

# REVISTA ESCARLATA MAYA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

Vol. 3, Núm. 1, enero-junio 2026



Actores presentes en la agroindustria  
de los alimentos, en Salvatierra,  
Guanajuato

Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas  
Facultad Maya de Estudios Agropecuarios



FACULTAD MAYA DE ESTUDIOS  
AGROPECUARIOS



**Revista Escarlata Maya**  
**de Ciencias Agropecuarias y Ambientales**  
*Vol. 3, Núm. 1, enero-junio 2026*



**DIRECTORIO**

**Dr. Oswaldo Chacón Rojas**  
Rector

**Dra. María del Carmen Vázquez Velasco**  
Secretaria General

**Dr. Florentino Pérez Pérez**  
Secretaria Académica

**M.C. Carlos Alberto Velázquez Sanabria**  
Director de la FMEA

**Dr. Facundo Sánchez Gutiérrez**  
Coordinador de Investigación y Posgrado de la FMEA

**Lic. Prisila Lizbeth Valencia Reyes**  
Secretaria Administrativa de la FMEA

*Revista Escarlata Maya de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Volumen 3, Número 1, enero-junio 2026. Publicación semestral de la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas - Facultad Maya de Estudios Agropecuarios (FMEA-UNACH) Carretera Catazajá-Palenque Km. 4 C.P. 29980, Catazajá, Chiapas. <https://www.escarlatamaya-facultadmaya.unach.mx/> Editor en jefe de la Revista: M.C. Carlos Alberto Velázquez Sanabria. Número de Reserva al Título en Derechos de Autor: En trámite. ISSN: en trámite. Ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Publicación semestral en línea. Responsable de la última actualización de este Número: Consejo Editorial Revista Escarlata Maya de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Última modificación 09 de abril del 2026 con tiraje de un ejemplar.*

**Equipo editorial**

**M.C. Carlos Alberto Velázquez Sanabria**  
Director de la revista  
**Dr. Jesús Benjamín Ponce-Noguez**  
Codirector de la revista  
**Ing. Pedro Chable Jiménez**  
Soporte de plataforma Web, formación,  
diseño y maquetación

**Consejo Editorial**

**M.C. Carlos Alberto Velázquez Sanabria**  
Director de la Facultad Maya de Estudios Agropecuarios  
**Dr. Jesús Benjamín Ponce-Noguez**  
Profesor, Facultad Maya de Estudios Agropecuarios.  
**Dra. Santa Dolores Carreño Ruiz**  
Coordinadora Académica de Ingeniería Agroindustrial  
**Dr. Froylan Rosales Martínez**  
Coordinador Académico de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
**Mtro. Carlos Alejandro González González**  
Coordinador Académico de Ingeniería Forestal  
**Dr. Victorio Moreno Jiménez**  
Coordinador Académico de la Licenciatura en Ingeniero Agrónomo  
**Dra. Abisag Antonieta Avalos Lázaro**  
Coordinadora Académica de la Licenciatura en Seguridad Alimentaria  
**Dr. Facundo Sánchez Gutiérrez**  
Coordinación de Investigación y Posgrado

*Las opiniones vertidas en los artículos de la presente edición no reflejan necesariamente las del consejo editorial de Revista Escarlata Maya de Ciencias Agropecuarias y Ambientales ni las de la Benemérita Universidad Autónoma de Chiapas - Facultad Maya de Estudios Agropecuarios (FMEA-UNACH). Todos los artículos son de creación original del o los autores, por lo que esta revista se deslinda de cualquier situación legal derivada por plagios, copias parciales o totales de otros artículos ya publicados y la responsabilidad legal recaerá directamente en el o los autores del artículo. Los artículos publicados, así como los contenidos e imágenes incluidos en la publicación de la revista, se distribuyen amparados bajo la licencia Creative Commons 4.0 (atribución-no comercial (CC BY-NC 4.0 internacional)), que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.*



## Comité Científico

### Facultad Maya de Estudios Agropecuarios

Dr. Ernesto Cárdenas Bejarano  
Dr. Hugo Josué Molina-Gómez  
Dr. Amador Martínez Hernández  
Dr. Juan Carlos Torres Ramírez  
Dra. Damaris Bárbara Amaya Pérez  
Dr. Geiner Francisco Álvarez Sánchez  
Dra. Abisag Antonieta Avalos Lázaro  
Dr. Bulmaro Méndez Arguello  
Dr. Israel Martínez Cruz.

### Universidad Autónoma de México. Campus Cuautitlán

Dr. Jorge Luis de la Rosa Arana

## Comité Editorial

### Facultad Maya de Estudios Agropecuarios

Dr. Leonel Cano Asencio  
Dr. Alex Ricardo Ramírez García  
Dr. Israel Martínez Cruz  
Dra. Gloria Isela Hernández Melchor  
Dr. Francisco Gerardo Gutiérrez García  
Dra. María Cristina García Ángel  
Dr. Guadalupe de Jesús Cruz Clemente  
Mtra. Perla Alejandra Flores Alonso  
Dra. Arely Bautista Gálvez

### Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Dr. Fabián Ricardo Gómez de Anda

### Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional.

Dr. Benjamín Noguera Torres

### Colegio de Postgraduados campus Campeches

Dra. Verónica Rosales Martínez

### Escuela de Estudios Agropecuarios Mezcalapa

Dr. Francisco Antonio Cigarroa Vázquez

### Universidad Veracruzana

Dr. Luis Moisés Morales Crispín

### Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Dr. Candelario Rodríguez Pérez  
Dr. Luis Daniel Jiménez Martínez



**Revista Escarlata Maya de Ciencias Agropecuarias y Ambientales**  
*Vol. 3, Núm. 1, enero-junio 2026*

*El objetivo es dar a conocer los resultados de las investigaciones producidas por cualquier institución científica, grupos de investigación, o persona incluidas en el ámbito científico con intención de difundir conocimiento científico relevante en los diversos campos disciplinares incluidos dentro de las Ciencias Agropecuarias o sus interacciones con otras disciplinas. Los contenidos de la revista están dirigidos a investigadores, académicos, estudiantes, y tomadores de decisiones en las diferentes industrias incluidas en el área de las ciencias Agropecuarias. Es una publicación bilingüe (español-ingles), de publicación continua de carácter semestral con dos números por año.*

*La Revista Escarlata Maya de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Es una revista científica editada por la Facultad Maya de Estudios Agropecuarios de la Universidad Autónoma de Chiapas. Todo el contenido es de acceso abierto y gratuito para los lectores. Para poder ofrecer revistas de acceso abierto, financiamos la publicación a través de cargos por procesamiento de artículos (APC); estos suelen estar cubiertos por los institutos de los autores o por los organismos de financiación de la investigación.*



## CONTENIDO

### **Actores presentes en la agroindustria de los alimentos, en Salvatierra, Guanajuato** ..... 7

Cárdenas-Bejarano E<sup>1</sup>; J. F. Núñez-Espinoza<sup>2, 1\*</sup>; H. Navarro-Garza<sup>2, 2\*</sup>; M. A. Pérez-Olvera<sup>2</sup>; L.G. Velázquez-Beltrán<sup>3</sup>; H. J. Molina-Gómez<sup>1</sup>; J. B. Ponce-Noguez<sup>1</sup>; G. F. Álvarez-Sánchez<sup>1</sup>; A. Martínez-Hernández<sup>1</sup>

### **Evaluación de las características nutricionales, digestibilidad *in situ* e *in vitro* del residuo generado de la criba de la semilla de girasol alto oleico** ..... 16










Carlos Enrique Mireles Martínez<sup>1</sup>; Laura Haydée Vallejo Hernández<sup>1\*</sup>; Francisco Javier Vera Vázquez<sup>2</sup>; J. Efrén Ramírez Bribiesca<sup>3</sup>; Ma. Magdalena Crosby Galván<sup>3</sup>; José Carlos Escobar España<sup>4</sup>; Andrea Sánchez Chávez<sup>1</sup>

### **Fotodegradación de azul de metileno utilizando CaO-ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> sintetizado por un proceso ecológico** ..... 21

R. Escobar-Velazquez<sup>1</sup>; R.M Sánchez-Albores<sup>1</sup>; O. Reyes-Vallejo<sup>2\*</sup>; H.H Torres-Ventura<sup>1\*</sup>; J. Escorcía-García<sup>3</sup>



## Actores presentes en la agroindustria de los alimentos, en Salvatierra, Guanajuato

Cárdenas-Bejarano E <sup>1</sup>	
J. F. Núñez-Espinoza <sup>2, 1*</sup>	
H. Navarro-Garza <sup>2, 2*</sup>	
M. A. Pérez-Olvera <sup>2</sup>	
L.G. Velázquez-Beltrán <sup>3</sup>	
H. J. Molina-Gómez <sup>1</sup>	
J. B. Ponce-Noguez <sup>1</sup>	
G. F. Álvarez-Sánchez <sup>1</sup>	
A. Martínez-Hernández <sup>1</sup>	

### Información del manuscrito

Fecha de envío: 08/Octubre/2024

1. *Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad Maya de Estudios Agropecuarios. Carretera Catazajá - Palenque, km 4. C.P. 29980.*
2. *Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Carretera México-Texcoco km 36.5, 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México.*
3. *Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, El Cerrillo Piedras Blancas, 50200, Toluca, México.*

<sup>1\*</sup> Corresponding author. E-mail: [nunezej@colpos.mx](mailto:nunezej@colpos.mx)

<sup>2\*</sup> Corresponding author. E-mail: [hermnav@colpos.mx](mailto:hermnav@colpos.mx)



---

*Abstract:***Keywords:**

corporations, corn, networks, technology transfer, wheat.

In 1941, agricultural improvement began in Mexico through a program agreed upon between the Secretariat of Agriculture and Livestock and the Rockefeller Foundation. The program was developed in the regions most favorable for agriculture, such as the Bajío, with credit facilities and strong official support in technical and extension services. Its productive results were spectacular; from then on, a global agro-industrial technological paradigm emerged, in which transnational corporations came to control most of the international agricultural market. The objective of this document was to map the network of public and private actors present in the Guanajuato Bajío region, who have shaped industrial and food agriculture in the area. This network is largely guided by the private sector, in addition to actors from the national research and higher education system, who promote intensive agricultural practices. The study was conducted in the municipality of Salvatierra; information was obtained from semi-structured surveys with key actors during the years 2019 and 2020. The UCINET program was used to visualize the actor network. A network of actors involved in the production and distribution of agricultural products was identified. It is concluded that with the agro-industrialization process of the Bajío, transnational corporations determine the productive structure, production conditions, and destination of the product, where producers and consumers in the Bajío have lost their sovereignty as they have become captive to an international network based on corporate profitability.

---

*Resumen:***Palabras clave:**

corporaciones, maíz, redes, transferencia de tecnología, trigo.

En 1941 se inició el mejoramiento agrícola en México mediante un programa convenido entre la Secretaría de Agricultura y Ganadería y la Fundación Rockefeller. El programa se desarrolló en las regiones más favorables para la agricultura, como lo es el Bajío, con facilidades de crédito y con fuerte apoyo oficial en servicios técnicos y de divulgación. Sus resultados productivos fueron espectaculares, a partir de entonces, surgió un paradigma tecnológico agroindustrial global, en el cual, corporativas transnacionales, pasaron a controlar la mayor parte del mercado agrícola internacional. El objetivo del presente documento fue mapear la red de actores públicos y privados, presentes en el Bajío guanajuatense, quienes han moldeado la agricultura industrial y alimentaria regional. Esta red está guiada mayoritariamente por el sector privado, además de actores del sistema nacional de investigación y de educación superior, que promueven las prácticas de la agricultura intensiva. El estudio se efectuó en el municipio de Salvatierra; la información se obtuvo de encuestas semiestructuradas a actores clave, durante los años 2019 y 2020. Para visualizar la red de actores se recurrió al programa UCINET. Se identificó una red de actores que intervienen en el proceso de producción y distribución de los productos agrícolas. Se concluye que con el proceso de agroindustrialización del Bajío las empresas transnacionales determinan la estructura productiva, las condiciones de producción y el destino del producto, en donde los productores y consumidores del Bajío han perdido su soberanía puesto que han quedado cautivos de una red internacional basada en la rentabilidad de las corporaciones.



