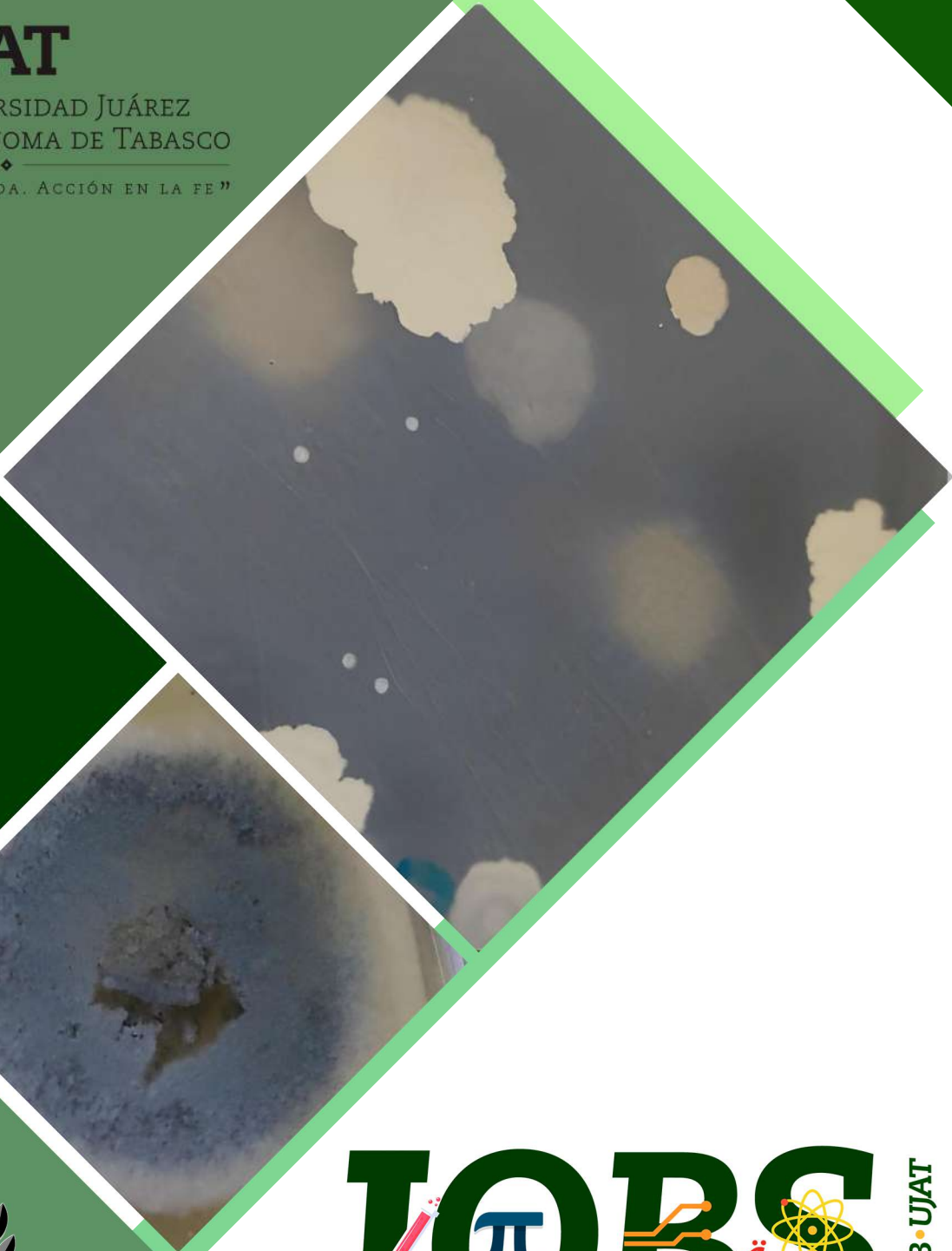




UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE ”



JOB π BS DACB • UJAT

Journal of Basic Sciences

Volumen 10 • número 29 • septiembre-diciembre 2024

ISSN:2448-4997

<https://revistas.ujat.mx/index.php/jobs>





En el número 29 del Journal of Basic Sciences, los lectores podrán encontrar reportes de investigaciones en diversos ámbitos del quehacer de las ciencias básicas, que al generar y aplicar el conocimiento científico, se encaminan hacia la atención de problemáticas específicas y también a una mejor comprensión del universo.

Por ejemplo, el desarrollo de procedimientos analíticos para el control de calidad de productos para el consumo humano, es indispensable para asegurar los beneficios, así como disminuir los riesgos potenciales que puedan estar asociados. Es así que se presenta un estudio dirigido a la optimización de un método de preconcentración dirigido a la determinación de contaminantes derivados del ácido ftálico, que pueden estar presentes en bebidas embotelladas. El método reportado presenta una buena precisión y buenos límites de detección, por lo que se considera una buena opción en el pretratamiento de muestras. Por otro lado, se incluye una aportación dirigida a evaluar la calidad microbiológica de dos bebidas ancestrales: el aguamiel y el pulque, cuyo consumo puede representar un beneficio por el aporte de probióticos y prebióticos, aunque es necesario el establecimiento de parámetros normados de calidad e inocuidad, que puedan dar certeza a los procesos de fabricación de las mismas.

