



**UJAT**

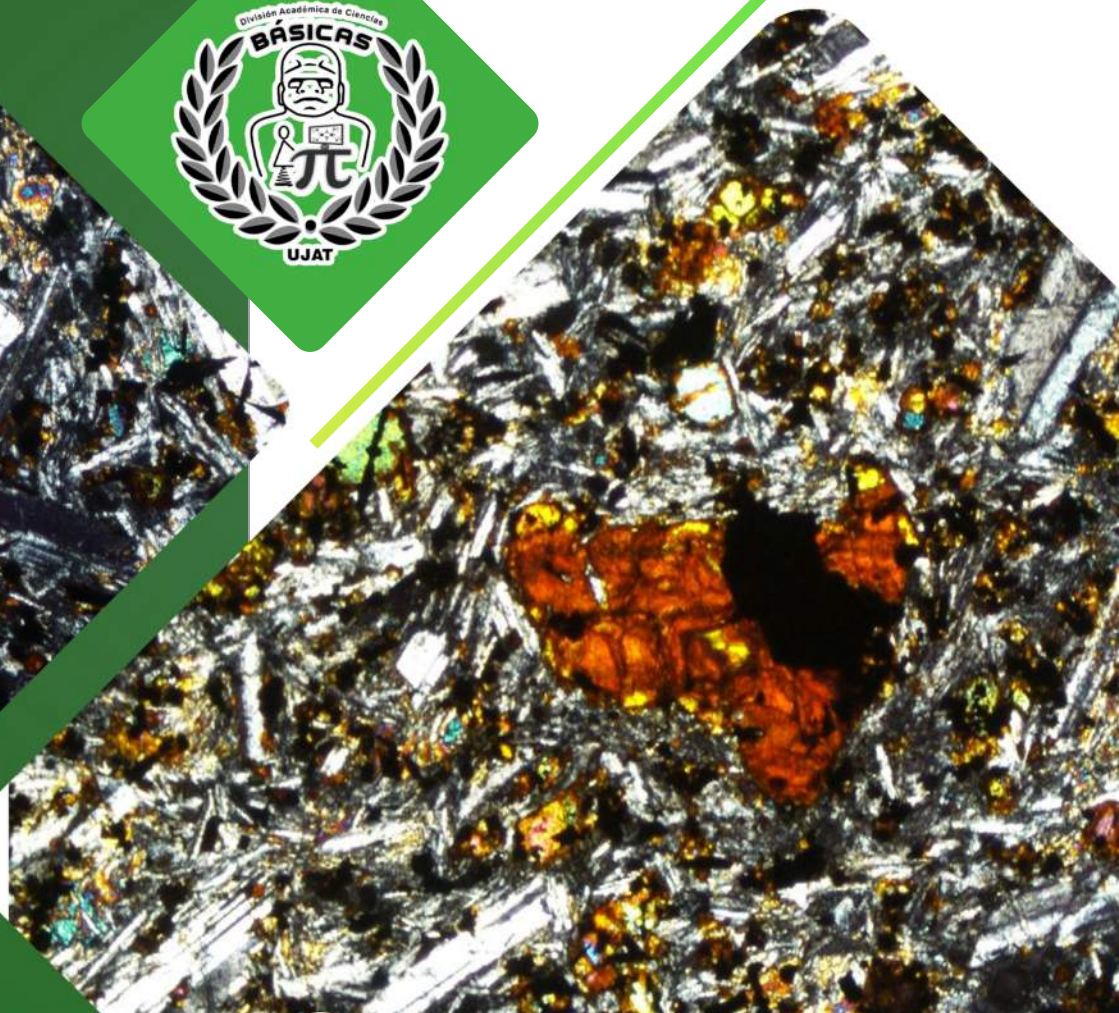
UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

# **JOBS**

**Journal of Basic Sciences**

DACB • UJAT

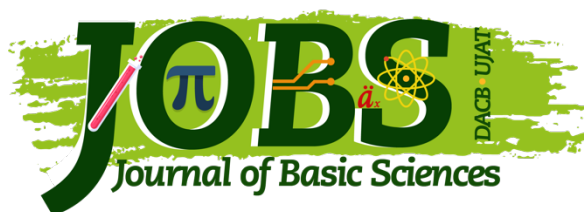




**UJAT**

UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



El presente número del Journal of Basic Sciences está integrado por seis contribuciones que, desde distintos campos de las ciencias naturales y matemáticas, ponen de relieve una característica fundamental en la investigación contemporánea que es la diversidad de enfoques y metodologías aplicadas en la búsqueda de soluciones y respuestas ante problemáticas específicas. Aun cuando el contexto y los objetos de estudios son diversos, desde las ciencias de la tierra hasta el análisis funcional, la física teórica o la teoría de categorías, en todos ellos se comparte un interés común: abundar en la comprensión de los fenómenos abordados, mediante herramientas metodológicas rigurosas.

El primer artículo, realizado en el campo volcánico "La Repartición", situado al noreste de San Luis Potosí, se enfoca en el análisis de la distribución de tamaño de cristales y el cálculo de los tiempos de residencia de microcristales de plagioclasa en este escenario geológico, muy apropiado para el estudio de procesos magmáticos. Con los resultados obtenidos, se enriquece la comprensión de la evolución textural de las rocas máficas y se subraya la importancia de los estudios microestructurales para reconstruir la dinámica interna de los sistemas volcánicos.