## Introducción

Hacia la mitad del siglo pasado, en la mayor parte del mundo, se inició la transición del sistema agrícola hacia la industrialización, en la que se propuso el uso de fertilizantes químicos artificiales, plaguicidas, herbicidas, maquinaria agrícola pesada y semillas híbridas, entre otros (Chilón, 2017). Esta transición hacia la agricultura industrial se intensificó en los años 80's con la globalización neoliberal y recientemente con el crecimiento económico de países asiáticos, situación que ha provocado un fuerte incremento en la demanda de alimentos (Vila y Marín, 2017; Bejarano, 2017; Gargano, 2018). Estos han sido los antecedentes del paradigma tecnológico agroindustrial global, en el que corporativos transnacionales (laboratorios químicos, semilleras y comercializadoras exportadoras, entre otros) han pasado a controlar la mayor parte del mercado agrícola internacional (Bejarano, 2017; Gargano, 2018). Este escenario de concentración y control oligopólico del mercado es notable en el caso de los plaguicidas y semillas, donde el control de la venta de insumos lo tienen unas cuantas empresas transnacionales europeas y estadounidenses. DowDupont, ChemChina, Bayer y BASF son las cuatro megacorporaciones transnacionales que concentran en su conjunto el 75% del mercado mundial de plaguicidas, el 63% del mercado mundial de semillas comerciales híbridas, el 100% de las semillas genéticamente modificadas, y más del 75 % de toda la investigación privada en estos dos insumos estratégicos (Ceccon, 2008; Fundación Heinrich Böll, 2019).

Con respecto a los fertilizantes, los actores más grandes son Agrium (Nutrien), de Canadá, Yara, de Noruega, y la Mosaic Company, de Estados Unidos. Juntos, dominan el 21 % del mercado global (Fundación Heinrich Böll, 2019; ETC Group, 2022).

Las comercializadoras son otros actores importantes dentro del sistema alimentario. Las principales empresas comercializadoras de materias primas agrícolas son Archer Daniels Midland (ADM), Bunge, Cargill y Louis Dreyfus, conjunto conocido como ABCD, controlan el 90 por ciento del comercio mundial de cereales (Hoffman, 2013; Bautista et al., 2015). Comercializadoras emergentes como Olam, Sinar Mas, Wilmar y Cofco también están ganando presencia mundial con rapidez (Hoffman, 2013; Bautista et al., 2015; Fundación Heinrich Böll, 2019).

En este contexto, el ascenso de la agroindustrialización ha permitido que grandes empresas transnacionales, determinen la estructura productiva, las condiciones de producción y el destino del producto, en donde el Estado facilita el proceso por medio de una serie de acuerdos internacionales y de legislación nacional (Otero, 2013; Vergara y Kay, 2018).

En el caso de México, el sector agroalimentario está dominado por un pequeño grupo de corporaciones de origen extranjero y nacional, que controlan la producción, el almacenamiento, la comercialización, los créditos y los apoyos públicos, y que, por supuesto, se apropia de las ganancias (Bautista et al., 2015; Bejarano, 2017). Situación que se observa de forma clara, en las

principales regiones de producción agropecuaria de México, tales como el Bajío de Guanajuato (Tristán et al., 2020). En este contexto se vuelve pertinente mapear a los actores públicos y/o privados que han impulsado la expansión de la agricultura industrial regional. Además, considerando que las estructuras del mercado de insumos y productos son muy dinámicas, se requiere un monitoreo constante.

Ante este escenario, en el presente documento se propone identificar y mapear “parcialmente” a los actores públicos y privados, presentes en la agricultura industrial de Salvatierra, Guanajuato. Esta red está guiada mayoritariamente por el sector privado, pero también cuenta con actores del sistema nacional de investigación y desarrollo y de educación técnica y universitaria, que promueven las prácticas de la agricultura industrial (Vila y Marín, 2017).

## Material y Métodos

El enfoque metodológico fue mixto y comprendió tres etapas. La primera consistió en identificar y documentar las principales características de la agricultura predominante en el Bajío de Guanajuato, así como los actores públicos y privados.

En la segunda etapa, en los meses de octubre de 2019 a marzo de 2020, consistió en la recopilación de la información referente a las prácticas sociotécnicas utilizadas para el cultivo de trigo y maíz, así como a los actores principales. Se realizaron entrevistas a expertos del sector agrícola de Salvatierra, Guanajuato, entre ellos técnicos del módulo riego 02

Salvatierra, investigadores del ITSS, autoridades municipales, productores y extensionistas.

Los actores entrevistados emitieron información, principalmente de la producción de maíz y trigo, el origen y distribución de los insumos, así como el destino de los granos y los servicios de extensionismo presentes en la región.

Finalmente, para visualizar la estructura de actores sociales (empresas públicas y/o privadas) se recurrió al programa UCINET 6 for Windows–Versión 6.723 (Borgatti *et al.*, 2002), el cual permitió mapear a los actores del sector agropecuario de Salvatierra, de acuerdo al tipo de insumos que se utilizan y al destino de los productos cosechados (Wasserman y Faust, 1994; Hanneman, 2000; Velázquez y Aguilar, 2005).

## Resultados y Discusiones

El estado de Guanajuato en general y el Bajío guanajuatense en particular, se ha caracterizado por su importante producción agropecuaria, la cual se atribuye en gran parte al modelo de producción predominante en la región, el modelo agroindustrial en maíz y trigo (Pérez et al., 2017). En la producción agroindustrial de Salvatierra intervienen diferentes actores de alcance mundial, nacional, regional y local (Cuadro 1).



Cuadro 1. Clasificación de actores de acuerdo a su actividad y alcance.

Actor	Alcance	Actividad
CIMMYT	Internacional	Investigación
Bayer	Internacional	Venta de semillas y agroquímicos
BASF	Internacional	Venta de agroquímicos
ChemChina	Internacional	Venta de agroquímicos
RSI	Internacional	Venta de semillas
Yara	Internacional	Venta de fertilizantes
Mosaic Company	Internacional	Venta de fertilizantes
Agrium	Internacional	Venta de fertilizantes
Dow Dupont	Internacional	Venta de agroquímicos
INIFAP	Nacional	Investigación
INCA Rural	Nacional	Capacitación
UACH	Nacional	Educación e investigación
COLPOS	Nacional	Educación e investigación
PRONAMEX	Nacional	Venta de fertilizantes
SADER	Nacional	Capacitación
Universidad de Guanajuato	Regional	Educación e investigación
SDAYR	Regional	Desarrollo agropecuario
CESAVERG	Regional	Capacitación
Tiendas de Agroquímicos	Local	Venta de agroquímicos, capacitación
ITSS	Local	Educación e investigación
Bimbo	Internacional	Panificadora
La Moderna	Nacional	Fábrica de pastas
MASECA	Internacional	Tortillas
Minsa	Nacional	Tortillas
Pepsico	Internacional	Bebidas y aperitivos

En este escenario, la venta y distribución de los insumos externos que conforman el paquete tecnológico (agroquímicos, semillas mejoradas y asistencia técnica), así como la comercialización de los granos, ha quedado en manos de unas cuantas empresas nacionales y transnacionales (Gargano, 2018; Tristán et al., 2020).

En Salvatierra para el cultivo de maíz y trigo, se usan diversas variedades de semillas. En el caso del maíz (Figura 1), se observa la preponderancia de una diversidad de híbridos de Monsanto (Bayer) y Pioneer (Corteva Agriscience), tal como lo reportan (Navarro et al., 2015).

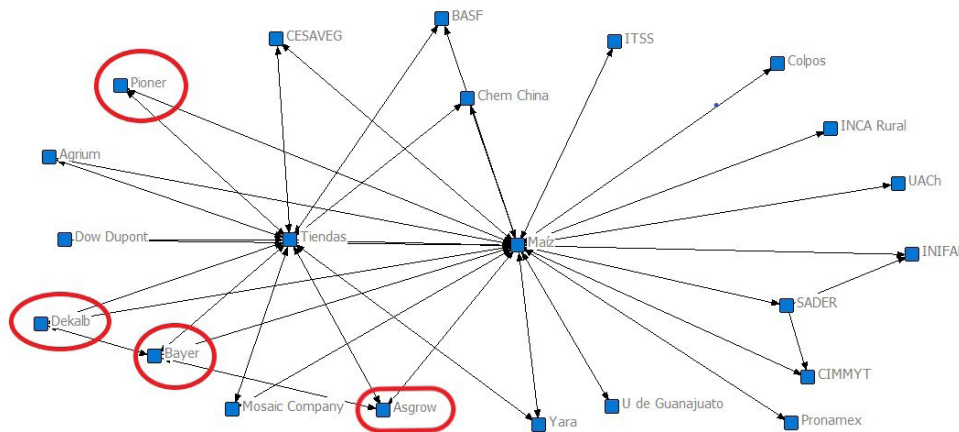


Figura 1. Semillas de maíz utilizadas en Salvatierra.  
Fuente: Elaboración propia.

Para el caso del cultivo de trigo (Figura 2), las variedades utilizadas en Salvatierra son principalmente, la variedad Aconchis, Cortázar o Bárcenas, todas desarrolladas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), además de la variedad Imperial, desarrollada por Resource Seeds International (RSI).

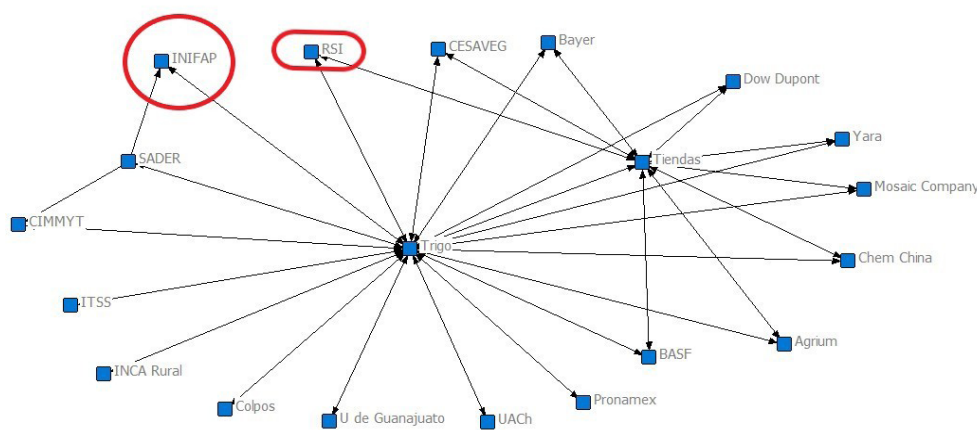


Figura 2. Origen de las semillas de trigo utilizadas en Salvatierra.  
Fuente: Elaboración propia.

El fertilizante utilizado en esta región, para ambos cultivos, proviene de empresas como Pronamex, Yara, Agrium (ahora Nutrien) y Mosaic Company. En el Bajío se utiliza cerca del 15% del total de los fertilizantes nitrogenados utilizados en el país (Jara, 2012; Navarro *et al.*, 2015).

Los cultivos de maíz y trigo son susceptibles a una variedad de plagas y enfermedades, por lo que se puede entender el uso sistemático de diversos herbicidas e insecticidas de diferentes espectros y toxicidad (Bernal *et al.*, 2012; Navarro *et al.*, 2015; Bejarano, 2017). Los agroquímicos utilizados en la región provienen de Bayer y Dow Dupont principalmente, aunque también participan Chem China y BASF.