Una problemática actual en la química ambiental, son los denominados contaminantes emergentes, los cuales no están regulados en su disposición final por encontrarse en bajas concentraciones, pero que tienen la propiedad de ser bioacumulables, representando un riesgo potencial para la salud. Este es el caso de colorantes industriales como el naranja ácido 52, para el cual se presenta un estudio de su procesos de degradación mediante diversas tecnologías avanzadas de oxidación, con resultados efectivos para su remoción. En otro orden de ideas, el diseño de materiales con propiedades específicas es también un área de gran interés, como lo muestra el artículo relacionado con la evaluación de hidrogeles de carboximetilcelulosa como agentes para la liberación controlada de fármacos.

Además, en este número se presenta un estudio relacionado con la estimación de parámetros para la interacción de tres especies en un nicho ecológico: planta, plaga y agente de biocontrol, empleando la modelación matemática por un método multipasos. No menos importante, es la contribución presentada para la determinación numérica de los estados ligados de un sistema cuántico, con un pozo de potencial triangular, lo que permitió profundizar en la comprensión de este tipo de sistemas.

Así, con este número del Journal of Basic Sciences, se difunde el quehacer científico en diferentes vertientes, esperando sea de utilidad para nuestros lectores.

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

- Lic. Guillermo Narváz Osorio. Rector
- Dr. Luis Manuel Hernández Govea. Secretario de Servicios Académicos
- Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez. Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación
- Dr. Pablo Marín Olán. Director de Difusión, Divulgación Científica y Tecnológica

Directorio Divisional

División Académica de Ciencias Básicas

- Dra. Hermicenda Pérez Vidal. Directora
- Dr. Luis Manuel Martínez González. Coordinador de Investigación
- M.C. Abel Cortazar May. Coordinador de Docencia
- L.Q. Esmeralda León Ramos. Coordinador de Difusión Cultural y Extensión

Comité Editorial

- Dr. Carlos Ernesto Lobato García. Editor en Jefe
- Dr. Adib Abiu Silahua Pavón. Gestor Editorial
- Mtra. Claudia Gisela Vázquez Cruz. Editora Asociada. Actuaría
- Mtra. María Hortensia Almaguer Cantú. Editora Asociada. Ciencias de la Computación
- Dr. José Arnold González Garrido. Editor Asociado. Ciencias Farmacéuticas
- Dr. José Luis Benítez Benítez. Editor Asociado. Física
- Mtro. Guillermo Chávez Hernández. Editor Asociado. Geofísica
- Dra. Addy Margarita Bolívar Cimé. Editora Asociada. Matemáticas
- Dra. Nancy Romero Ceronio. Editoria Asociada. Química

CONTENIDO

	Pag.
Determinación de ftalatos en bebidas envasadas con PET, empleando un método MSFIA acoplado a HPLC-DAD	1-16
Evaluación de la calidad microbiológica del aguamiel y pulque de San Agustín Tlaxiaca, Hgo., México	17-26
Análisis químico de la degradación del naranja ácido 52 aplicando Tecnologías Avanzadas de Oxidación	27-36
Cinética de liberación controlada del acetaminofén a partir del gel de carboximetilcelulosa	37-49
Numerical estimation of parameters in mathematical models for pest control	50-63
Método multi-escalón para determinar el espectro de energía de diferentes pozos de potencial cuánticos	64-72

Análisis químico de la degradación del naranja ácido 52 aplicando Tecnologías Avanzadas de Oxidación

Jaramillo Sierra, B.^{1,*}, Díaz Martínez, A.¹, Mercado Cabrera, A.², Ibañez Olvera, M.¹.

¹ *Tecnológico Nacional de México/ Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, Carretera Tenango-La Marquesa km 22, Santiago Tianguistenco, Estado de México, C.P. 52650, México.*

² *Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Carretera México-Toluca S/N, Ocoyoacac, Estado de México C.P. 52750, México.*

* *bethsabet.jaramillo@test.edu.mx*

Resumen

Se realizó la degradación del colorante naranja ácido 52 (NA) aplicando diversas Tecnologías Avanzadas de Oxidación, se utilizó un reactor de recirculación de configuración cilíndrica, la concentración inicial del NA fue de 20 mg/L en 400 mL de solución, el tiempo de tratamiento fue de 60 minutos, tomando muestras cada 10 minutos y analizándolo por espectrometría UV-vis. Se determinó el efecto de los agentes oxidantes utilizados en sistemas individuales y sinérgicos, el tiempo de tratamiento, el pH final, la generación de CO₂ y el cambio de la coloración de las muestras. Se obtuvieron eficiencias de hasta 99% al utilizar el método de O₃/1 mL H₂O₂/UV y 60 minutos, el pH final fue de 2.9 atribuido a la generación de subproductos, se obtuvieron 35 mg/L de CO₂ al finalizar el proceso lo que indica que se alcanzó un porcentaje de mineralización, finalmente se observó una disminución del 100% del color.