En la segunda contribución, se pone de manifiesto también el interés por estudiar la interacción entre procesos naturales y condiciones locales, ya que se examina la composición mineralógica y edafológica de suelos en Huimanguillo y Jalpa de Méndez, Tabasco. Mediante estudios de difracción de rayos X y trabajo en campo, se encuentran diferencias sustanciales en la mineralogía, las propiedades físicas y la capacidad de intercambio iónico de los suelos, revelando así tanto la variabilidad intrínseca de los mismos como la influencia de actividades antropogénicas. Con este trabajo, se ofrecen insumos valiosos destinados a un manejo sostenible de los suelos en la región.

Las síntesis y propiedades catalíticas del óxido de zinc se estudian en el tercer artículo de este número, mediante técnicas analíticas apropiadas se logró la caracterización de este compuesto obtenido mediante combustión en estado sólido, además de que se probó su actividad para la degradación del 4-nitrofenol en condiciones de fotocatalisis, probándose así que puede ser un material promisorio para aplicarse exitosamente en el área de la química ambiental.

El cuarto trabajo se incluye en el ámbito de la probabilidad y el análisis, al analizar las propiedades fundamentales del kernel de calor de Dirichlet asociado a procesos de Markov simétricos, potencialmente discontinuos. Al demostrar una serie de características tales como continuidad, simetría y la ecuación de Chapman-Kolmogorov, se fortalece la comprensión teórica del fenómeno, además de hacer posible su aplicación en ecuaciones semilineales de reacción-difusión no autónomas. De esta forma se entrelazan procesos estocásticos con problemas de evolución gobernados por operadores no locales.





**UJAT**

UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



Por otro lado, se presenta en el quinto artículo una reconstrucción precisa de la deducción de Feynman de las ecuaciones de Maxwell. A partir de la segunda ley de Newton y de las relaciones de Poisson en un espacio euclídeo, el análisis se extiende a un marco relativista mediante cálculos tensoriales en el espacio de Minkowski. Con ello, se abunda en la comprensión de los supuestos fundamentales de la derivación original, fortaleciendo así la formulación pedagógica del problema e integrando el principio de acoplamiento mínimo con los desarrollos de Montesinos y Pérez-Lorenzana.

Finalmente, en la sexta contribución de este número, se profundiza en conceptos centrales de la teoría de categorías, como son la representabilidad, los objetos universales y el Lema de Yoneda. Mediante una serie de ejemplos que abarcan áreas de las matemáticas como el álgebra lineal, la topología y la teoría de anillos, se ofrece una ruta clara hacia la comprensión de estas nociones, contribuyendo así a una difusión de ideas fundamentales que forman parte del pensamiento matemático moderno.

En conjunto, los trabajos incluidos en este número ilustran la riqueza interdisciplinaria de la investigación actual y subrayan el valor del rigor científico, desde sus aspectos conceptuales hasta los metodológicos, para la generación de conocimiento. Que estas aportaciones sirvan de inicio para nuevas dudas e inquietudes, fomentando la interacción académica y estimulando el desarrollo de investigaciones futuras.



**UJAT**

UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



## DIRECTORIO INSTITUCIONAL

### Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Lic. Guillermo Narváez 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



**UJAT**

UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



## CONSEJO EDITORIAL

- **Dr. Carlos Ernesto Lobato García.** Editor en Jefe. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0003-3734-7780>
- **Dr. Adib Abiu Silahua Pavón.** Gestor Editorial. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0001-5344-1430>

## COMITÉ EDITORIAL

- **Mtra. Claudia Gisela Vázquez Cruz.** Editora Asociada. Actuaría. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0009-0002-1791-5621>
- **Mtra. María Hortensia Almaguer Cantú.** Editora Asociada. Ciencias de la Computación. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0009-0007-7839-9014>
- **Dr. José Arnold González Garrido.** Editor Asociado. Ciencias Farmacéuticas. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0000-0003-1135-4050>
- **Dr. José Luis Benítez Benítez.** Editor Asociado. Física. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0009-0000-0561-5029>
- **Mtro. Guillermo Chávez Hernández.** Editor Asociado. Geofísica. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0002-3555-9678>
- **Dra. Addy Margarita Bolívar Cimé.** Editora Asociada. Matemáticas. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0002-7342-0888>
- **Dra. Nancy Romero Ceronio.** Editora Asociada. Química. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0001-8169-3811>

JOURNAL OF BASIC SCIENCES, Vol. 11, Núm. 32, diciembre de 2025, es una publicación continua cuatrimestral, editada por la División Académica de Ciencias Básicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, C.P. 86040, Villahermosa Tabasco, México. Tel. (+52) (933) 358 1500 Ext. 5040. <https://revistajobs.ujat.mx>. Editor Responsable de la Revista: Carlos Ernesto Lobato García. Reserva de derechos al uso exclusivo 04-2015-052110084000-203, ISSN: 2448-4997, ambos otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Centro, Tabasco. C.P. 86040. Fecha de última actualización, 30 de enero de 2025.



Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación y de esta Casa Editora.