Los servicios de extensionismo para el cultivo de cereales, son prestados por los distribuidores locales de insumos (Figura 3), además de la participación de instituciones como el INIFAP, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), El Instituto Nacional para el Desarrollo de Capacidades del Sector Rural, A.C (INCA Rural), Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Colegio de postgraduados (COLPOS), Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra (ITSS) y la Universidad de Guanajuato, entre otras.

Con respecto al destino de los granos de trigo y maíz se observa lo siguiente (Figura 4), el trigo es utilizado principalmente para abastecer



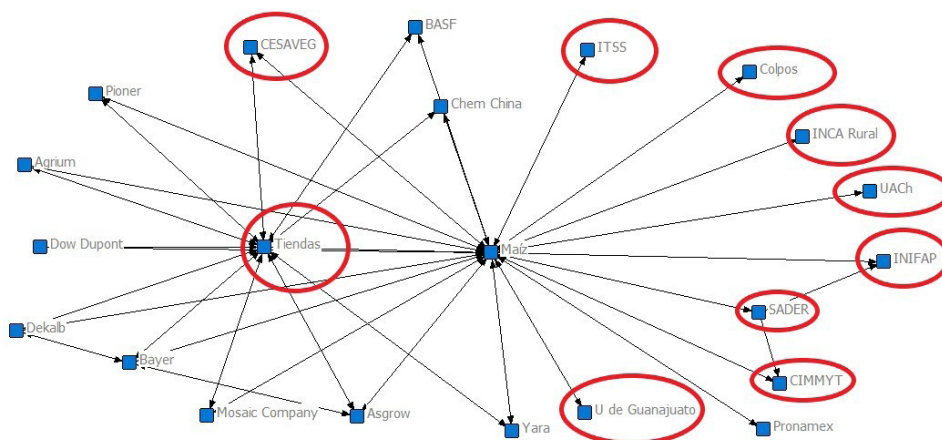


Figura 3. Actores que prestan servicios de extensión en Salvatierra.  
Fuente: Elaboración propia

a Bimbo, quien a su vez lo utiliza para la fabricación de pan, galletas, pasteles, etc. El trigo también es empleado en la fabricación de pastas, en este caso, el trigo va destinado a la Moderna, lo cual coincide con lo reportado por De la Cruz (2010).

Por su parte, el maíz va destinado principalmente a Maseca, Minsa y Pepsico (Sabritas), para la elaboración de tortillas o frituras, tal como lo reportan Cárdenas *et al.*, (2023).

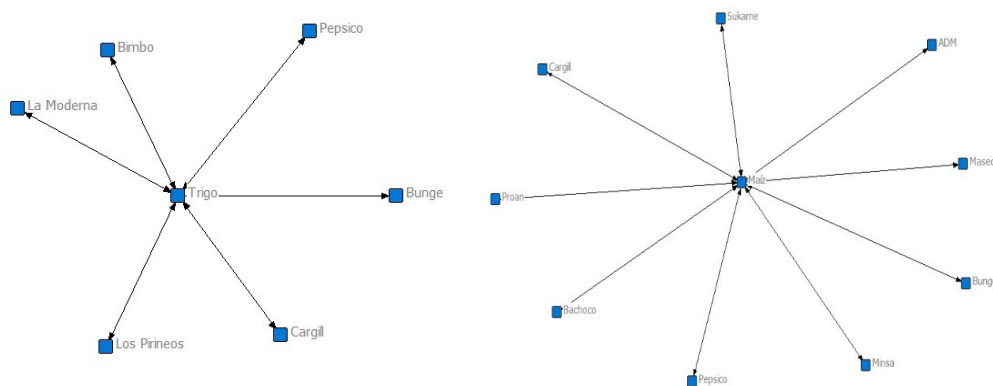


Figura 4. Destino de los cereales, en el Bajío de Guanajuato.  
Fuente: Elaboración propia

## Conclusiones

En Salvatierra, existe una estructura de actores públicos y privados, con influencia internacional, nacionales, regionales y locales, que han fortalecido y ampliado el modelo de agricultura industrial, basado en el mercado de insumos agrícolas al depender del acceso de la

gran mayoría de insumos; para la producción, así como de la comercialización determinada por la bolsa de Chicago.

Los productores agropecuarios de Salvatierra han quedado cautivos en la red comercial dominada por las corporaciones y actores

públicos, los cuales han moldeado la agricultura regional. Reflejo de lo anterior es el hecho de que son totalmente dependientes de los paquetes tecnológicos y producen lo que les demanda el mercado, lo cual se traduce en pérdida de la soberanía alimentaria.

## **Bibliografía**

Bautista, H. F. A., Díaz, R. I. y Lastiri, R. M. (2015). El impacto de las corporaciones multinacionales en los sistemas alimentarios (producción, distribución y venta): El caso de México. Oxfam

Bejarano, G. F. (2017). Los plaguicidas altamente peligrosos en México. Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México.

Borgatti, S.P., Everett, M.G. and Freeman, L.C. (2002). Ucinet 6 for Windows: Software for Social Network Analysis. Analytic Technologies.

Cárdenas, BE, Núñez, EJF, Navarro, GH, Pérez, OMA, y Velázquez, BLG (2023). Prácticas sociotécnicas agrícolas en Salvatierra, Guanajuato: una aproximación sistémica al modelo agro-pedagógico inducido. *Textual*, (81), 175–204. <https://doi.org/10.5154/r.textual.2023.81.10>

Ceccon, E. (2008) La revolución verde tragedia en dos actos. *Ciencias*, 1 (91), 21-29.

Chilón, C. E. (2017). “Revolución Verde” Agricultura y suelos, aportes y controversias. *Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica – UMSA*, 844-849.

De la Cruz, R. R. M. (2010). Producción de trigo “Integradora Agropecuaria del Centro” S. A. de C. V. Fundación Produce Guanajuato.

ETC Group (2022). Barones de la alimentación. ETC Group. <https://www.etcgroup.org/es>

Fundación Heinrich Böll (2019). Atlas de la agroindustria. Greenprint


Gárgano, C. (2018) Ciencia, Tecnología y Mercado: Investigaciones en Arroz en el INTA Argentino. *Journal of Technology Management & Innovation*, 13 (1), 75-82.

Hanneman, R.A. (2000). Introducción a los métodos del análisis de redes sociales. Universidad de California Riverside.




- Hoffman, B. (2013). *Tras la marca*. Oxfam. <https://www.oxfam.org/es/informes/tras-la-marca>
- Jara, D. K. A. (2012). Los fertilizantes y sus efectos ambientales. En R. Pérez (Ed.), *Agricultura y contaminación del agua* (207-232). UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas.
- Navarro, H., Flores, D., Pérez, M. A. y Pérez, L. M. (2015). Intensificación agrícola, prácticas sociotécnicas e impactos ecológicos y sociales en el Bajío. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*, 15 (30), 135-159.
- Otero, G. (2013). El régimen alimentario neoliberal y su crisis: Estado, agroempresas, multinacionales y biotecnología. *Antípoda*, 17, 49-78.
- Pérez, O. M. A., Navarro, G. H., Flores, S. D., Ortega, N. y Tristán, M. E. (2017). Plaguicidas altamente peligrosos utilizados en el Bajío de Guanajuato. En F. Bejarano (Ed.), *Los plaguicidas altamente peligrosos en México* (pp. 221-246). Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México
- Tristán, M. E., Pérez, O. M. A., Flores, S. D., Hernández, J. M. y Navarro, G. H. (2020). Sistemas de producción como respuesta a una agricultura industrial y a un desarrollo territorial duradero. *Ra Ximhai*, 16 (2), 167-187. [doi.org/10.35197/rx.16.02.2020.07.et](https://doi.org/10.35197/rx.16.02.2020.07.et)
- Velázquez, A. O. A. y N. Aguilar G. (2005). *Manual introductorio al análisis de redes sociales*. Centro de Capacitación y Evaluación para el Desarrollo Rural S. C.
- Vergara, C. L. y Kay, C. (2018). Agronegocio, campesinos, Estado y gobiernos de izquierda en América Latina: Introducción y reflexiones teóricas. En C. Kay y L. Vergara (Comps.), *La cuestión agraria y los gobiernos de izquierda en América Latina* (15-50). CLACSO.
- Vila, S. M. y Marín, A. (2017). Transiciones hacia una agricultura sostenible: el nicho de la apicultura orgánica en una cooperativa Argentina. *Mundo Agrario*, 18 (37), 1-18.
- Wasserman, S. and Faust, K. (1994). *Social Network Analysis in the Social and Behavioral Sciences*. En S. Wasserman and K. Faust (Eds.), *Social Network Analysis: Methods and Applications: Structural Analysis in the Social Sciences* (pp 3-27). Cambridge University Press.


## Evaluación de las características nutricionales, digestibilidad *in situ* e *in vitro* del residuo generado de la criba de la semilla de girasol alto oleico.

Carlos Enrique Mireles Martínez<sup>1</sup> 


Laura Haydée Vallejo Hernández<sup>1\*</sup> 

Francisco Javier Vera Vázquez<sup>2</sup> 

J. Efrén Ramírez Bribiesca<sup>3</sup> 

Ma. Magdalena Crosby Galván<sup>3</sup> 

José Carlos Escobar España<sup>4</sup> 

Andrea Sánchez Chávez<sup>1</sup> 

Información del manuscrito

Fecha de envío: 17 / 11 / 2025

1. Universidad Autónoma Chapingo. Posgrado en Producción Animal.
2. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Complejo Regional Norte.
3. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.
4. Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agrícola, Campus I



---

**Resumen:**

**Palabras clave:**

Aceite vegetal, Dietas Rumiantes, Pasta de semillas, Residuos agroindustria, Suplementos alimentos.

En la producción de aceite de girasol, se genera un subproducto que proviene de la limpieza de la semilla antes de su procesado, por lo que se caracterizó y determinó el contenido de nutrientes, la degradabilidad in vitro e in situ y la producción de biogás, se observó que presenta un potencial para la alimentación animal debido a su alto contenido de energía, permitiendo sustituir parcialmente a granos de cereales en las dietas integrales para rumiantes.

## Introducción

En México debido al incremento en el inventario ganadero, se trabaja para construir sistemas alimentarios resilientes, productivos, competitivos y sustentables (SADER, 2025). Por lo que se buscan cultivos que sean resistentes a la sequía o que tengan bajos requerimientos de agua: el girasol (*Helianthus annuus*), es una opción debido a que tiene un requerimiento de 250-400 mm de agua distribuido durante su ciclo biológico (Granados & Vizcarra, 2018). Del cultivo de girasol alto oleico se derivan algunos subproductos, los cuales son utilizados en la alimentación animal. El residuo de la criba de girasol alto oleico posee características químicas que le permiten ser utilizado en la alimentación animal, sin embargo, no existen investigaciones que lo demuestren, por lo que es esencial realizar una caracterización química, para determinar su uso potencial en la nutrición

de animales.

## Materiales y Métodos

### 1. *Recolección De Muestra*

Las muestras se colectaron en la cooperativa PROAGRICER, en el municipio de Cerritos S.L.P. La muestra provino del ciclo productivo del año 2018, de la variedad de girasol alto oleico SYN3950HO, de la empresa Syngenta®. Posteriormente se molió con malla de un 1 mm. Se realizó la caracterización física y el análisis de degradabilidad in situ de acuerdo con la técnica propuesta por Mehrez y Ørskov, 1977.

### 2. *Degradabilidad in situ*

Se utilizó un toro Holstein con cánula en rumen, con un PV de 700 kg, el cual fue alojado en un corral individual, bajo techo, provistas de comedero y bebedero individual. Las dietas fueron ofrecidas diariamente con base al consumo de MS para mantenimiento (2% PV),

Se adaptó durante 15 días a la dieta utilizada y tres para toma de muestras. Se utilizaron bolsas de poliéster con poro promedio de 44  $\mu$  y se trabajó con la metodología propuesta por Mehrez y Ørskov, 1977. Los horarios de incubación fueron: 3, 6, 9, 12, 24, 48 h. Las bolsas, en cada horario, se colocaron en redes especiales que contenían un contrapeso para que se mantuvieran sumergidas en la región ventral del rumen.

