

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ZNO USANDO
BLUEBERRY CON APLICACIÓN FOTO CATALÍTICA**

**SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ZNO USING
BLUEBERRY FOR PHOTOCATALYTIC APPLICATIONS**

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Vicencio Garrido, Marco Antonio¹

Secihti-Instituto Tecnológico de Apizaco

marcovicencio19@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2139-9597>

Ramirez Amador, Raquel²

Instituto Tecnológico de Apizaco

raque1577@yahoo.com.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0716-4596>

Bueno, Carlos³

Instituto Tecnológico de Apizaco

cba3009@gmail.com

Flores Méndez, Javier⁴

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

javier.floresme@correo.buap.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8815-7015>

Reseña de Autor 1

Marco Antonio Vicencio Garrido, Ingeniero químico y Maestro en Gestión en la Industria del petróleo y Gas, Doctor en Dispositivos Semiconductores, con investigaciones en Celdas solares, diodos, propiedades magnéticas, piezoelectrónicos, actualmente se desarrolla el Posdoctorado con la Secihti, con el proyecto: Reparación ambiental de efluentes hídricos contaminados por agroquímicos en Puebla y Tlaxcala mediante fotocátalisis heterogénea con un composito poroso de ZnO dopado con tierras raras, sintetizado mediante química verde, desarrollando colaboraciones con BUAP, INAOE, Cinvestav, UNAM, etc.

Reseña de Autor 2

Recibió el título de licenciada en Electrónica por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Maestría en Ciencias de la Electrónica por el INAOE y el Doctorado en Dispositivos Semiconductores por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Desde el año 2009 se ha desempeñado como docente a nivel medio superior y superior en diversas instituciones educativas. Actualmente, se encuentra adscrita al Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica y la División de estudios de posgrado, del Instituto Tecnológico de Apizaco/ Tecnológico Nacional de México; en donde participa de manera activa en las actividades que se llevan a cabo. Sus intereses radican en la automatización y control, síntesis y caracterización de materiales semiconductores y de película delgada, en la micro y nanoelectrónica, desarrollo de dispositivos semiconductores y diseño de circuitos integrados. Ha incursionado en el desarrollo de proyectos de investigación, asesoría de tesis de alumnos de nivel superior y posgrado, publicación de artículos científicos, tecnológicos y de pedagogía.

Reseña de Autor 3

Doctor en Dispositivos Semiconductores. Graduado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Profesor- Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Apizaco en el Departamento de Eléctrica-Electrónica (2019 a la fecha). Participando también en el área de posgrado en la Maestría en Ingeniería Mecatrónica y el Doctorado en Ciencias Profesor-Investigador BUAP Facultad de Ingeniería (2017-2020). SNI nivel 1 desde 2022 a la fecha. Área de trabajo: Mecatrónica, Ciencia de materiales, Nanociencia y nanotecnología, nano y micro-estructuras de ZnO y TiO₂. Sensores de gas y foto sensores, celdas solares de óxidos metálicos.

Reseña de Autor 4

Doctor de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con más de 60 publicaciones en revistas JCR, con más de 300 citas, perteneciente al SNI nivel II, y Docente del Instituto Tecnológico de Puebla. Desarrollando múltiples investigaciones sobre materiales enfocándose en la generación de vibraciones y deformaciones, así como la investigación y desarrollo de los meta materiales.

Recibido el 12 de mayo de 2026. Aceptado el 7 de julio de 2026.

Publicado el 31 de agosto de 2026.

Resumen

Se obtuvo ZnO a partir de *blueberry* como proveedora de iones OH y antocianinas, por la alta presencia de fenoles y antioxidantes aplicando el método de síntesis por coprecipitación, lográndose una sal compleja de Zinc, y posteriormente se consigue el óxido de Zinc por tratamiento térmico (450°C en 4hrs), teniendo la fase wurtzita comprobada por XRD, se midieron sus propiedades ópticas encontrando su absorbancia desde ~325nm, y un GAP de 3.27 eV. Se realizó SEM observando una morfología de conglomerados y porosa debido a la química verde. Se logró la Fotoluminiscencia, para poder observar el comportamiento de los defectos para la muestra Zinc Blue como para las dopadas, se aplicaron las muestras a fotocátalisis degradando azul de metileno obteniendo resultados de 95% en 60 minutos.

Abstract

ZnO was synthesized using blueberries—which provided OH ions and anthocyanins, as well as a high content of phenols and antioxidants—via a co-precipitation method that yielded a complex zinc salt; subsequent heat treatment (450°C for 4 hours) produced zinc oxide. XRD analysis confirmed the wurtzite phase, and optical property measurements revealed an absorption onset at ~325 nm and a bandgap of 3.27 eV. SEM imaging showed a porous, agglomerated morphology resulting from the green chemistry approach. Photoluminescence analysis was conducted to observe defect behavior in both the »Zinc Blue« sample and the doped samples. Finally, the samples were tested for photocatalytic activity by degrading methylene blue, achieving 95% degradation within 60 minutes.