Las publicaciones respaldadas con el sello editorial de la UJAT no podrán utilizarse para entrenar modelos de IA generativa, a menos de que haya una declaración expresa, tanto de la Universidad como de los autores y/o herederos.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>Distribución de tamaño de cristales y tiempo de residencia en rocas máficas del Complejo La Repartición, San Luis Potosí, México</b>	<b>1-9</b>
<b>Caracterización Mineralógica y Edafológica de los Suelos de Huimanguillo y Jalpa de Méndez, Tabasco</b>	<b>10-19</b>
<b>Propiedades Fotocatalíticas del ZnO Sintetizado por Combustión en Estado Sólido: Análisis Estructural y Degradación de 4-Nitrofenol</b>	<b>20-28</b>
<b>Propiedades elementales del kernel de calor de Dirichlet para procesos de Markov simétricos y sus aplicaciones</b>	<b>29-51</b>
<b>Deducción de las ecuaciones de Maxwell mediante la prueba de Feynman-Dayson y su generalización relativista</b>	<b>52-67</b>
<b>Funtores representables, lema de Yoneda y objetos universales.</b>	<b>68-84</b>

## **Propiedades Fotocatalíticas del ZnO Sintetizado por Combustión en Estado Sólido: Análisis Estructural y Degradación de 4-Nitrofenol**

**Alejandro-López, A.<sup>1</sup>, Serrano de la Rosa, L.<sup>2</sup>, Castillejos-Mosqueda, S.<sup>3</sup>, Cerna-Cortez, J.<sup>4</sup>, Silahua-Pavón, A.<sup>1</sup>, Cervantes-Urbe, A.<sup>1\*</sup>, Martínez-Gómez, C.<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Centro de Investigación de Ciencia y Tecnología Aplicada de Tabasco (CICTAT), DACB, Km.1 carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, C.P. 86690, A.P. 24, Cunduacán (Tabasco), México.

<sup>2</sup>Laboratorio Central IFUAP, Av. San Claudio y Blvd. 18 sur, Ed. EMA 1, Ciudad Universitaria, Col. San Manuel, C.P. 72570 Puebla, Puebla.

<sup>3</sup>Centro Avanzado de Pruebas Analíticas no destructivas, Edificio FCQ-12, Valsequillo s/n Col. San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Puebla.

<sup>4</sup>Facultada de Ciencias Químicas BUAP, Av. Universidad, Edif. 1-FCQ9, Ciudad Universitaria, Col. San Manuel, C.P. 72570 Puebla, Puebla.

<sup>5</sup>Departamento de Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato de la Universidad de Guanajuato, Noria Alta s/n, Col. Noria Alta, Gto, Guanajuato, C. P. 36050.

\*[adrian.cervantes@ujat.mx](mailto:adrian.cervantes@ujat.mx)

---

### **Resumen**

Este estudio presenta la síntesis y caracterización del óxido de zinc (ZnO) mediante combustión en estado sólido, y su aplicación en la fotodegradación del 4-nitrofenol (4-NP). El ZnO obtenido mostró una estructura cristalina hexagonal tipo wurtzita. La espectroscopía UV-Vis reveló un band gap de 3.31 eV y un área superficial específica de 0.63 m<sup>2</sup>/g. Este óxido de zinc presentó actividad fotocatalítica en la degradación de 4-Nitrofenol (4-NP). Estos resultados demuestran que la combustión en estado sólido es un método eficaz para producir ZnO con propiedades óptimas para aplicaciones ambientales, sin necesidad de agentes químicos adicionales.

**Palabras claves:** ZnO, Fotocatálisis, 4-Nitrofenol, Combustión en estado sólido.

### **Abstract**

This study presents the synthesis and characterization of zinc oxide (ZnO) through solid-state combustion and its application in the photodegradation of 4-nitrophenol (4-NP). The obtained ZnO exhibited a hexagonal wurtzite crystal structure. UV-Vis spectroscopy revealed a band gap of 3.31 eV and a specific surface area of 0.63 m<sup>2</sup>/g. This zinc oxide demonstrated photocatalytic activity in the degradation of 4-nitrophenol (4-NP). These results show that solid-state combustion is an effective method for producing ZnO with optimal properties for environmental applications, without the need for additional chemical agents.

**Keywords:** ZnO, Photocatalysis, 4-Nitrophenol, Solid-estate combustion

---

Recibido: 19 de agosto de 2024, Aceptado: 04 de agosto de 2025, Publicado: 12 de diciembre de 2025