### 3. Degradabilidad *in vitro*

Se obtuvo líquido ruminal y se filtró a través de cuatro gasas, colocándose en un termo de plástico (Colleman®), a una temperatura constante de 39°C, para transportar el líquido ruminal al laboratorio de Nutrición Animal.

#### 3.1. Preparación del inóculo

La solución de macromineral y solución buffer, así como la solución reductora, se prepararon un día antes del montaje de la técnica, y se mantuvieron a 39°C en una estufa (RIOSSA Mod. E-51 D). La solución micromineral y la resarzurina una vez preparada se mantuvo en refrigeración. Al momento de realizar la técnica, se mezclaron las soluciones en un matraz volumétrico de 6 L utilizando una platina magnética (Thermo Scientific Cimarec Mod. SP131635) y un agitador magnético para mantener la temperatura y asegurarnos de que se mezclen completamente las soluciones. Una vez preparada la solución, se le agregó agua destilada, el líquido ruminal y flujo constante de CO<sub>2</sub>.

#### 3.2. Preparación de los viales

La degradación de MS se realizó por triplicado y se usaron 2 frascos sin sustrato como blancos para la corrección por contaminación con contenido ruminal, por cada periodo de muestreo. Se utilizaron viales de vidrio de 120 mL, a éstos se les agregó 0.5 g. de muestra en bolsas de poliéster, con un poro promedio de 44 micras y se les adicionó 90 mL de inóculo, así como un flujo constante de CO<sub>2</sub> y se fueron tapando con tapones de hule y se sellaron con arillos de aluminio, para ser colocados en incubación dentro de una estufa (RIOSSA Mod. E-51 D) a 39°C.

#### 3.3. Obtención de materia seca

En cada uno de los horarios de muestreo se retiraron 3 viales con muestra y 2 viales blancos para la determinación de la degradabilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS). Estos viales al sacarlos se colocaron 30 minutos en congelación con la finalidad de parar la acción bacteriana, después de transcurrido este periodo se colecto la bolsa con la muestra, para ser lavada, posteriormente fue secada en una estufa (RIOSSA Mod. E-51 D) a 60°C durante 24 horas, la DIVMS se obtuvo por diferencia de peso.

## Resultados

El residuo de la criba de girasol alto oleico está compuesto principalmente por: I) Semilla de girasol (pequeña, rota o descascarada y su cascarilla), II) Semillas de malezas de la zona, III) Residuos de la Inflorescencia (partes del receptáculo floral, flores secas), la muestra analizada contiene en promedio un 24.73% de semilla entera, un 4.78% de cáscara de semilla y 4.26% de semilla rota y descascarada, dando



un total de 33.27% de la muestra que pertenece a semilla de girasol. La fracción más grande es la denominada “Resto” la cual contiene semillas de arvenses de la zona, partes del receptáculo

floral, flores secas de girasol y otras arvenses, esta fracción representa el 52.85% de toda la muestra. El análisis químico se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Análisis químico del residuo de la criba de girasol alto oleico

<b>Nutriente (%)</b>	<b>Residuo de criba de girasol</b>
Materia Seca	91.13
Cenizas	10.78
Proteína Total	14.77
Extracto Etéreo	20.93
Fibra Detergente Neutro	38.80
Fibra Detergente Ácido	13.16
Hemicelulosa	25.63
Extracto Libre de Nitrógeno	14.70

Por su bajo contenido de humedad (8.86%) no existe problemas para su almacenamiento, sin embargo, presenta un alto contenido de extracto etéreo (20.93 %), el cual es aportado por las semillas de girasol que lograron escapar a este subproducto. La semilla de la variedad SYN3950HO, puede llegar a tener hasta un 50% de aceite (Iriarte y López, 2014). El residuo de criba de girasol presenta 14.78% de proteína cruda, apenas por debajo de la semilla de girasol la cual contiene 16.9%, y por encima de los principales granos de cereales como el maíz (9.4%) y el sorgo (11.6%).

La degradabilidad de la materia seca de la muestra del residuo de la criba del girasol alto oleico fue mayor cuando se analizó in situ (72.37%) en comparación con la in vitro (55.82%), esto se puede atribuir a que en la prueba in vitro, la alta cantidad de EE de la muestra que se usó como sustrato (20.931%) pudo influir en

las poblaciones bacterianas, debido a que la microbiota ruminal es sensible a los aceites, por que cambian la permeabilidad de la membrana, lo que interfiere con reacciones vitales como el transporte de electrones, el mantenimiento del gradiente iónico y altera la producción de ATP, además de la coagulación citoplasmática y lisis de la célula, Herrera (2018).

## **Conclusiones**

Después de realizar los análisis correspondientes de la semilla de girasol alto oleico se asume que puede ser incluido como ingrediente en la alimentación de cerdos, aves y rumiantes, debido a su alta degradabilidad y al alto porcentaje de energía, lo cual ayudaría a reducir el costo de las dietas, al sustituir parcialmente un grano de cereal. Es importante continuar con las investigaciones sobre el subproducto en pruebas de comportamiento, conteo total de

bacterias y monitoreo de pH ruminal, para poder crear restricciones y determinar el nivel máximo de inclusión en dietas para diferentes especies animales.

### Conflicto de intereses

Los autores del presente artículo declara que no existe ningún tipo de conflicto de intereses, ni ninguna relación económica, personal, política, interés financiero, ni académico que pueda influir en el juicio de los mismos.

### Referencias

- Granados Mayorga, A. K., & Vizcarra Hernández, I. F. (2018). Respuesta del cultivo de girasol bajo diferentes fuentes nutrimentales y fechas de siembra en el Estado de México. [Tesis de licenciatura de la Universidad Autónoma de México UNAM].
- Herrera Pérez J. (2018) Evaluación in vitro e in situ de semilla y aceite de girasol (*Helianthus annuus*) en dietas energéticas para ovinos. [Tesis de doctorado del Colegios de Postgraduados] México.
- Iriarte L.B. y López B.Z. (2014). Evaluación de cultivares tradicionales y alto oleico de girasol campaña 2013/2014. INTA Argentina.
- Mehrez, A. Z, and E. R. Ørskov. (1977). A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *The Journal of Agricultural Science*, 88(3), 645–650 .
- Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. SADER. (2025). Información sobre el número de animales que se crían en el país con fines de producción.



## Fotodegradación de azul de metileno utilizando CaO-ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> sintetizado por un proceso ecológico

R. Escobar-Velazquez<sup>1</sup>



R.M Sánchez-Albores<sup>1</sup>



O. Reyes-Vallejo<sup>2\*</sup>



H.H Torres-Ventura<sup>1\*</sup>



J. Escorcia-García<sup>3</sup>



### Información del manuscrito

Fecha de envío: 27/Noviembre/2025

1. Escuela de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Ocozocoautla de Espinosa, 29140, Chiapas, México.
2. Sección de Electrónica de Estado Sólido-Ingeniería eléctrica (SEES), CINVESTAV- IPN, San Pedro Zacatenco, Ciudad de México, 07360, México.
3. Conacyt-Cinvestav-Unidad Saltillo, Ave. Industria Metalúrgica 1062, Parque Industrial, 25900, Ramos Arizpe, Coahuila, México.

*1\** Corresponding author: Odín Reyes Vallejo. E-mail: [odin.reyes.v@cinvestav.mx](mailto:odin.reyes.v@cinvestav.mx)

*2\** Corresponding author: Héctor Hiram Torres Ventura. E-mail: [hector.torres@unach.mx](mailto:hector.torres@unach.mx)



---

## Abstract:

**Keywords:** Methylene blue, CaO/ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Photocatalyst, nanoparticles.

In this study, the use of a composite based on calcium oxide and zinc ferrite (CaO–ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) was investigated for the photodegradation of methylene blue. Zinc ferrite was synthesized by the combustion method using orange peel waste as fuel, while CaO was obtained from calcined eggshells. The composite was fabricated by mixing both materials through a ball-milling process, followed by an annealing treatment. The composite was characterized using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), and UV-Vis spectroscopy, revealing well-defined crystallinity and an irregular morphology, with agglomerates composed of nanoparticles with a homogeneous size distribution of approximately 23.33 nm. Additionally, a specific surface area of 11.67 m<sup>2</sup>/g and an energy band gap of 2.09 eV were estimated. During the photodegradation tests, complete removal of the dye was achieved after 35 minutes of visible-light irradiation using 75 mg of material. Scavenger tests showed that superoxide radicals play the main role, whereas holes make a minor contribution to the photodegradation process. Hydroxyl radicals, on the other hand, showed no influence. These results demonstrate that CaO–ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, synthesized through environmentally friendly processes, has great potential for application in the removal of dyes present in industrial wastewater

---

## Resumen:

**Palabras clave:** Azul de metileno, CaO/ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, fotocatalizador, nanopartículas.

En este estudio, se investigó el uso del compuesto a base de óxido de calcio y ferrita de zinc (CaO-ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) para fotodegradar azul de metileno. La ferrita de zinc se sintetizó mediante el método de combustión utilizando residuos de cáscaras de naranja como combustible, mientras que el CaO se obtuvo de cáscaras de huevo calcinados. La fabricación del compuesto se realizó mezclando ambos materiales a través de un proceso de molienda de bolas, seguido de un proceso de recocido. El compuesto se caracterizó mediante difracción de rayos X (DRX), microscopía electrónica de barrido (MEB), espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y espectroscopia UV-Vis, revelando una cristalinidad bien definida y una morfología irregular, con aglomerados conformados por nanopartículas con una distribución de tamaño homogénea alrededor de los 23.33 nm. Finalmente, se estimó un área superficial de 11.67 m<sup>2</sup>/g y una brecha de energía de 2.09 eV. Durante las pruebas de fotodegradación, se registró la remoción completa del colorante después de 35 minutos de irradiación de luz visible, empleando 75 mg de material. Las pruebas de scavengers mostraron que los radicales superóxidos desempeñan el papel principal, mientras que los huecos tienen una contribución menor en el proceso de fotodegradación. Por su parte, los radicales hidroxilos no presentan influencia. Esto demuestra que el CaO-ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, sintetizado mediante procesos respetuosos con el medio ambiente, posee un gran potencial para su aplicación en la remoción de colorantes presentes en aguas residuales industriales.



## Introducción

La creciente contaminación ambiental y el acelerado consumo de combustibles fósiles han provocado un impacto devastador en la naturaleza, impulsando a la comunidad científica a buscar soluciones innovadoras y sostenibles. Datos de la Organización Mundial de la Salud indican que más del 80 % del agua utilizada en el mundo no recibe ningún tratamiento adecuado, exacerbando la crisis de contaminación hídrica. En respuesta a este desafío, el desarrollo de tecnologías eficientes y ecológicas para el tratamiento de aguas residuales se ha convertido en una prioridad global (Mustafa, 2024).

La fotocatalisis heterogénea ha emergido como una técnica verde y respetuosa con el medio ambiente para la degradación de contaminantes orgánicos en aguas residuales. Este proceso se basa en la activación de catalizadores semiconductores mediante luz, promoviendo la generación de especies químicas altamente reactivas que transforman los contaminantes en compuestos más simples y menos tóxicos. Para que los catalizadores sean efectivos y sostenibles, su síntesis debe ser respetuosa con el medio ambiente, utilizando métodos que minimicen el uso de agentes tóxicos y aprovechen recursos renovables (Sánchez-Albores, 2022).

Un enfoque prometedor en la síntesis de semiconductores fotocatalíticos es el uso de residuos agroindustriales como fuentes de materia prima. Por ejemplo, el óxido de calcio (CaO) puede obtenerse a partir de cascarones de huevo calcinados. Procesos donde se usan extractos para sintetizar óxidos metálicos semiconductores y procesos de combustión

donde se emplea biomasa como combustible son ejemplo fehaciente de es posible sintetizar de manera adecuada semiconductores mediante procesos más amigables con el medio ambiente. Estos procesos no solo reutilizan desechos orgánicos, sino que también reducen la necesidad de productos químicos nocivos, promoviendo la sostenibilidad y la economía circular (Ikram M, 2022).