Introducción

Los altos índices de contaminación del agua en todo el mundo con colorantes industriales como la rodamina, el naranja de metilo y el azul de metileno [1],

así como también de los herbicidas causados por la agricultura o la ganadería [2], han llamado la atención de los investigadores debido a su grave impacto medioambiental y al daño que causan a la salud de todos los seres vivos y que dependen del agua limpia para su supervivencia. Esto, junto con la escasez de agua limpia en el mundo, hace que el problema de la contaminación del agua sea cada vez más grave [3] y, con un alto grado de urgencia, requiere una solución eficaz y respetuosa con el medio ambiente. Los materiales semiconductores más utilizados por sus características ópticas, morfológicas y estructurales son el TiO₂, el SnO₂ o el ZnO obtenidos por rutas conocidas como sol-gel, baño químico y deposición química, los cuales siempre tienden a tener un grado de impacto ambiental [4] y alcanzar muy buenas eficiencias catalíticas. Por otro lado, uno de los métodos más empleados en la química verde es el denominado coprecipitación, el cual se obtiene por medios ecológicos, como es el caso de los frutos rojos [5].

El azul de metileno (MB) es un colorante tiazínico catiónico que se utiliza principalmente en diversas industrias textiles y del que se ha informado que causa efectos nocivos en organismos acuáticos y en seres humanos, como problemas respiratorios, vómitos, náuseas e irritación ocular, e incluso cáncer, lo que ha llegado a costar vidas de personas [6-9].

En este trabajo se obtendrá el ZnO obtenido a través de *blueberry*, como un material amigable con el medio ambiente y obtenido por un método 100% verde sin generar residuos tóxicos, aplicándolo a fotocatalisis como una alternativa 100% eficiente para degradar tintes orgánicos presentes en el agua.

Síntesis

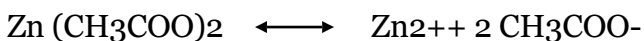
El proceso de síntesis se llevó a cabo utilizando la técnica de coprecipitación como química verde, empleando el fruto rojo de *blueberry* como una sal proveedora de

iones (ya que tiene una gran cantidad de fenoles y de antocianinas) para la formación de una sal compleja de zinc, el proceso se realizó con los siguientes pasos:

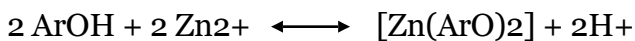
1. Lavar con agua y pesar 100 g de *blueberry*.
2. Triturar con un mortero y filtrar, obteniendo aproximadamente 50 ml de zumo de *blueberry*.
3. A continuación, medir 50 ml de acetato de zinc a una concentración de 3 M en agua desionizada (previamente diluido) y mezclar con los 50 ml de zumo de arándanos en una proporción de 1:1 por volumen (el zumo es agregado gota a gota).
4. Agitar durante 4 horas a una temperatura de 100 °C para obtener un concentrado (milky), debido a la evaporación del agua presente en la reacción.
5. Se coloca el concentrado en una mufla a 450 °C durante 4 horas para obtener un polvo blanco característico del ZnO. Este proceso se muestra en el diagrama 1.

Las reacciones químicas estimadas en la reacción son las siguientes:

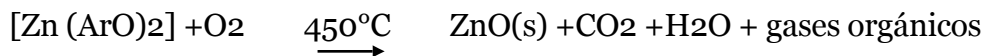
Disociación del acetato en solución 3M



Combinación con fenoles/antocianinas (esquemático)



Descomposición térmica en presencia de aire



Nota : Ar es Aromático

Diagrama 1

Síntesis de ZnO usando blueberry



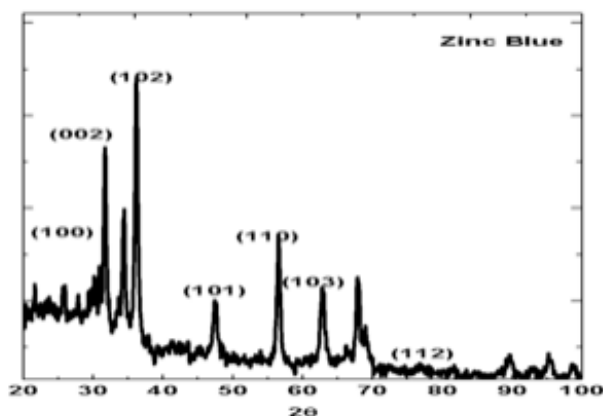
Nota. Elaboración propia.