## 1. Introducción

El óxido de zinc (ZnO) es un material semiconductor de gran interés debido a sus propiedades únicas, como su amplia banda prohibida ( $\sim 3.37$  eV), y sus diversas aplicaciones en campos como la fotocatalisis, sensores [1], [2], dispositivos optoelectrónicos y materiales antimicrobianos [3], [4]. La morfología y las propiedades estructurales del ZnO juegan un papel crucial en su rendimiento en aplicaciones específicas, por lo que la síntesis controlada de ZnO con características morfológicas deseadas ha sido objeto de numerosos estudios científicos [5]. Diversos métodos de síntesis, tales como la precipitación química, sol-gel, hidrotermal y deposición por vapor químico, han sido empleados para producir ZnO con variadas morfologías, como nanorods, nanoflowers, nanospheres y nanosheets [6], [7], [8]. Estas morfologías pueden influir significativamente en las propiedades ópticas, electrónicas y catalíticas del ZnO. La síntesis de ZnO con morfologías específicas, como nanorods y nanoplates, puede optimizar sus propiedades catalíticas. Las estructuras jerárquicas tridimensionales del ZnO han mostrado un rendimiento mejorado en la producción de hidrógeno debido a la mayor área superficial y la mejor separación de cargas [9]. El óxido de zinc (ZnO) ofrece ventajas significativas sobre el óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) en aplicaciones fotocatalíticas debido a su mayor movilidad electrónica y menor tasa de recombinación de pares electrón-hueco. El ZnO presenta una mayor eficiencia en la absorción de luz UV y una mejor capacidad de separación de cargas, lo que mejora la eficiencia fotocatalítica [10], [6]. Además, la facilidad de dopaje y la capacidad de formar diversas morfologías nanoscópicas hacen que ZnO sea más versátil y eficiente en la degradación de contaminantes y la producción de hidrógeno [11]. Las estructuras jerárquicas del ZnO, como nanoflowers y nanorods, han demostrado ser altamente efectivas en la fotodegradación de contaminantes, incluyendo tintes y compuestos orgánicos volátiles. Estas morfologías ofrecen una mayor área superficial y una mejor dispersión de la luz, mejorando la actividad fotocatalítica [12]. Estudios han demostrado que los nanorods y nanosheets son efectivos en la degradación del 4-nitrofenol, un contaminante orgánico común. Estas estructuras permiten una mejor interacción con el contaminante y una mayor generación de especies reactivas de oxígeno [13]. La síntesis del ZnO con estructuras jerárquicas ha mostrado una eficiencia mejorada en la fotodegradación de 4-nitrofenol, atribuido a la alta área superficial y la óptima exposición de los sitios catalíticos [14]. En este estudio, presentamos un análisis de la morfología y de las propiedades fisicoquímicas del ZnO obtenido mediante nuestro método de síntesis, “Combustión en estado sólido”, y evaluamos la actividad catalítica en la fotodegradación del 4-Nitrofenol.

## 2. Metodología Experimental

### 2.1 Síntesis del óxido de zinc

Se utilizó el reactivo nitrato de zinc, el cual se disolvió en 100 mL de agua la cantidad necesaria para obtener 1 gramo de óxido de zinc. Se mantuvo en agitación por 12 horas. Posteriormente se recristalizó en nitrato de zinc extrayendo el disolvente por evaporación lenta a  $60^\circ\text{C}$  por 24 h. El producto obtenido fue calcinado con una rampa de  $2^\circ\text{C}/\text{min}$  hasta alcanzar los  $500^\circ\text{C}$  y se mantuvo a esa temperatura por 4 h. Esta metodología de síntesis se le ha denominado combustión en estado sólido.

### 2.2 Difracción de rayos X

El análisis de difracción de rayos X se utilizó para determinar la composición de las fases del polvo. La difracción de rayos X (XRD) se realizó utilizando un difractómetro Bruker D2 PHASER con una fuente de



radiación Co K $\alpha$  ( $\lambda = 0,179$  nm) durante un tiempo de análisis de 660 segundos. El análisis se llevó a cabo en el rango de 20° a 80°. La base de datos JADE 6 se utilizó para completar la identificación de las fases.

### 2.3 Espectroscopía de Reflectancia Difusa UV-Vis (DRS UV-Vis)

El espectro de reflectancia difusa UV-Vis se realizó en un espectrofotómetro Varian Cary 300, en el rango de 800 a 200 nm, equipado con una esfera integradora. Se utilizó BaSO<sub>4</sub> con una reflectividad del 100% como referencia. La energía de band gap ( $E_g$ ) de la muestra se estimó a partir de los espectros de absorción UV teniendo en cuenta la Ecuación 1.

$$\alpha(E) \propto (E - E_g)^{m/2} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde  $\alpha(E)$  es el coeficiente de absorción para un fotón de energía  $E$ , y  $m=4$  para una transición indirecta entre bandas.

### 2.4 Adsorción-Desorción de Nitrógeno

La determinación del área específica, diámetro y volumen de poro de los catalizadores se llevó a cabo mediante la técnica de fisisorción de N<sub>2</sub>. Se realizó en un equipo de medición de área superficial, MICROMERITICS TRISTAR 3020 II a 77 K (-196 °C). Para eliminar impurezas, se pesó una muestra de 0.1 g y se degasificó durante 3 horas a 300 °C. Los datos se analizaron utilizando el método BET (Brunauer, Emmet y Teller) y la distribución de poros se determinó mediante DFT.