***Palabras claves:** Radiación Ultravioleta, Ozono, Peróxido de Hidrógeno, Dióxido de carbono, Contaminación.*

Abstract

The degradation of the acid orange 52 (AN) dye was carried out applying different Advanced Technologies, a cylindrical configuration recirculation reactor were used, the initial concentration of AN is 20 mg/L in 400 mL of solution, the treatment time consisted of 60 minutes, taking samples every 10 minutes and analyzing it by UV-vis spectrometry. The effect of the oxidizing agents used in individual and synergistic systems, the treatment time, the final pH, the generation of CO₂ and the change in the coloration of the samples were determined. Efficiencies of up to 99% were obtained when using the O₃/1 mL H₂O₂/UV method and 60 minutes, the final pH was 2.9 attributed to the generation of by-products, 35 mg/L of CO₂ were obtained at the end of the process indicating that a percentage of mineralization was reached, finally a 100% decrease in color were observed.

***Keywords:** Ultraviolet Radiation, Ozone, Hydrogen Peroxide, Carbon Dioxide, Pollution.*

Recibido: 30 de mayo de 2024, Aceptado: 07 de noviembre de 2024, Publicado: 16 de diciembre de 2024

1. Introducción

El agua es fundamental para la vida y el desarrollo óptimo de los seres vivos, no obstante, una de las mayores problemáticas a las que se enfrenta es la contaminación, la cual proviene de diversas fuentes ya sean naturales o antropogénica, siendo esta última las de mayor impacto ambiental, dentro de los contaminantes presentes en el agua son destacados los colorantes los cuales son caracterizados por poseer altos pesos moleculares y diversos grupos funcionales.

Los contaminantes emergentes son aquellos que se encuentran a bajas concentraciones en los cuerpos de agua, su vertido y disposición final no está regulado, no obstante, se ha demostrado que son bioacumulables afectando adversamente a los seres vivos, entre los contaminantes emergentes más importantes son destacados los plaguicidas, productos de higiene personal, fármacos y colorantes, siendo este último el objeto de estudio de esta investigación, específicamente el naranja ácido 52 (NA) [1, 2]. Los colorantes son utilizados ampliamente en diversos procesos industriales, por lo que su presencia en los cuerpos de agua es inevitable, afectando adversamente a los diversos ecosistemas con los que tiene interrelación, por lo que es importante que los efluentes contaminados cuenten con un tratamiento para mitigar los efectos tóxicos [3, 4].

1.1 Colorante de estudio

El naranja ácido 52 (NA) también llamado naranja de metilo (**Figura 1**) es utilizado en la industria textil y como indicador ácido-base, por lo que es desechado, afectando potencialmente a los cuerpos del agua, ya que es un colorante artificial no biodegradable, tóxico, evita la penetración de la luz en los cuerpos de agua generando su eutrofización, evitan el crecimiento de microorganismos y dañan la fauna [5-7]. Este tipo de contaminantes son peligrosos por su falta de regulación específica, no están actualmente normados por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), lo que representa un desafío significativo para la gestión ambiental en México.

La disposición final de contaminantes como el naranja ácido 52 (NA) aún no cuenta con procedimientos adecuados establecidos oficialmente, lo que aumenta el riesgo de contaminación y exposición tanto en ecosistemas terrestres y acuáticos, como en la población humana. La ausencia de una correcta disposición final implica que pueden acumularse en el ambiente, con consecuencias potencialmente nocivas a largo plazo [5, 6].

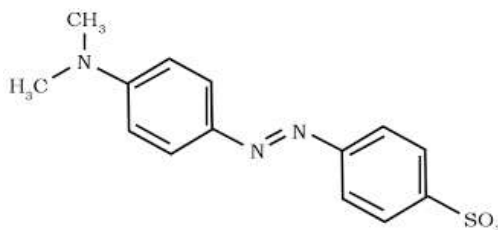


Figura 1. Estructura molecular del ácido naranja 52.

Debido a sus efectos tóxicos, al ingerirse, inhalarse, o al entrar en contacto con la piel puede causar irritaciones en la piel y los ojos; la exposición prolongada puede llevar a efectos más graves como

alteraciones en el sistema respiratorio y otros órganos [7, 8]. Es de importancia llevar a cabo su degradación, dentro del tren de tratamiento de aguas se destacan los métodos de adsorción y métodos biológicos, sin embargo, su aplicación en colorantes requiere de largos tiempos o de procesos complementarios al finalizar el tratamiento, así mismo, debido a la naturaleza del contaminante no es de interés su recuperación, por esa razón es de importancia la validación de otros métodos de fácil operación y que permitan la obtención de altas eficiencias de degradación, sin la generación de subproductos de mayor toxicidad, es por ello que las Tecnologías Avanzadas de Oxidación (TAOs) se perfilan como una alternativa para la degradación de contaminantes en agua como son los colorantes, esta degradación es atribuida a la generación de especies activas como son los radicales OH que tienen un alto poder oxidante.