El óxido de calcio sintetizado del cascarón de huevo ha demostrado ser eficiente en la fotodegradación de azul de metileno activado con luz solar directa. Sin embargo, una limitante de este material es su brecha de energía la cual es muy alta y limita la absorción del espectro de luz visible. Por otro lado, las ferritas son materiales que presentan una brecha de energía menor absorbiendo una mayor porción del espectro visible. Además, estas últimas han mostrado eficiencia en la remoción fotocatalítica y electrocatalítica de distintos contaminantes emergentes causantes de problemas medioambientales. Por ello, un composito basado en CaO y ferritas resulta interesante puesto que el material resultante tendría propiedades de ambos materiales que le constituyen.

En este contexto, nuestro estudio se centra en la síntesis de semiconductores a partir de procesos ecológicos y su aplicación en la fotodegradación de contaminantes. La reutilización de residuos como cascarones de huevo y cáscaras de naranja no solo aborda la problemática de la gestión

de desechos, sino que también contribuye al desarrollo de tecnologías de tratamiento de agua más limpias y eficientes. Al promover el uso de recursos renovables y métodos de síntesis sostenibles, avanzamos hacia soluciones más verdes y responsables para enfrentar los retos ambientales actuales. En este trabajo se presenta el desarrollo de un composito basado en CaO sintetizado de cascarón de huevo y  $ZnFe_2O_4$  sintetizado por un proceso de combustión empleando cáscara de naranja como combustible. Además, para fabricar el composito se emplearon técnicas simples y ecológicas como la molienda mecánica y la sonicación.

## Material y Métodos

### 1. Materiales

Se emplearon los siguientes reactivos: Nitrato de hierro (III) nanohidratado ( $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ ) y nitrato de zinc (II) hexahidratado  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  de la marca Fermont. Azul de metileno de la marca Sigma Aldrich.

### 2. Síntesis de $CaO/ZnFe_2O_4$

La preparación del CaO se llevó a cabo a partir de cascarones de huevo de gallina recolectados en restaurantes de Tuxtla Gutiérrez, los cuales fueron lavados cuidadosamente con agua para eliminar residuos orgánicos, secados a temperatura ambiente y posteriormente triturados y tamizados para obtener un polvo homogéneo, el cual se calcinó a 900 °C durante 5 h. Por su parte, el  $ZnFe_2O_4$  se sintetizó mediante el método de combustión empleando cáscara de naranja

como combustible; para ello, se mezclaron cáscaras de naranja con  $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$  y  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  en proporción estequiométrica 2:1 en 200 mL de agua desionizada, calentando la solución a 70 °C durante 2 h y aumentando posteriormente la temperatura por encima de 90 °C hasta la completa evaporación del líquido y la combustión de la materia orgánica. El sólido obtenido se pulverizó en un mortero y se calcinó a 450 °C para eliminar restos orgánicos. Finalmente, el composito  $CaO-ZnFe_2O_4$  se obtuvo mediante mezclado mecánico utilizando una relación másica 8:2; la mezcla se molió en un molino de bolas durante 3 h a 300 rpm, se adicionaron 30 mL de etanol y se sometió a sonicación por 30 min. El material se secó en estufa a 105 °C para remover el alcohol remanente y se trató térmicamente a 500 °C durante 2 h en una mufla para completar la formación del composito.

### 3. Caracterización del material

Para las observaciones de difracción de rayos X (XRD) en el intervalo de  $2\theta$  de 20° a 70°, se utilizó un Difractómetro D2 PHASER Bruker con radiación Cu-K ( $\lambda=1.54056 \text{ \AA}$ ) y una velocidad de escaneo de 2°/min. Las imágenes morfológicas se obtuvieron con un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FE-SEM) Hitachi S-5500. Un espectrofotómetro UV-vis JASCO (modelo V-670) se utilizó para medir la absorbancia, y una esfera integradora conectada al mismo espectrofotómetro registró la reflectancia difusa.

El tamaño del cristalito (D) se estimó utilizando



la ecuación de Scherrer con los datos de XRD (O Reyes Vallejo, 2016):

$$D = \frac{K \cdot \lambda}{\beta_{hkl} \cdot \cos \theta} \quad (1)$$

donde K es el factor de forma,  $\lambda$  es la longitud de onda de la radiación Cu-K  $\alpha$  ( $\lambda = 1.54056$  Å),  $\beta_{hkl}$  es el ancho del pico a media altura de la intensidad del plano (hkl), y  $\theta$  es el ángulo de Bragg del plano (hkl).

El ancho de banda prohibida o brecha de energía ( $E_g$ ) se calculó mediante la gráfica  $(F(R) \cdot hv)^2$  vs  $hv$  (Ecuación 2) considerando el ajuste lineal con el eje x, donde A es una constante adimensional y  $hv$  es la energía fotónica. El coeficiente de absorción  $F(R)$ , también conocido como función de Kubelka-Munk se calculó mediante la ecuación 3, donde R es la reflectancia difusa (Kubelka, 1931).

$$(F(R) \cdot hv)^2 = A(hv - E_g) \quad (2)$$

$$F(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (3)$$

El área superficial específica y el volumen de poros se evaluaron mediante fisisorción de nitrógeno, utilizando un analizador de área superficial y tamaño de poros en el equipo Micromeritics VacPrep 061. El material (0.1 g) se desgasificó a 120 °C y 6.6 kPa durante 24 h. El área superficial se determinó mediante la técnica BET después de introducir gas nitrógeno (Barrett, 1951) (Brunauer, 1938).

#### 4. Fotodegradación de MB

Se emplearon diferentes cantidades del composito en 100 ml de solución de MB a una concentración de 10 ppm, utilizando dos LED's de 100 W que emitían luz visible. La solución de MB se agitó en la oscuridad durante 30 minutos para alcanzar el equilibrio adsorción-desorción. Luego, se encendieron las lámparas y se tomaron alícuotas de 3 mL a lo largo del experimento y se centrifugaron a 4000 rpm durante 3 minutos. La absorbancia se midió a 663 nm para determinar la concentración de MB. La cinética de reacción se analizó mediante el modelo cinético de primer orden (Irani, 2016):

$$\ln \left( \frac{C_0}{C} \right) = kt \quad (4)$$

donde  $C_0$  es la concentración inicial, k es la constante cinética aparente (min<sup>-1</sup>) y C es la concentración medida en el tiempo t (min). El período de vida media ( $t_{1/2}$ ) se calculó usando (Irani, 2016):

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{K_{app}} \quad (5)$$

donde  $K_{app}$  es la constante aparente cinética.

#### 5. Experimentos de Scavenger

Se realizaron estudios de captura de especies químicas reactivas usando scavengers para elucidar la naturaleza de las especies reactivas involucradas en el proceso fotocatalítico. Se utilizaron benzoquinona (BQ), Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y alcohol isopropílico (IPA) a concentraciones de 0.001 mol L<sup>-1</sup>, actuando como captadores de especies reactivas específicas: BQ para O<sub>2</sub>•<sup>-</sup>, EDTA para huecos (h<sup>+</sup>), e IPA para •OH.

## Resultados

### 1. Caracterización

El difractograma de la Figura 1 muestra picos de alta intensidad correspondientes a la fase CaO, asignados a los planos (111), (200), (220), (311) y (222), de acuerdo con la tarjeta patrón PDF 37-1497. La intensidad de estos picos es mayor en comparación con las otras fases debido a la mayor cantidad de CaO utilizado respecto a la ferrita de zinc. También se observan, con una intensidad mínima, picos asociados a los planos (100), (101), (102) y (110) de la fase Ca(OH)<sub>2</sub>,

correspondientes a la tarjeta patrón PDF 44-1481 (Portlandite). La presencia de esta fase es resultado de la reacción del etanol con el CaO sintetizado a partir del cascarón de huevo, fase que no se logra remover completamente durante el recocido a 500 °C.. Finalmente, los planos característicos de ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>—(111), (220), (331), (400), (511) y (440), PDF 22-1012 confirman la presencia de la ferrita de zinc. La estrechez y nitidez de los picos indican alta cristalinidad. El tamaño de cristalito estimado mediante la ecuación de Scherrer (ecuación 1) fue de 49 nm.

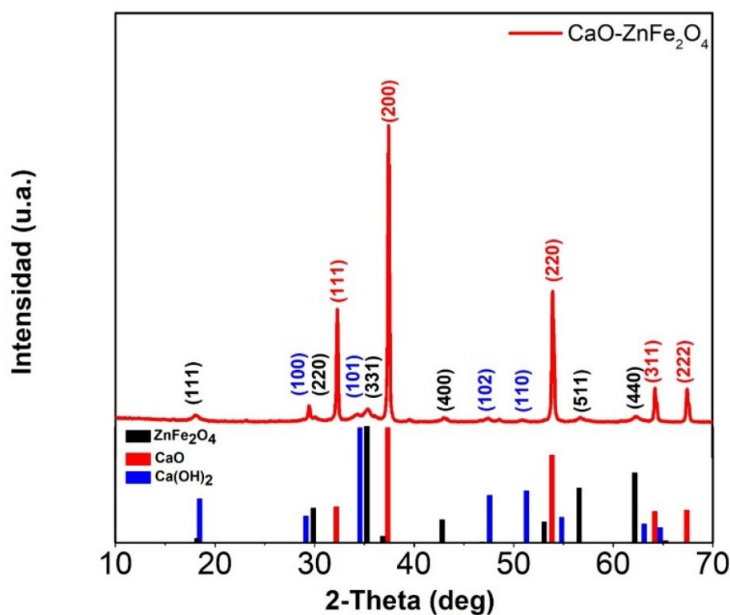


Figura 1.- Difracción de rayos X del compuesto CaO-ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

La Figura 2 muestra el espectro IR del compuesto. A lo largo del espectro se encontraron las vibraciones características de los enlaces de las distintas fases. A 438 y 585 cm<sup>-1</sup> se encuentra la vibración típica de los sitios octaédricos y

tetraédricos del enlace metal-oxígeno (M-O, donde M puede ser Zn o Fe), respectivamente (Vinosha, 2017). También, se observa la vibración del enlace Ca-O en 549 cm<sup>-1</sup> (Habe, 2019) (Aleman-Ramirez, 2023). En 3634 cm<sup>-1</sup>



se aprecia restos de humedad asociados a la vibración del enlace O-H (Aleman-Ramirez, 2023). Durante el proceso de calcinación del cascarón de huevo, así como en las distintas etapas de horneado, se fija CO<sub>2</sub> en el compuesto, lo cual es revelado por la vibración del enlace

C-O encontrado en 2348 cm<sup>-1</sup> (Habte, 2019). Es importante recalcar que, si bien no se detecta la formación de carbonatos en el análisis de DRX, las vibraciones encontradas en 874, 1053 y 1457 cm<sup>-1</sup> confirman que existen trazas de este material en el compuesto (Habte, 2019)

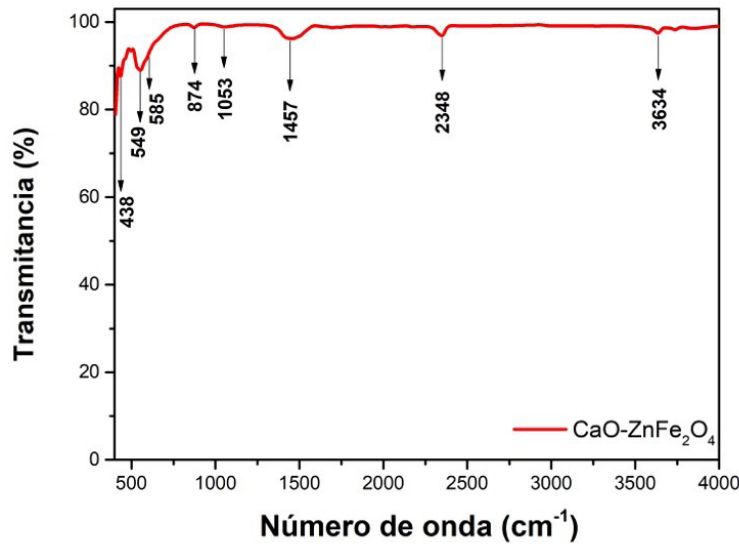


Figura 2.- FT-IR del compuesto CaO-ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

La Figura 3 muestra la micrografía (MEB) del compuesto sintetizado. Se observa una morfología poco definida con una variedad de tamaños y formas, lo cual es característico de los procesos de síntesis por combustión y molienda mecánica. Aunque se aprecian formas y tamaños heterogéneos, esto resulta interesante para maximizar el área superficial disponible para propiciar el contacto entre los contaminantes y el fotocatalizador. De acuerdo al análisis BET, se estimó un área de

11.62 m<sup>2</sup>/g (Tabla 1), lo cual es comparable a lo reportado en materiales similares donde se usa CaO de cascarón de huevo combinado con otros materiales semiconductores mediante molienda mecánica (Aleman-Ramirez, 2023) (Reyes-Vallejo, 2023). En el histograma de distribución de tamaño de partícula generado de la micrografía, se observa una distribución normal de tamaños con un valor promedio de 23.33 nm, lo cual confirma que se logró sintetizar un compuesto tamaño nanométrico.