### 2.5 Prueba fotocatalítica

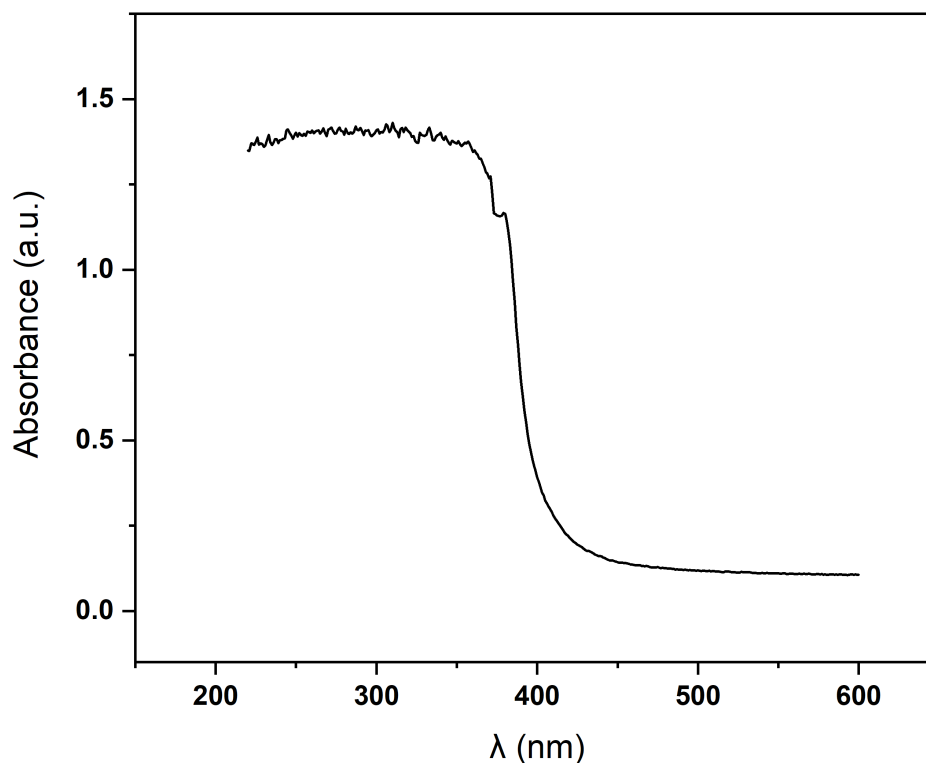
Las pruebas de degradación fotocatalítica se llevaron a cabo en un reactor fotoquímico provisto de irradiación de luz UV ( $\lambda = 365$  nm) utilizando una lámpara de mercurio (25 W). El fotocatalizador (0.1 g/L) se dispersó en 200 mL de una solución acuosa de 4-nitrofenol (4-NP) (15 ppm) a pH natural. Como fuente de oxígeno, se proporcionó un flujo de aire (3.2 L/min) para obtener 8.4 mg/L de oxígeno disuelto. Antes de encender la lámpara, la suspensión se agitó continuamente a 700 rpm durante 60 minutos en la oscuridad para asegurar el establecimiento de un equilibrio de adsorción-desorción entre el fotocatalizador y el contaminante. El sistema se mantuvo con agua circulante a temperatura ambiente y confinado en una caja oscura con protección contra luz UV. Aproximadamente 3 mL de la suspensión fueron muestreados y filtrados (nylon, 0.45  $\mu$ m) para determinar la concentración residual de 4-NP mediante un espectrofotómetro UV-Vis (Varian, Cary 300). A partir de los resultados obtenidos, se calculó el porcentaje de degradación. Para determinar los porcentajes de degradación se utilizó la Ecuación 2.

$$x(\%) = \frac{[4NP^0] - [4NP]}{[4NP^0]} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde  $[4NP^0]$  (ppm) es la concentración cuando se enciende la luz para iniciar el proceso de fotodegradación y  $[A]$  (ppm) es la concentración después de 6 horas de irradiación.