1.2 Tecnologías Avanzadas de Oxidación

Las TAOs son una alternativa de tratamiento, se caracterizan por la generación de especies químicas activas con alto potencial de oxidación a temperatura y presión ambiente, capaces de llegar a la mineralización de los contaminantes. Para su generación son utilizados agentes oxidantes como ozono (O₃), peróxido de hidrógeno (H₂O₂), semiconductores (TiO₂, ZnO), iones ferrosos (Fe²⁺), también son utilizadas fuentes de energéticas naturales (radiación solar) o artificial (lámparas que emiten en el espectro ultravioleta), o la utilización sinérgica con el objetivo de potencializar los resultados [9-14].

En esta investigación se evaluaron diversos Tratamientos Avanzados para determinar el efecto de parámetros experimentales como: el agente oxidante utilizado, tiempo de tratamiento, pH, variación de color y determinación de CO₂, con el objetivo de determinar las mejores eficiencias relativas a la eficiencia de degradación.

2. Metodología

2.1 Reactivos e instrumentos

Se utilizó naranja ácido 52 de Merck grado analítico, peróxido de hidrógeno al 20% de Fermont, un generador de ozono GL-3189^a que utiliza aire atmosférico, un espectrómetro UV-visible VE 5600UV, un medidor multiparametros Gro Line HI 9814, un kit de Hanna Instrument para la medición de CO₂, colorímetro HI727 de Hanna Instrument.

2.2 Dispositivo experimental

El dispositivo experimental que se utilizó se muestra en la **Figura 2**, el cual está constituido por (1) un reactor de tratamiento de configuración cilíndrica de acero inoxidable con una longitud de 35 cm y diámetro de 7 cm, en la parte central tiene una lámpara de 11 W que emite en el espectro ultravioleta de 30 cm de longitud la cual está protegida por un tubo de cuarzo, (2) un generador de ozono, el cual fue inyectado en el (3) depósito de la solución mediante un difusor para garantizar un mayor contacto con la solución, (4) un espectrómetro UV-visible para la caracterización de las muestras y (5) un medidor multiparametros.

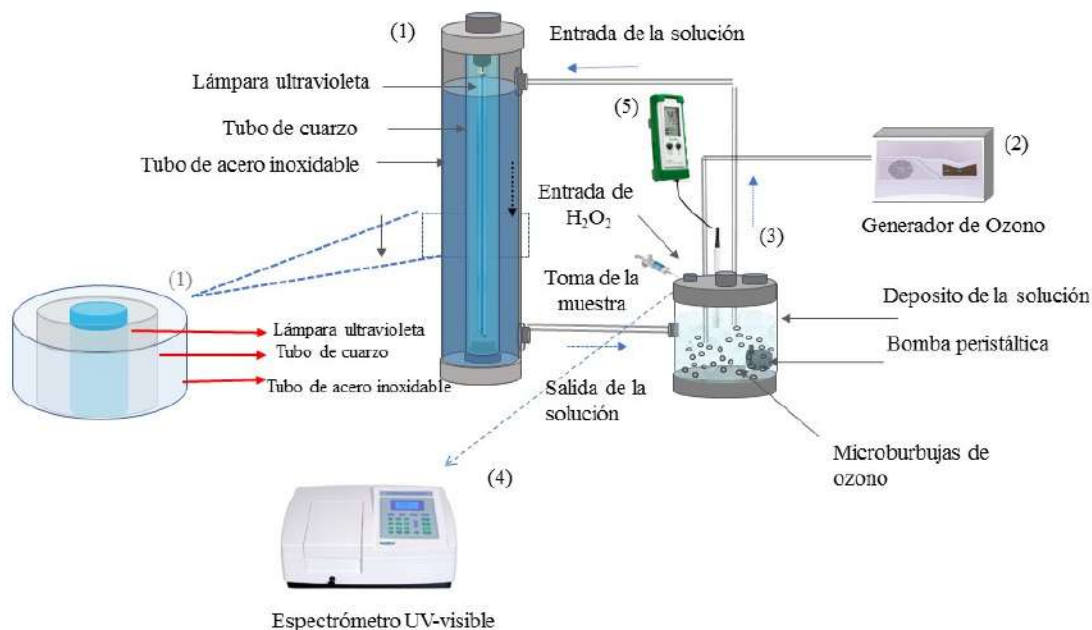


Figura 2. Dispositivo experimental

2.3 Metodología

Se realizaron soluciones sintéticas de naranja ácido 52 para cada uno de los métodos de tratamiento estudiados. La concentración inicial del contaminante fue de 20 mg/L en un volumen inicial de 400 mL. La solución sintética se ingresó por la parte superior del reactor y fue recolectada en el depósito donde se recirculó utilizando una bomba sumergible, el tiempo de tratamiento fue de 60 minutos caracterizando el líquido residual antes de su tratamiento y cada 10 minutos mediante el espectrómetro UV-visible.