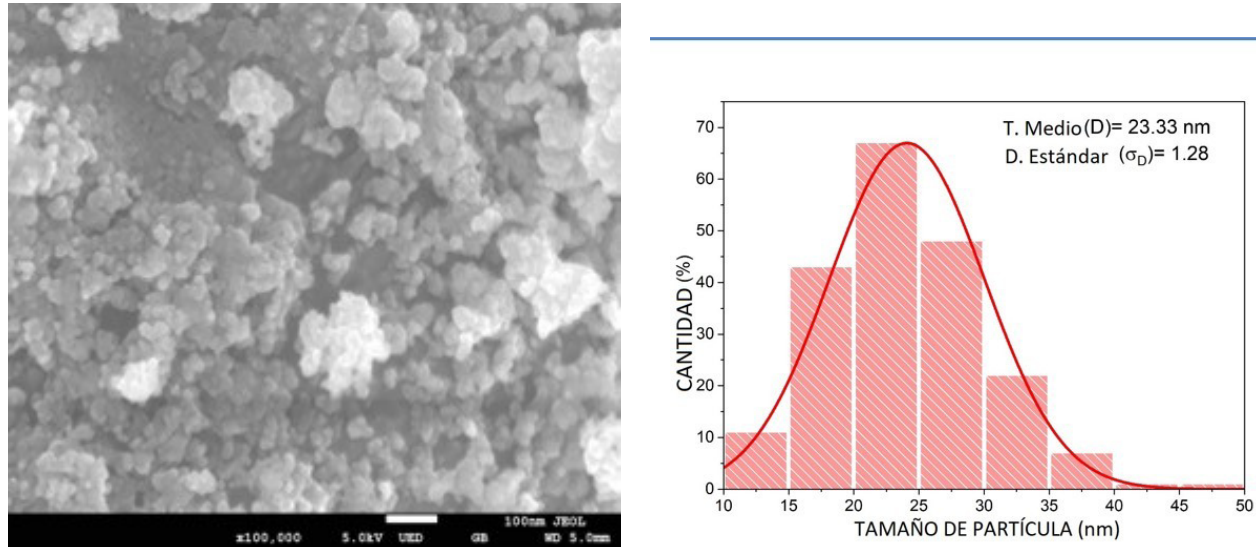


Figura 3.- Micrografía e histograma de distribución de tamaño de partícula de compuesto.

La distribución elemental a lo largo del compuesto se presenta en la Figura 4. Se aprecia cómo la ferrita de zinc se distribuye sobre el CaO, puesto que la coloración roja (Fe) y amarilla (Zn), y parcialmente la verde (O) son coincidentes, demostrando la presencia de la

fase  $ZnFe_2O_4$ . Por otro lado, las imágenes B y C son coincidentes, con excepción de las regiones reconocidas como ferrita, lo que constata la presencia de la fase CaO. De esta manera, se puede establecer que se tiene una distribución homogénea de los elementos que conforman el compuesto.

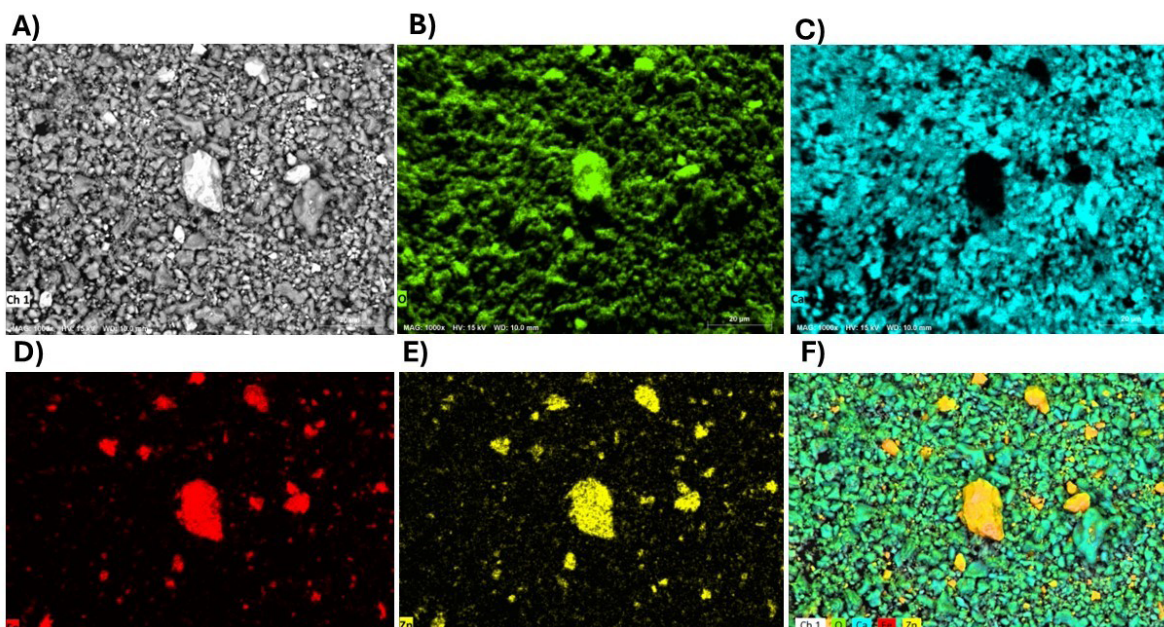


Figura 4.- Mapeo elemental de Compuesto: A) Imagen original, B) oxígeno, C) Calcio, D) Hierro, E) Zinc y F) O, Ca, Fe y Zn simultáneo.



Se realizó la caracterización óptica del compuesto y se presenta en la figura 5. Se observa tanto en la reflectancia difusa como en la función de Kubelka-Munk un cambio drástico alrededor de los 600 nm, lo que indicaría la región donde empieza a absorber la luz visible. A partir de estos datos de reflectancia difusa se calculó el ancho de banda prohibida estimando un valor de 2.09 eV. Este valor encontrado es un valor comprendido entre los anchos de banda

reportados de los materiales  $\text{CaO}$  y  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  en la literatura, puesto que del primero se ha reportado un valor de 2.27 eV para el primero (Jaiswal, 2021) mientras que para el segundo un valor de 1.8 eV (Kislov, 2008). Asimismo, este valor indica que se formó correctamente un compuesto y no una heteroestructura, ya que se aprecia solo un ancho de banda y no dos que corresponderían a los valores de los materiales individuales.

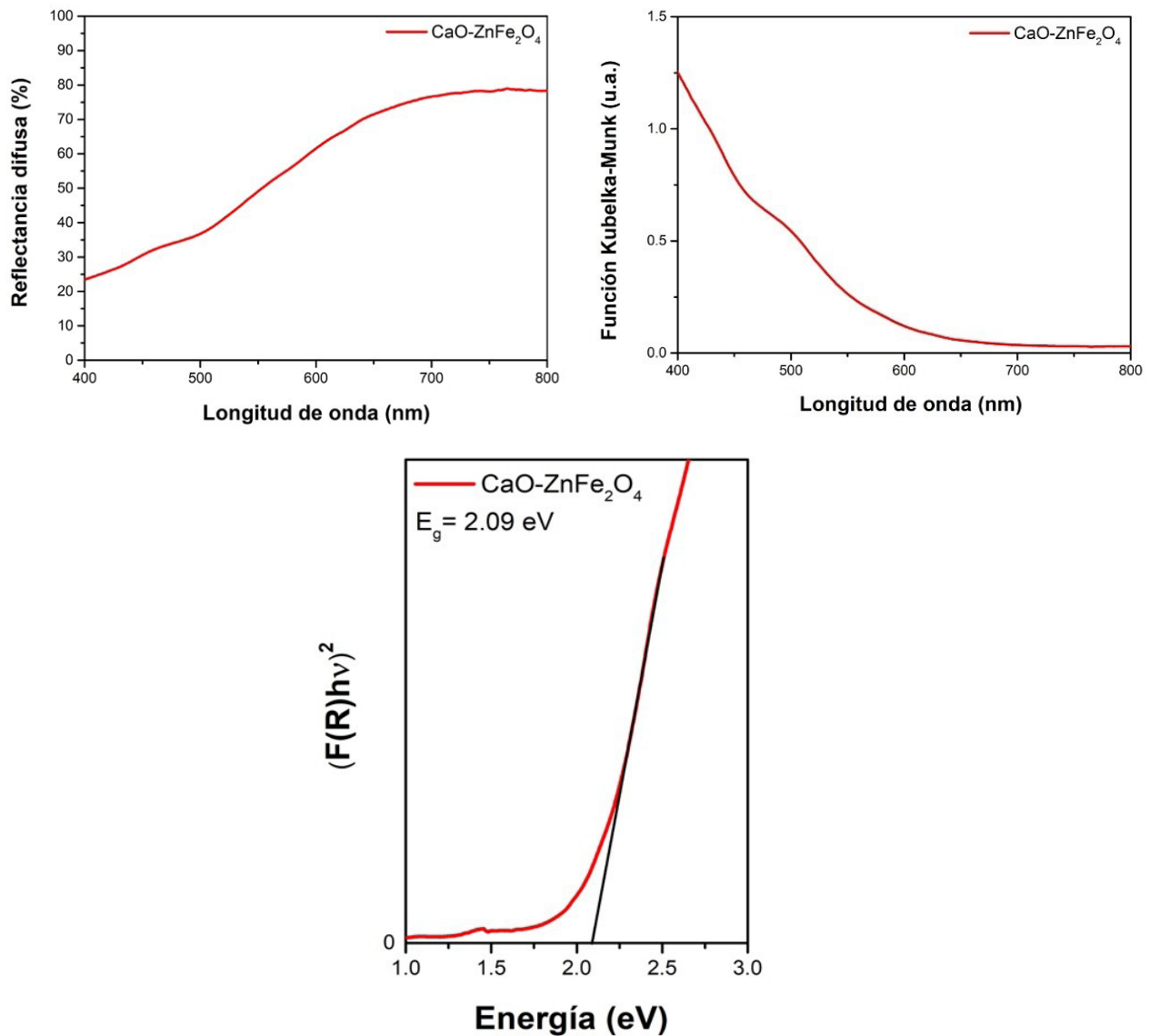


Figura 5.- Reflectancia difusa, Función de Kubelka-Munk (Coeficiente de absorción), y estimación del ancho de band del compuesto.