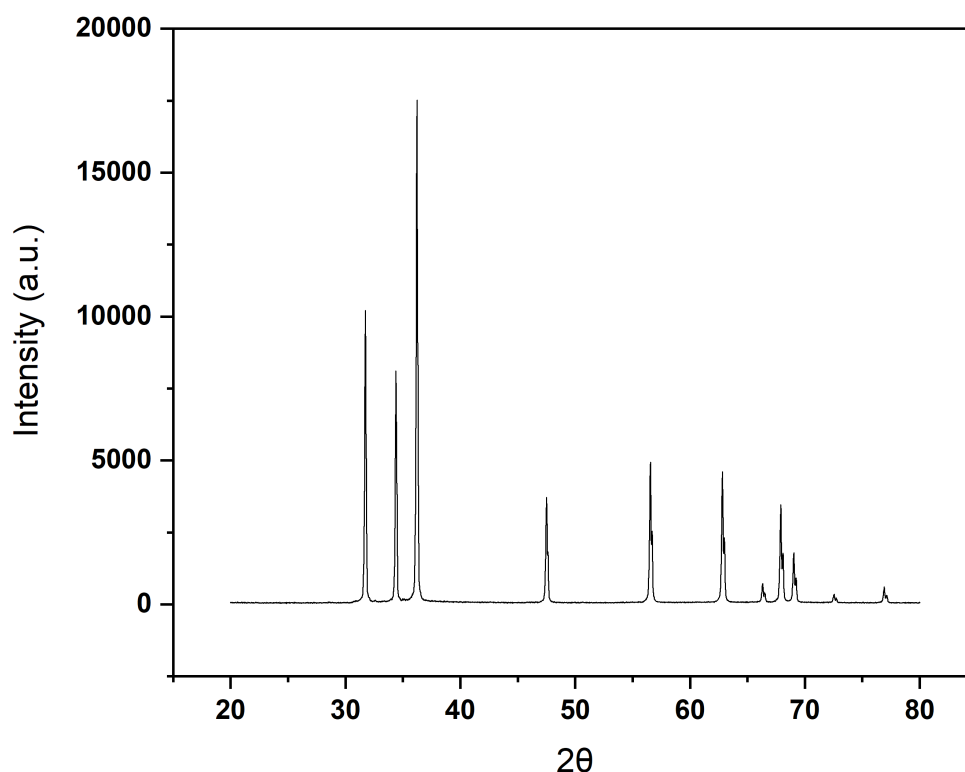
### 3. Resultados y Discusión

El espectro UV-Vis del óxido de zinc (ZnO) sintetizado muestra una absorción en el rango de 300-400 nm, con un borde de absorción alrededor de 375 nm, véase Figura 1. Este comportamiento es típico del ZnO y corresponde a su transición de banda prohibida (band gap). Se calculó la energía del band gap y el valor es aproximadamente 3.31 eV. La fuerte absorción en el rango UV indica que el material sintetizado tiene una estructura adecuada y está libre de contaminantes que puedan alterar sus propiedades ópticas. Esto es confirmado en literatura por los valores similares de band gap para ZnO puro, alrededor de 3.26 eV y 3.3 eV, utilizando espectroscopía UV-Vis [15]. Estos resultados sugieren que el método de combustión en estado sólido es eficaz para la síntesis del ZnO, produciendo materiales de alta pureza con propiedades ópticas coherentes con las reportadas en la literatura científica [16].



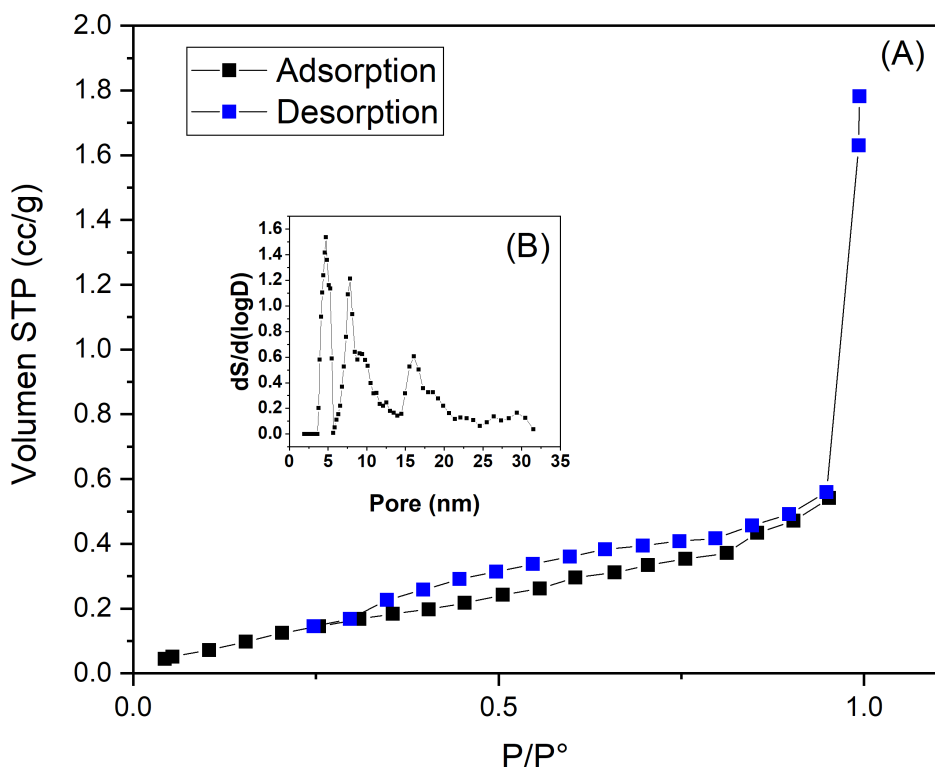
**Figura 1.** Espectro de absorción del óxido de zinc.

El patrón de difracción de rayos X (XRD) de la muestra de ZnO muestra varias señales en  $2\theta \approx 31.8^\circ$ ,  $34.4^\circ$ ,  $36.2^\circ$ ,  $47.5^\circ$ ,  $56.6^\circ$ ,  $62.8^\circ$ ,  $66.3^\circ$ ,  $67.9^\circ$  y  $69.1^\circ$ , véase Figura 2. Estos picos corresponden a los planos cristalinos (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112) y (201) del ZnO con estructura wurtzita, respectivamente; véase Figura 2. La presencia de estas señales confirma que la muestra de ZnO tiene una estructura cristalina hexagonal tipo wurtzita. Este resultado es consistente con los datos de la carta de referencia JCPDS No. 01-079-0205 para ZnO.



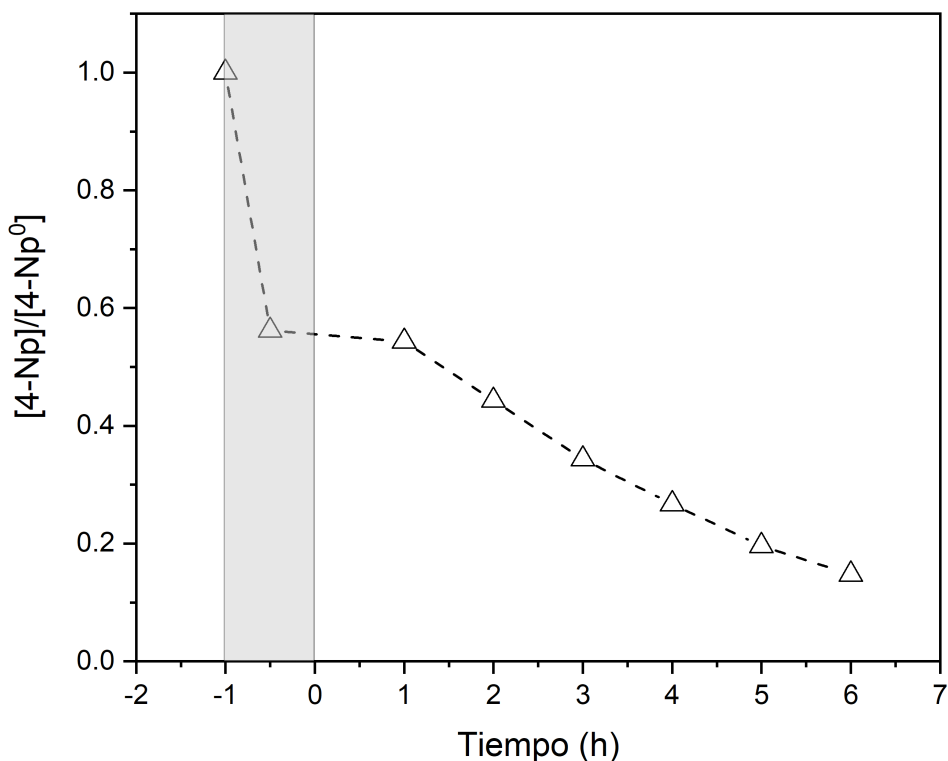
**Figura 2.** Difracción de rayos x del Oxido de Zinc.