Cuando fue utilizado ozono, este se inyectó en forma de microburbujas en el depósito de la solución utilizando un difusor. Cuando se empleó peróxido de hidrógeno (1 mL), se adicionó directamente en el depósito al iniciar el tratamiento.

Para la cuantificación de las muestras se utilizó espectrofotometría UV-visible, por lo que primeramente, se realizó un barrido de una muestra patrón en longitudes de onda de 190 nm hasta 900 nm, identificando como longitud máxima del contaminante 466 nm (**Figura 3a**), posteriormente, se realizó una curva de calibración determinando la ecuación que relaciona los datos (**Figura 3b**) y finalmente se obtuvo la eficiencia de degradación utilizando la ecuación 1.

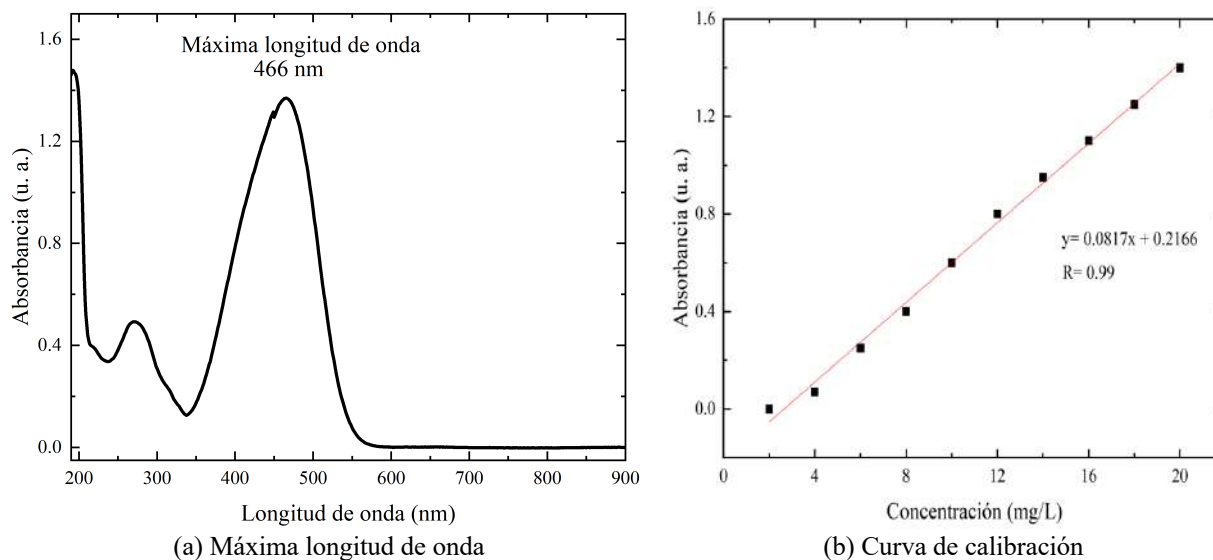


Figura 3. Determinación de los parámetros para el análisis por espectrofotometría UV-vis

$$\% \text{ degradación} = \frac{C_1 - C_t}{C_1} \times 100 \quad (1)$$

Donde C_1 es la concentración inicial del contaminante y C_t es la concentración del contaminante en función del tiempo de tratamiento.

Para las mediciones del cambio del color de las muestras fue utilizado un colorímetro HI-727 de Hanna Instruments, en donde se midió el color al inicio y al finalizar el tratamiento para cada método de análisis. Para las mediciones de CO_2 se utilizó un kit HI-3818 de Hanna Instruments el cual utiliza el método volumétrico de titulación para su determinación.

3. Resultados

3.1 Sistemas individuales

En la **Figura 4** se observan los resultados obtenidos de la degradación del naranja ácido 52 aplicando sistemas individuales, se observa que para todos los casos el tiempo de tratamiento tiene un efecto positivo al obtener mejores resultados. Se obtuvieron eficiencias de hasta 62%, 12% y 15% al aplicar O_3 , UV y H_2O_2 respectivamente. Los resultados obtenidos son atribuidos a diversos procesos químicos, para el caso del O_3 y de acuerdo con la literatura se destacan dos mecanismos de oxidación (a) indirecto en donde el agente químico es dissociado para la formación de especies químicas activas que conllevan a la generación de radicales hidroxilo (OH) los cuales se caracterizan por tener un alto potencial de oxidación incluso mayor que el Cl, el cual es el agente oxidante comúnmente utilizado; los radicales OH al ser formados colisionan con el contaminante provocando su oxidación, este mecanismo se lleva a cabo por las reacciones 1-4, por otra parte, el mecanismo (b) directo se genera cuando el O_3 colisiona directamente con el contaminante (reacción 5) [15].

Cuando es utilizado radiación UV y debido a que la matriz utilizada es agua, es generada la fotólisis (reacción 6) iniciando la oxidación del naranja ácido 52. El mecanismo de degradación empleando H_2O_2

es iniciado mediante su disociación generando radicales OH (reacción 7) y posteriormente, colisionan con el contaminante [9-15].