**Tabla 1.-** Propiedades estructurales, superficiales y ópticas del compuesto CaO-ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

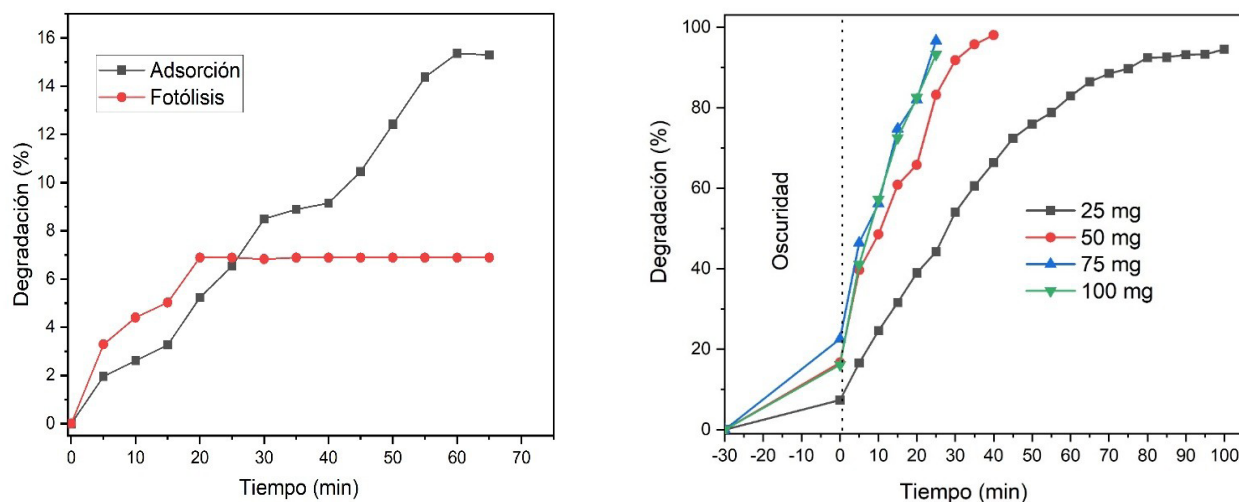
Parámetro	Valor calculado
Tamaño de cristalito (DRX), nm	49
Tamaño de partícula (MEB), nm	23.33
Área BET, m <sup>2</sup> /g	11.67
Volumen total poros, cm <sup>3</sup> /g	3.03 X10 <sup>-3</sup>
Brecha de energía, eV	2.09

### 1. Degradación fotocatalítica

Se efectuaron pruebas de adsorción y fotólisis para evaluar la capacidad del material CaO-ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> en la degradación del azul de metileno a 10 ppm. Se observó que la adsorción mostró una remoción máxima del 15% en 65 minutos.

La fotocatalisis con CaO-ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> resultó en una remoción del 98% del azul de metileno en 25 minutos utilizando 75 mg de catalizador, confirmando así la alta eficiencia fotocatalítica del material para la degradación del

contaminante en presencia de luz (figura 6B). Se realizó un estudio de barrido de dosificación del material fotocatalítico en la degradación de azul de metileno con el propósito de optimizar la eficiencia catalítica, determinando la cantidad óptima de material que maximiza la tasa de degradación y asegura una utilización eficiente del catalizador. En la figura 6 se observa el comportamiento fotocatalítico del semiconductor CaO-ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> variando la dosificación de este, en la remoción de azul de metileno.



**Figura 6.** a) b) Efecto de la dosificación del fotocatalizador en la degradación de Azul de metileno a 10 ppm en 100 mL de solución.



Se observa que usando 25 mg de catalizador se tiene una remoción cerca de 94 % en un tiempo de 100 minutos, cuando se utiliza 50 mg el porcentaje de degradación es próximo al 96 % en 40 minutos, mientras que a 75 mg se obtiene una remoción cercana del 97 % en 25 minutos, sin embargo, cuando se utiliza 100 mg de catalizador el porcentaje de degradación baja a 93 % en ese mismo intervalo de tiempo.

Para determinar la cinética química de la degradación de azul de metileno durante el proceso de fotocatalisis variando la dosificación del catalizador es indispensable determinar el orden de las reacciones para cada uno de los experimentos que se realizaron (Tabla 2), la cual se determina mediante la representación gráfica del logaritmo de la concentración vs. tiempo de irradiación (figura 7). También se determinó el tiempo de vida media.

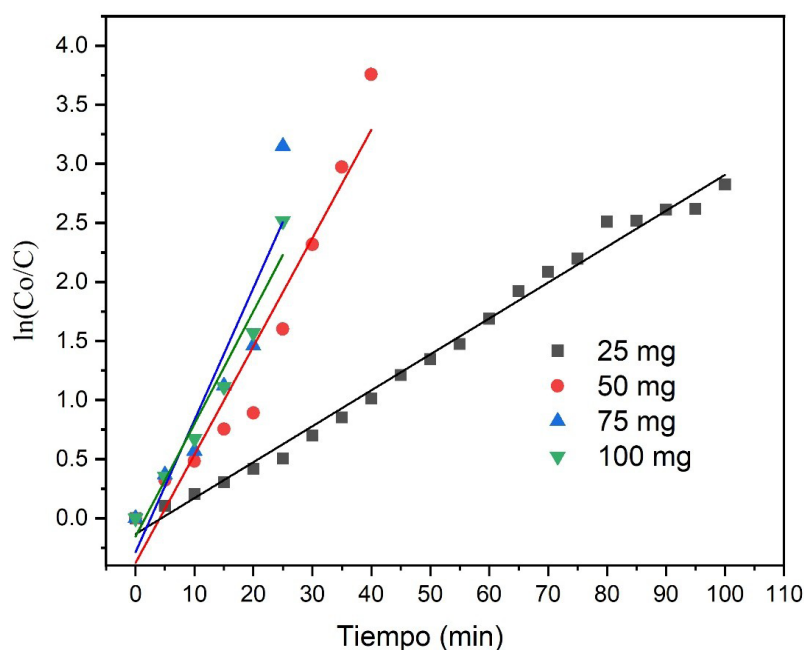


Figura 7: Estudio cinético de pseudo-primero orden efecto de la dosis de catalizador CaO/ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

Tabla 2: Parámetros cinéticos del efecto de variar la dosificación de catalizador CaO/ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

Muestra	K <sub>app</sub> (min <sup>-1</sup> )	t <sub>1/2</sub> (min)	R adj.
25 mg	0.0304	22.80	0.9911
50 mg	0.0916	7.56	0.9221
75 mg	0.1185	5.84	0.8511
100 mg	0.0953	7.27	0.9451

Se realizaron pruebas de scavengers para identificar las especies reactivas involucradas en la fotodegradación del azul de metileno

utilizando 75 mg del catalizador CaO-ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> y una concentración de 10 ppm del contaminante (figura 8).

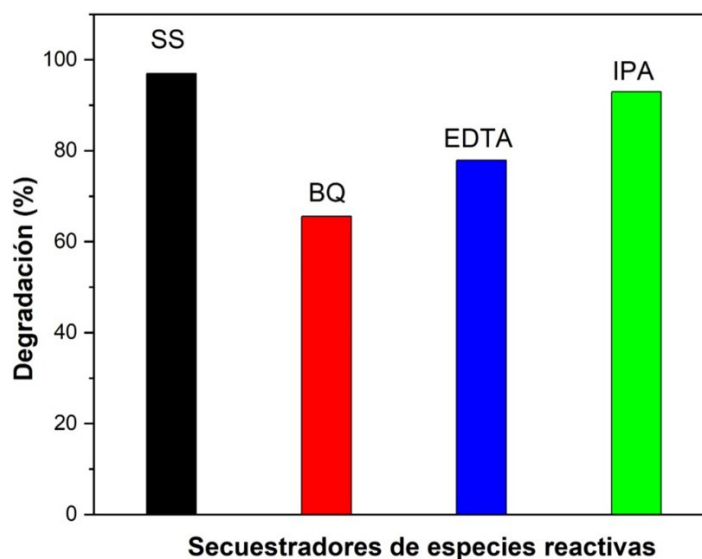


Figura 8.- Efecto de adición de scavengers en el proceso de fotodegradación

### Discusiones.

Los resultados obtenidos en la degradación del azul de metileno revelan la clara superioridad del proceso fotocatalítico respecto a la adsorción y la fotólisis. La baja remoción de solo 15% bajo oscuridad confirma que la adsorción superficial no constituye una vía relevante en la eliminación del contaminante. Asimismo, la ausencia de degradación significativa bajo irradiación sin catalizador demuestra que la luz visible, por sí sola, no provoca fotólisis apreciable del colorante, lo que implica que el  $\text{CaO-ZnFe}_2\text{O}_4$  es indispensable para iniciar y sostener la reacción (figura 6A). Esto valida que la remoción observada es atribuible al desempeño intrínseco del fotocatalizador y no a procesos no catalíticos.

El análisis del efecto de la dosificación del catalizador revela un comportamiento típico de sistemas fotocatalíticos heterogéneos (figura 6B), donde existe una concentración óptima que maximiza la eficiencia. A medida que la cantidad de catalizador aumenta de 25 a 75 mg,

la degradación se acelera considerablemente. Esto se debe al incremento del número de sitios activos expuestos y a la mayor disponibilidad de pares electrón-huecos fotogenerados, lo que incrementa la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS). El notable aumento en la constante cinética al emplear 25 y 75 mg (de 0.0304 a 0.1185  $\text{min}^{-1}$ ) demuestra este efecto catalítico progresivo. Sin embargo, el descenso observado al incrementar la dosis a 100 mg revela la existencia de una saturación óptica y catalítica (tabla 2). El efecto observado, donde la degradación del azul de metileno disminuye al aumentar la cantidad de catalizador de 75 mg a 100 mg (figura 6B), puede deberse principalmente a la aglomeración del catalizador y la reducción de la superficie activa disponible para el proceso fotocatalítico. A concentraciones más altas de catalizador, como 100 mg, las partículas tienden a aglomerarse, lo que reduce la superficie específica disponible para la absorción de luz y las reacciones fotocatalíticas. Además, con un mayor contenido



de catalizador, las partículas pueden bloquearse unas a otras, impidiendo que la luz llegue a todas las superficies del catalizador, provocando un efecto de sombra. Existe también un límite en la cantidad de catalizador que puede ser eficientemente utilizado en un volumen dado de solución y bajo una intensidad de luz específica; Superar este límite puede resultar en una disminución de la eficiencia debido a la saturación del sistema. Finalmente, a mayores concentraciones de catalizador, la solución puede volverse opaca, reduciendo la penetración de luz y limitando la activación del catalizador en las capas inferiores (Odín Reyes-Vallejo, 2024). Este estudio nos da una pauta para identificar la concentración adecuada de fotocatalizador aplicable en sistemas reales de tratamiento de aguas, garantizando tanto la efectividad como la rentabilidad del proceso.

La tendencia de la cinética de pseudo-primer orden refuerza esta interpretación (figura 7) y en la tabla 2 se observa que la constante de velocidad aparente ( $K_{app}$ ) incrementa con la cantidad de catalizador hasta 75 mg, alcanzando un valor máximo de  $0.1185 \text{ min}^{-1}$ , mientras que el tiempo de vida media ( $t_{1/2}$ ) disminuye correspondientemente a 5.84 minutos, lo que indica una mayor eficiencia en la degradación del azul de metileno. Sin embargo, al aumentar la dosificación a 100 mg, la constante de velocidad aparente disminuye ligeramente a  $0.09533 \text{ min}^{-1}$  y el tiempo de vida media aumenta a 7.27 minutos, sugiriendo una posible saturación del sistema catalítico o efectos de auto sombreado. Los coeficientes de determinación ajustados ( $R_{adj}$ ) indican una buena correlación entre

los datos experimentales y el modelo cinético aplicado, validando así los resultados obtenidos.