Difracción de Rayos X

Implementando XRD sobre la muestra obtenida, encontramos la orientación preferencial así como la fase de los compuestos. Los resultados se refieren a las difracciones más intensas y correspondientes al ZnO en su fase wurtzita, siendo esta la más estable, aparecen en 2θ aproximados (tarjeta JCPDS / ICDD ZnO: 36-1451 [10]. Los resultados se muestran en la figura 1, donde podemos ver que no hay presencia de ningún otro tipo de material, sólo ZnO en su fase Wurtzita, la muestra será llamada como Zinc Blue.

Figura 1

XRD Zinc Blue



Nota. Elaboración propia.

El tamaño de los cristales se extrae de la reflexión más intensa en (101) utilizando la ecuación de Debye Scherrer, la cual es la siguiente:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \dots\dots\dots (1)$$

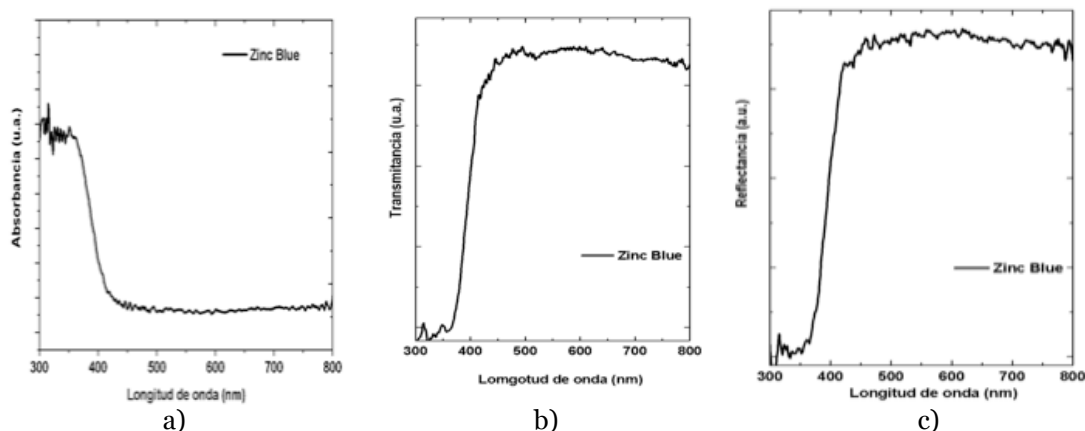
donde D es el tamaño de cristalito, k = factor de forma igual a 0,9, $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$ y β = anchura total a media altura (FWHM), el tamaño de cristal promedio obtenido es de 9.2 nm. [11-12].

Uv-Vis

Las propiedades ópticas de la muestra obtenida (Zinc Blue) fue medida por medio de Uv-Vis, para medir su absorbancia, transmitancia y reflectancia, la absorbancia se observa en la figura 2 a), iniciando desde los ~300 nm, para el caso del Zinc Blue alcanza su máxima absorbancia de ~347 nm a ~372 nm para posteriormente bajar hasta los ~415nm y mantenerse así hasta los ~800 nm. En el caso de la reflectancia en la Figura 2 b), el Zinc Blue inicia su transmitancia en ~365 nm, alcanzando su máximo en 365 nm y manteniéndose así hasta los 800 nm. Para la reflectancia, en la figura 2 c) se muestra para el Zinc Blue un inicio desde ~365 nm, alcanzando su máximo hasta ~441 nm y manteniéndose hasta ~800 nm. Estos resultado ópticos son muy parecidos a las de la obtención de ZnO por cualquier otro método químico.

Figura 2

Uv-Vis Zinc Blue, en a) Absorbancia, b) Reflectancia y c) Transmitancia

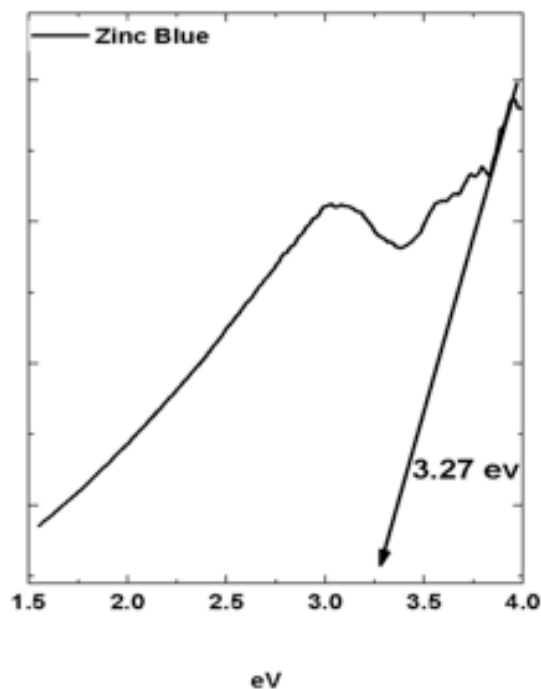


Nota. Elaboración propia.