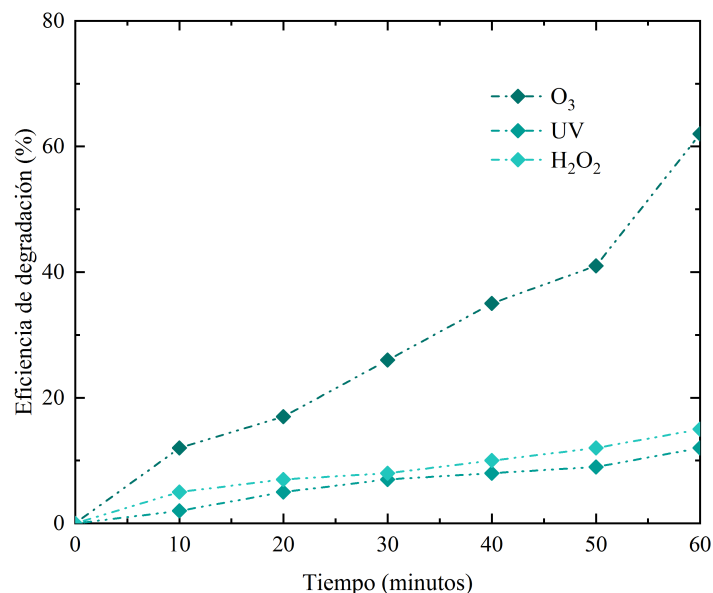
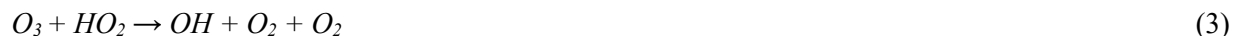


Figura 4. Resultados obtenidos para la degradación de sistemas individuales



3.2 Sistemas sinérgicos

En la **Figura 5** se observan los resultados en los sistemas combinados, obteniendo mejores resultados relativos a la eficiencia de degradación en comparación con los sistemas simples (**Figura 4**). Obteniendo eficiencias en un tiempo de tratamiento de 60 minutos de hasta 85% para O₃/UV, 54% para el sistema de O₃/1 mL de H₂O₂ y 99% para O₃/UV/1 mL de H₂O₂. La presencia de la radiación UV en los sistemas combinados conlleva a promover la disociación del O₃ y del H₂O₂, es decir, que se promueve el mecanismo de generación de OH y por tanto se beneficia el proceso de degradación esto puede ser observado para el caso de O₃/UV y O₃/H₂O₂/UV mediante las reacciones 8-10, así mismo, la combinación con H₂O₂ permite que la generación de una mayor cantidad de radicales OH (reacción 11) [9-15] que con la presencia de UV se acelera este proceso.