La isoterma de adsorción-desorción de nitrógeno proporciona información sobre las propiedades texturales del material, como el área superficial específica, el volumen de poros y la distribución de tamaño de poros. Los resultados de adsorción-desorción isotérmica de la muestra de ZnO muestra en la Figura 3. La isoterma del ZnO se asemeja a una isoterma tipo IV según la clasificación de la IUPAC. Este tipo de isoterma es característico de materiales mesoporosos, que presentan poros con tamaños en el rango de 2 a 50 nm [17]. La adsorción se incrementa a medida que la presión relativa se aproxima a 1, presentando un incremento abrupto el cual es asociado a la condensación capilar en mesoporos. En relación con el bucle de histéresis parece similar al tipo H2, que está asociado con materiales que tienen poros de botella de tinta o sistemas de poros desordenados. Esta histéresis se caracteriza por una rama de desorción más inclinada que la de adsorción. La distribución de tamaños de poro obtenida mediante DFT confirma que el material tiene una estructura porosa compleja, con una combinación de mesoporos pequeños (2-5 nm) y medianos a grandes (10-15 nm). Esto es consistente con la isoterma de adsorción-desorción que mostró un bucle de histéresis H2. La muestra de ZnO presenta un área superficial específica de 0.63 m<sup>2</sup>/g. Aunque este valor es bajo, sigue siendo suficiente para proporcionar una superficie activa.



**Figura 3.** Proceso de adsorción-desorción de nitrógeno (A) y distribución de tamaño de poro (B).

La Figura 4 presenta la degradación del 4-nitrofenol (4-NP) normalizada en función del tiempo. La zona en gris representa la etapa de equilibrio en oscuridad. Durante la etapa de equilibrio, la concentración de 4-NP disminuye ligeramente antes de la irradiación UV. Este fenómeno se debe a la adsorción del 4-NP en la superficie del ZnO. La adsorción previa del 4-NP en la oscuridad asegura que una fracción significativa del contaminante esté disponible en la superficie del ZnO cuando comience la irradiación UV. Una vez iniciada la irradiación UV, se observa una disminución significativa y continua de la concentración de 4-NP. El ZnO genera pares electrón-hueco. Estos electrones y huecos pueden reaccionar con las moléculas de agua y oxígeno adsorbidas en la superficie del ZnO, generando especies reactivas de oxígeno (ERO) como radicales hidroxilos [18]. La alta cristalinidad del ZnO, proporciona sitios activos que mejoran la eficiencia fotocatalítica. Estos defectos actúan como centros de captura para los electrones y huecos, reduciendo la recombinación y aumentando la generación de ERO [19].



**Figura 4.** Concentración normalizada del 4-Nitrofenol en función del tiempo.

#### 4. Conclusiones

El método de Combustión en Estado Sólido para la síntesis de ZnO ha demostrado ser una técnica efectiva para producir materiales con propiedades ópticas, estructurales y catalíticas deseables. Las caracterizaciones realizadas confirman que el ZnO sintetizado presenta una alta cristalinidad, defectos estructurales controlados, una adecuada área superficial específica y una notable eficiencia fotocatalítica en la degradación del 4-NP. Estos resultados sugieren que este método de síntesis es una alternativa factible y eficiente para la producción de fotocatalizadores basados en ZnO, libres de agentes químicos que puedan interferir o influenciar las propiedades del material.

#### 5. Agradecimientos

Agradecimientos especiales al CONAHCYT por el apoyo brindado a Alma Rosa Alejandro López, CVU 1232701.

#### 6. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún interés financiero competitivo conocido, ni relaciones personales que pudieran haber parecido influir en el trabajo presentado en este artículo.



## 7. Declaratoria de uso de Inteligencia Artificial

Los autores declaran que no han utilizado ninguna aplicación, software, páginas web de inteligencia artificial generativa en la redacción del manuscrito, en el diseño de tablas y figuras, ni en el análisis e interpretación de los datos.