La alta eficiencia fotocatalítica del compuesto CaO-ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> se explica por la sinergia entre sus propiedades estructurales, morfológicas y ópticas. Su elevada cristalinidad reduce la recombinación electrón-hueco y favorece la movilidad de las cargas, permitiendo una mayor generación de especies reactivas. El tamaño nanométrico de las partículas incrementa la proporción de átomos superficiales, lo que amplía los sitios activos donde puede adsorberse el azul de metileno y ocurrir la transferencia de electrones.

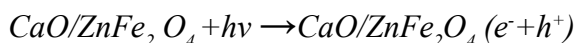
La morfología heterogénea observada por MEB, junto con la distribución homogénea entre CaO y ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, mejora el contacto interfacial entre ambas fases, facilitando la separación de cargas y el transporte electrónico. Asimismo, aunque el área BET es moderada, resulta suficiente para sostener procesos de adsorción y reacción sin comprometer la estabilidad del material. Finalmente, el valor de banda prohibida de 2.09 eV, intermedio entre ambos óxidos, confirma que el compuesto aprovecha eficientemente la luz visible, aumentando la fotogeneración de electrones y huecos. En conjunto, estas características producen un sistema altamente reactivo y capaz de generar ROS de manera eficiente.

Además en el estudio con scavengers proporciona información fundamental sobre el mecanismo de reacción, (figura 8). Se observa una remoción del 98% sin la presencia de

scavengers, lo que indica la alta eficiencia del proceso fotocatalítico. Al agregar isopropanol (IPA), un secuestrador de radicales hidroxilos ( $\bullet\text{OH}$ ), la remoción disminuyó ligeramente al 93%, sugiriendo que los radicales hidroxilos tienen un papel significativo en la degradación, pero no son la especie reactiva predominante. La presencia de EDTA, que secuestra huecos ( $h^+$ ), resultó en una reducción más notable de la remoción al 78%, lo que indica una contribución importante de los huecos en el proceso. La adición de Benzoquinona, un scavenger de superóxido ( $\text{O}_2^{\bullet-}$ ), disminuyó la remoción al 65%, destacando que los radicales superóxidos son las especies reactivas más involucradas en la fotodegradación del azul de metileno. Estos resultados sugieren que, aunque los radicales hidroxilos y los huecos contribuyen al proceso de fotodegradación, los radicales superóxidos juegan el papel más crucial en la eficiencia del sistema fotocatalítico.

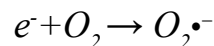
De acuerdo a los resultados obtenidos por los scavengers se propone un mecanismo de reacción (Figura 9).

1. Generación de pares electrón-hueco:



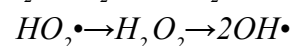
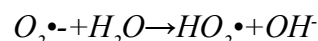
La luz visible excita el catalizador, generando pares ( $e^- + h^+$ ).

2. Formación de radicales superóxidos.



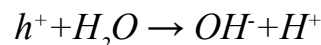
Los electrones en la banda de conducción reaccionan con el oxígeno molecular ( $\text{O}_2$ ) para formar radicales superóxidos ( $\text{O}_2^{\bullet-}$ )

3. Formación de radicales hidroxilos



Los radicales superóxidos pueden reaccionar con agua para formar radicales Hidroxilo ( $\text{OH}^{\bullet}$ ) y otros reactivos intermedios.

4. Oxidación directa por huecos



Los huecos en la banda de valencia pueden oxidar el agua para formar radicales hidroxilos.

5. Degradación del azul de metileno.

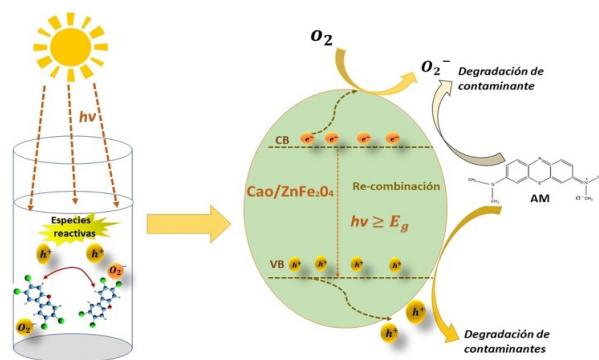
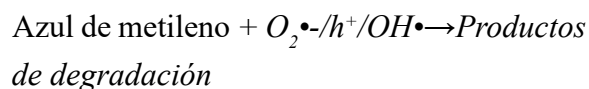


Figura 9.- Esquema del mecanismo de fotodegradación.



Esta investigación presenta un enfoque innovador para la fabricación de fotocatalizadores altamente eficientes usando residuos agroindustriales, abriendo nuevas posibilidades para su uso en la remediación de aguas contaminadas con compuestos orgánicos tóxicos bajo iluminación de luz visible. En la Tabla 3 se presenta una comparación de la fotodegradación de azul de metileno (MB) bajo luz visible utilizando ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> y CaO, ambos sintetizados mediante diferentes métodos. Es

importante destacar que no existe hasta la fecha un estudio de investigación que explore el uso de este compuesto específico (ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/CaO) para estas aplicaciones. Por lo tanto, la tabla comparativa no incluye un material compuesto de ambos, sino que compara los materiales por separado. Se observa claramente que el fotocatalizador sintetizado a través del método verde no solo es fácil de fabricar, sino que también muestra un desempeño notablemente competitivo para lograr la eliminación completa de contaminantes.

Material	Método de síntesis	Fuente de luz (W)	Dosis/solución (mg/ml)	Concentración de tinte (ppm)	Tiempo (min)	Eficiencia (%)	Referencia
ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	hidrotermal	Luz UV 150W	25/100	10	120	43	(Ullah, 2023)
ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -rGO	Sol-gel modificado	Luz visible (300)	25/50	400 MB	180	100	(Sun, 2019)
ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -rGO	Hidrotermal	Simulador solar (150)	20/40	250 MB	60	12.8	(Baynosa, 2020)
NiO-CaO	Precipitación y calcinación	Lámpara (300)	1/250	40 MB	180	96.5	(Song, 2010)
CaO-ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Molienda	Lámpara (150)	75/100	10 MB	25	96.6	Este estudio

## Conclusiones

Se obtuvo la síntesis exitosa de un compuesto de CaO/ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> utilizando cáscaras de huevo como fuente de CaO por el método de Ball-milling. Se observó una reducción en el tamaño de grano durante la molienda de bolas y una distribución heterogénea durante el recocido. El catalizador mostró una buena actividad fotocatalítica para la degradación del azul de metileno (AM) bajo

radiación de luz visible usando una lámpara LED de 150 W. Los experimentos de atrapamiento (SCAVENGERS) indicaron que los radicales superóxidos y los huecos son las especies reactivas que promueven la degradación fotocatalítica de AM. El estudio cinético demostró que se ajusta al modelo de primer orden para todos los casos. Estas características

lo convierten en un fotocatalizador prometedor para degradar contaminantes orgánicos acuosos varias veces. bajo la radiación de la luz solar.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer al CONAHCYT (México) por la beca posdoctoral otorgada a Odín Reyes Vallejo (CVU: 487411). Asimismo, los autores agradecen a Rogelio Morán Elvira y a María Luisa Ramón García por su apoyo técnico en las imágenes de MEB y en el análisis de DRX, respectivamente.

## Referencias

- Alemán-Ramírez, J. L., Reyes-Vallejo, O., Okoye, P. U., Sánchez-Albores, R., Maldonado-Álvarez, A., & Sebastian, P. J. (2023). Crystal phase evolution of high-temperature annealed Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-CaO catalysts for biodiesel production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 17(4), 843–858.
- Barrett, E. P., Joyner, L. G., & Halenda, P. P. (1951). The determination of pore volume and area distributions in porous substances. I. Computations from nitrogen isotherms. *Journal of the American Chemical Society*, 73(1), 373–380.
- Baynosa, M. L., Mady, A. H., Nguyen, V. Q., Kumar, D. R., Sayed, M. S., Tuma, D., & Shim, J. J. (2020). Eco-friendly synthesis of recyclable mesoporous zinc ferrite@reduced graphene oxide nanocomposite for efficient photocatalytic dye degradation under solar irradiation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 561, 459–469.
- Brunauer, S., Emmett, P. H., & Teller, E. (1938). Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemical Society*, 60(2), 309–319.
- Habte, L., Shiferaw, N., Mulatu, D., Thenepalli, T., Chilakala, R., & Ahn, J. W. (2019). Preparation and characterization of calcium oxide from waste eggshell and its application in the removal of phosphate from water. *Sustainability*, 11(11), 3196.
- Ikram, M., Khalid, A., Shahzadi, A., Haider, A., Naz, S., Naz, M., Shahzadi, I., Ul-Hamid, A., Haider, J., Nabgan, W., & Butt, A. R. (2022). Enhanced photocatalytic degradation with sustainable CaO nanorods doped with Ce and cellulose nanocrystals: In silico molecular docking studies. *ACS Omega*, 7(31), 26.



- Irani, M., Mohammadi, T., & Mohebbi, S. (2016). Degradación fotocatalítica de azul de metileno con nanopartículas de ZnO: Un estudio experimental y teórico conjunto. *Revista de la Sociedad Química de México*, 60(4), 218–225.
- Jaiswal, K. K., Dutta, S., Pohrmen, C. B., Verma, R., Kumar, A., & Ramaswamy, A. P. (2021). Bio-waste chicken eggshell-derived calcium oxide for photocatalytic application in methylene blue dye degradation under natural sunlight irradiation. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, 51(7), 995–1004.
- Kislov, N., Srinivasan, S. S., Emirov, Y., & Stefanakos, E. K. (2008). Optical absorption red and blue shifts in ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. *Materials Science and Engineering B*, 153(1–3), 70–77.
- Kubelka, P. (1931). Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche. *Zeitschrift für technische Physik*, 12, 593–601.
- Mustafa, B. M., & Hassan, N. E. (2024). Water contamination and its effects on human health: A review. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 28(1), 38–49.
- Reyes-Vallejo, O., Sánchez-Albores, R., Maldonado-Alvarez, A., Ashok, A., Durán-Alvarez, J. C., & Subramaniam, V. (2023). Calcium–magnesium oxide by the ball-milling method using eggshell as calcium source: Its study for photodegradation of methylene blue. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 34(8), 770.
- Reyes-Vallejo, O., Sánchez-Albores, R., Ashok, A., Serrano Ramírez, R. P., Durán Álvarez, J. C., Bartolo Pérez, P., Cano, F. J., & Velumani, S. (2024). BiVO<sub>4</sub> synthesized by the combustion method: A comparison between orange peel powder and urea used as fuel. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 35, 1245.
- Reyes-Vallejo, O., Sánchez, M., Pal, M., Espinal, R., Llorca, J., & Sebastian, P. J. (2016). Synthesis and characterization of nanoparticles of CZTSe by microwave-assisted chemical synthesis. *Materials Research Express*.
- Sánchez-Albores, R., Cano, F. J., Sebastian, P. J., & Reyes-Vallejo, O. (2022). Microwave-assisted biosynthesis of ZnO–GO particles using orange peel extract for photocatalytic degradation of methylene blue. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1–13.
- Song, L., & Zhang, S. (2010). A simple mechanical mixing method for preparation of visible-light-

sensitive NiO–CaO composite photocatalysts with high photocatalytic activity. *Journal of Hazardous Materials*, 174(1–3), 563–566.

Sun, Q., Wu, K., Zhang, J., & Sheng, J. (2019). Construction of ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/rGO composites as selective magnetically recyclable photocatalysts under visible light irradiation. *Nanotechnology*, 30(31), 315706.

Ullah, R. (2023). Semiconductor ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> as efficient photocatalyst for the degradation of organic dyes: An update. *Journal of Chemical Reviews*, 5(4), 466–476.

Vinosha, P. A., Mely, L. A., Jeronsia, J. E., Krishnan, S., & Das, S. J. (2017). Synthesis and properties of spinel ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles by facile co-precipitation route. *Optik*, 134, 99–108.

Zhang, S. (2014). A new nano-sized calcium hydroxide photocatalytic material for the photodegradation of organic dyes. *RSC Advances*, 4(31), 15835–15840.