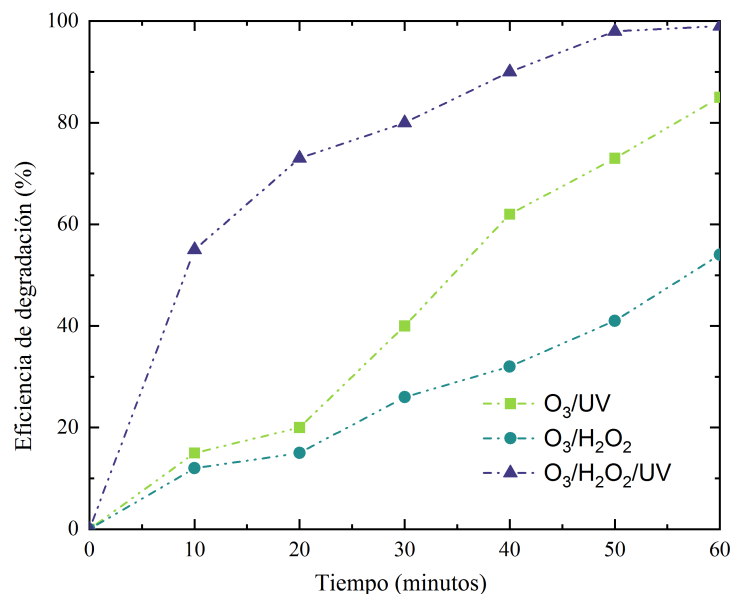


Figura 5. Resultados obtenidos para la degradación de sistemas individuales



3.3 Variación del pH y CO₂

En la **Figura 6** se observan los resultados obtenidos de la medición de pH al finalizar el tratamiento para todos los casos de estudio, es importante mencionar que el pH inicial fue de 5, para todos los métodos de tratamiento utilizados a excepción del sistema simple de UV se determinó que el pH disminuyó, esto está relacionado con el mecanismo de degradación, de acuerdo [16] mediante un análisis de GC-MS identificaron después de 4 horas de tratamiento del NA aplicando métodos electroquímicos, hidroquinonas y cadenas cortas de compuestos orgánicos, así mismo, estudios de la degradación de hidroquinona por vía radicales OH como [17] indican la formación de ácidos carboxílicos como oxálico, maleico y acético principalmente, por lo que en este trabajo al determinar una disminución de pH indicaría la formación de subproductos con características ácidas, alcanzando una mayor formación de estas especies para sistemas combinados. Finalmente, el proceso de degradación culmina con la formación de CO₂ y H₂O, alcanzando un porcentaje de mineralización; para esta investigación se realizó la medición de CO₂, en la **Tabla 1** se observan los resultados obtenidos al finalizar el proceso en donde para la mayoría de los TAOs aplicados se determinó la generación de CO₂, lo cual indicaría que se alcanzaron diversos niveles de oxidación, obteniendo los niveles más altos para el sistema combinado de O₃/H₂O₂/UV para el cual también se obtuvo una mejor eficiencia de degradación y una mayor disminución del color (**Tabla 1**), esto atribuido a lo explicado en la sección 4.1.

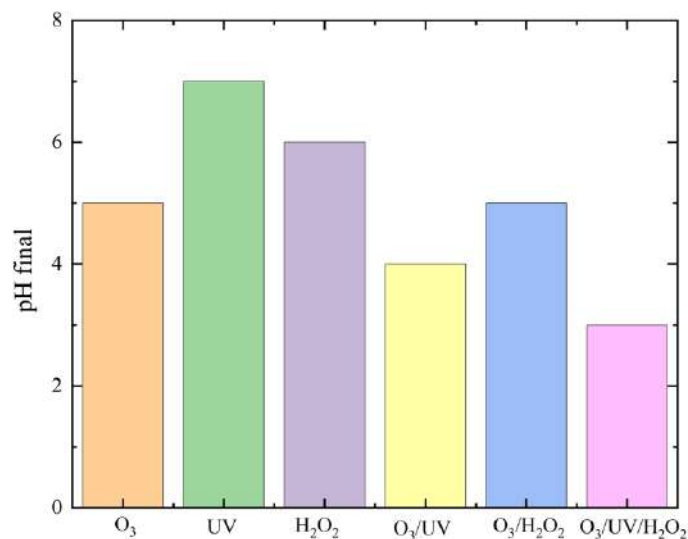


Figura 6. pH final obtenido del tratamiento de naranja ácido 52.

Tabla 1. Determinación del color y CO₂ al final del tratamiento

Método de tratamiento	Medición de color (UPC)	Medición de CO ₂ (mg/L)
Al inicio del tratamiento	500	0
O ₃	25	17
UV	120	0
H ₂ O ₂	100	5
O ₃ /UV	20	12
O ₃ /H ₂ O ₂	30	10
O ₃ /UV/H ₂ O ₂	0	35