## 8. Referencias

- [1] R. Hong, T. Pan, J. Qian, y H. Li, «Synthesis and surface modification of ZnO nanoparticles», *Chemical Engineering Journal*, vol. 119, n.o 2-3, pp. 71-81, jun. 2006, doi: 10.1016/j.cej.2006.03.003.
- [2] M. J. Zheng, L. D. Zhang, G. H. Li, y W. Z. Shen, «Fabrication And Optical Properties Of Large-Scale Uniform Zinc Oxide Nanowire Arrays By One-Step Electrochemical Deposition Technique», *Chemical Physics Letters*, vol. 363, n.o 1-2, pp. 123-128, sep. 2002, doi: 10.1016/S0009-2614(02)01106-5.
- [3] V. Consonni, «ZnO Nanowires: Growth, Properties, and Energy Applications», *Nanomaterials*, vol. 13, n.o 18, p. 2519, sep. 2023, doi: 10.3390/nano13182519.
- [4] M. Laurenti y V. Cauda, «ZnO Nanostructures for Tissue Engineering Applications», *Nanomaterials*, vol. 7, n.o 11, p. 374, nov. 2017, doi: 10.3390/nano7110374.
- [5] M. A. Borysiewicz, «ZnO as a Functional Material, a Review», *Crystals*, vol. 9, n.o 10, p. 505, sep. 2019, doi: 10.3390/cryst9100505.
- [6] Y. Sun et al., «The Applications of Morphology Controlled ZnO in Catalysis», *Catalysts*, vol. 6, n.o 12, p. 188, nov. 2016, doi: 10.3390/catal6120188.
- [7] X. Wang, M. Ahmad, y H. Sun, «Three-Dimensional ZnO Hierarchical Nanostructures: Solution Phase Synthesis and Applications», *Materials*, vol. 10, n.o 11, p. 1304, nov. 2017, doi: 10.3390/ma10111304.
- [8] Z. L. Wang, «Zinc Oxide Nanostructures: Growth, Properties And Applications», *J. Phys.: Condens. Matter*, vol. 16, n.o 25, pp. R829-R858, jun. 2004, doi: 10.1088/0953-8984/16/25/R01.
- [9] A. Ejsmont y J. Goscińska, «Hydrothermal Synthesis of ZnO Superstructures with Controlled Morphology via Temperature and pH Optimization», *Materials*, vol. 16, n.o 4, p. 1641, feb. 2023, doi: 10.3390/ma16041641.
- [10] C. Gao et al., «Brief Review of Photocatalysis and Photoresponse Properties of ZnO–Graphene Nanocomposites», *Energies*, vol. 14, n.o 19, p. 6403, oct. 2021, doi: 10.3390/en14196403.
- [11] V. Vaiano, O. Sacco, y M. Matarangolo, «Photocatalytic Degradation Of Paracetamol Under UV Irradiation Using TiO<sub>2</sub>-Graphite Composites», *Catalysis Today*, vol. 315, pp. 230-236, oct. 2018, doi: 10.1016/j.cattod.2018.02.002.
- [12] D. Bakranova y D. Nagel, «ZnO for Photoelectrochemical Hydrogen Generation», *Clean Technol.*, vol. 5, n.o 4, pp. 1248-1268, oct. 2023, doi: 10.3390/cleantechnol5040063.
- [13] X. Su et al., «Influence of Wurtzite ZnO Morphology on Piezophototronic Effect in Photocatalysis», *Catalysts*, vol. 12, n.o 9, p. 946, ago. 2022, doi: 10.3390/catal12090946.
- [14] S. Luo, R. Chen, L. Xiang, y J. Wang, «Hydrothermal Synthesis of (001) Facet Highly Exposed ZnO Plates: A New Insight into the Effect of Citrate», *Crystals*, vol. 9, n.o 11, p. 552, oct. 2019, doi: 10.3390/cryst9110552.
- [15] A. K. Zak, M. E. Abrishami, W. H. Abd. Majid, R. Yousefi, y S. M. Hosseini, «Effects Of Annealing Temperature On Some Structural And Optical Properties Of Zno Nanoparticles Prepared By A Modified Sol–Gel Combustion Method», *Ceramics International*, vol. 37, n.o 1, pp. 393-398, ene. 2011, doi: 10.1016/j.ceramint.2010.08.017.

- [16] S. Indrawirawan, H. Sun, X. Duan, y S. Wang, «Low Temperature Combustion Synthesis Of Nitrogen-Doped Graphene For Metal-Free Catalytic Oxidation», *J. Mater. Chem. A*, vol. 3, n.o 7, pp. 3432-3440, 2015, doi: 10.1039/C4TA05940A.
- [17] M. Thommes et al., «Physisorption Of Gases, With Special Reference To The Evaluation Of Surface Area And Pore Size Distribution (IUPAC Technical Report)», *Pure and Applied Chemistry*, vol. 87, n.o 9-10, pp. 1051-1069, oct. 2015, doi: 10.1515/pac-2014-1117.
- [18] A. Stanković, Lj. Veselinović, S. D. Škapin, S. Marković, y D. Uskoković, «Controlled Mechanochemically Assisted Synthesis Of ZnO Nanopowders In The Presence Of Oxalic Acid», *J Mater Sci*, vol. 46, n.o 11, pp. 3716-3724, jun. 2011, doi: 10.1007/s10853-011-5273-6.
- [19] K. S. W. Sing et al., «Reporting Physisorption Data for Gas/Solid Systems», en *Handbook of Heterogeneous Catalysis*, 1.a ed., G. Ertl, H. Knözinger, F. Schüth, y J. Weitkamp, Eds., Wiley, 2008, pp. 1217-1230. doi: 10.1002/9783527610044.hetcat0065.