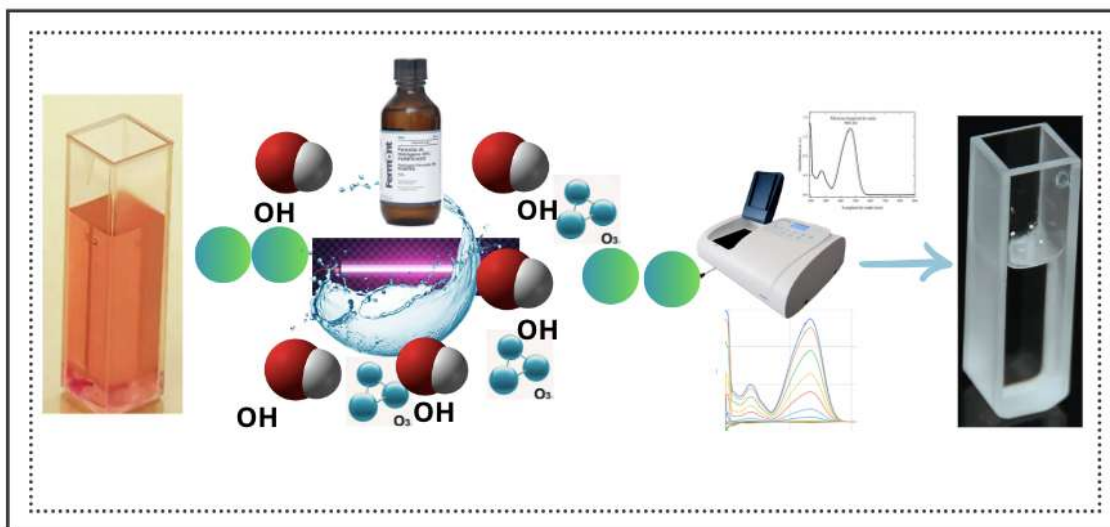
4. Conclusiones

Las tecnologías avanzada de oxidación son una alternativa para el tratamiento de contaminantes presentes en agua que son persistentes a los métodos convencionales, los cuales se caracterizan por la utilización de agentes oxidantes los cuales llevan a cabo mecanismos cinéticos generando radicales OH, caracterizados por poseer una alto poder de oxidación e incluso logrando la mineralización de los contaminantes. En esta investigación se observó que la generación de estos radicales y por lo tanto la eficiencia de degradación depende directamente de los agentes oxidantes, obteniendo mejores resultados cuando son utilizados de forma sinérgica, obteniendo eficiencias de hasta el 99% para O₃/UV/H₂O₂, se determinó que el tiempo de tratamiento es un parámetro que contribuye a la obtención de mejores eficiencias. Por otra parte, al final del tratamiento se observó una variación del pH, el cual disminuyó lo cual esta atribuido a la generación de subproductos de la degradación en ácidos carboxílicos de bajo peso molecular y finalizando con la formación de H₂O y CO₂, en donde este último fue medido al finalizar el tratamiento.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México, por el soporte económico para el desarrollo de la investigación a través de la convocatoria Proyectos de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación (20409.24-PD). También se expresa un agradecimiento especial a E. S. Montes y M. J. Jaramillo por el apoyo otorgado.

6. Resumen Grafico



7. Referencias

- [1] Zulfikhar A Ali et al., "A review of emerging photo induced degradation methods for per- and polyfluoroalkyl substances in water," *CURRENT OPINION IN CHEMICAL ENGINEERING*, vol. 41, pp. 100947, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.coche.2023.100947>.
- [2] Nada Elmerhi et al., "Enzyme-immobilized hierarchically porous covalent organic framework biocomposite for catalytic degradation of broad-range emerging pollutants in water," *JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS*, vol. 459, pp. 132261, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132261>.
- [3] Mohammed Al-Sharabi et al., "Magnetic zinc oxide/silica microbeads for the photocatalytic degradation of azo dyes" *COLLOIDS AND SURFACES A: PHYSICOCHEMICAL AND ENGINEERING ASPECTS*, vol. 695, pp. 134169, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.134169>.
- [4] Vaishali Gupta et al., "Improved photocatalytic degradation of Rhodamine B dye using $\text{Bi}_{10.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3$ ferroelectric nanoparticles: Optimization of pH and poling" *CHEMISTRY OF INORGANIC MATERIALS*, vol. 3, pp. 100051, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cinorg.2024.100051>.
- [5] Tao Xia et al., "Degradation of methyl orange by zero-valent tungsten without external oxidants," *DESALINATION AND WATER TREATMENT*, vol. 317, pp. 100152, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100152>.
- [6] Hossein Bayahia, "Schinus molle extract mediated green synthesis of iron niobate photocatalyst for the degradation of methyl orange dye under visible light," *JOURNAL OF SAUDI CHEMICAL SOCIETY*, vol. 28, pp. 101876, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2024.101876>.

- [7] Chen, J.Q et al., “Study on degradation of methyl orange using pelagite as photocatalyst,” JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS B, vol. 138, pp. 182-186, 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.05.049>.
- [8] Brajendra Singh et al., “Wastewater treatment using Fe-doped perovskite manganites by photocatalytic degradation of methyl orange, crystal violet and indigo carmine dyes in tungsten bulb/sunlight,” JOURNAL OF RARE EARTHS, vol. 41, pp. 1311e1322, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jre.2022.09.010>.
- [9] Parvez Mahbub A Ali et al., “Scalability of advanced oxidation processes (AOPs) in industrial applications: A review,” JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, vol. 345, pp.: 118861, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118861>.
- [10] Manoj P. Rayaroth et al., “Advanced oxidation processes (AOPs) based wastewater treatment - unexpected nitration side reactions - a serious environmental issue: A review” CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL, vol. 430, pp.: 133002, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133002>
- [11] M.M. M’Arimi et al., “Recent trends in applications of advanced oxidation processes (AOPs) in bioenergy production: Review,” RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS, vol. 121, pp.: 109669, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109669>
- [12] Tayyaba Jamil, “Role of advance oxidation processes (AOPs) in textile wastewater treatment: A critical review” DESALINATION AND WATER TREATMENT, vol. 318, pp. : 100387, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100387>
- [13] Zohaib Saddique et al., “Band engineering of BiOBr based materials for photocatalytic wastewater treatment via advanced oxidation processes (AOPs) – A review” WATER RESOURCES AND INDUSTRY, vol. 29, pp. 100211, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2023.100211>
- [14] Eman H. Khader et al., “Recent advances in photocatalytic advanced oxidation processes for organic compound degradation: A review” DESALINATION AND WATER TREATMENT, vol. 318, pp. 100384, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100384>
- [15] Stephan Zimmermann et al., “Degradation and mineralization of anti-cancer drugs Capecitabine, Bicalutamide and Irinotecan by UV-irradiation and ozone”, CHEMOSPHERE, vol. 356, pp. 141780, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141780>
- [16] Lin Du et al., “Degradation mechanism of Methyl Orange by electrochemical process on RuOx–PdO/Ti electrode”, WATER SCIENCE & TECHNOLOGY, vol. 63, pp. 1539-1545, 2021, doi: 10.2166/wst.2011.414
- [17] Vanessa N. Lima et al., “Application of the Fenton’s process in a bubble column reactor for hydroquinone degradation”, ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH, pp. 1-12, 2017, doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0746-z>