Con la aplicación de la ecuación de Tauc $(\alpha h\nu)^2$ vs. $E(\text{eV})$. [13], se calculó el Band GAP de la muestra de Zinc Blue, el resultado obtenido es de 3.27 eV, lo que corresponde a la banda ancha prohibida del ZnO, este resultado se muestra en la figura 3 [14].

Figura 3

Band Gap Zinc Blue



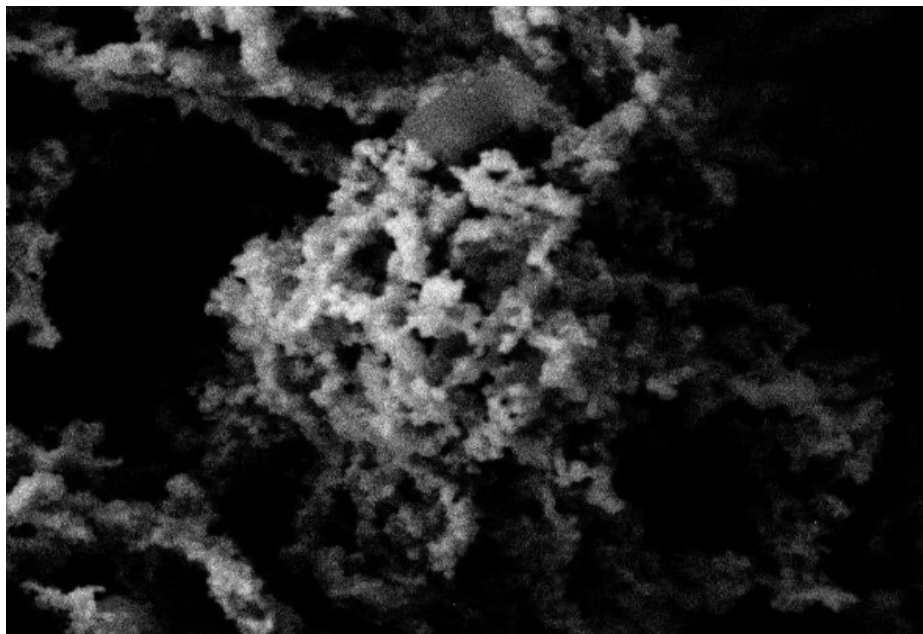
Nota. Elaboración propia.

SEM

La micrografía SEM fue desarrollada a 100 nm en la cual se puede observar una estructura altamente porosa y aglomerada la muestra generada (Zinc Blue), característica de los óxidos metálicos sintetizados mediante métodos de síntesis verdes [15]. Este tipo de microestructura indica una alta área superficial, atribuible a la acción reductora y estabilizadora de los compuestos fenólicos y flavonoides presentes en el extracto de *blueberry* durante el proceso de síntesis. Además esta morfología es ideal para la implementación en fotocatalisis ya que ayuda a retener al contaminante y tener buenas eficiencias.

Figura 4

SEM Zinc Blue, a) 100 nm



100 nm

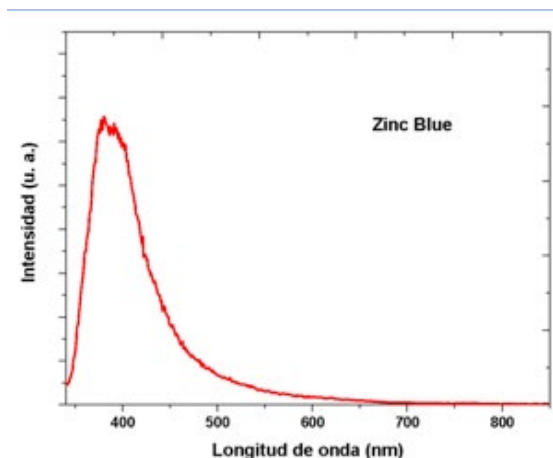
Nota. Elaboración propia.

Fotoluminiscencia

La fotoluminiscencia se desarrolló para poder identificar los tipos de defectos presentes de la muestra Zinc Blue, desarrollándose desde 327 nm hasta 850 nm, los resultados se muestran en la figura 5, donde se puede ver como para la muestra Zinc Blue se tiene excitación en el rango ~ 370 nm (rango del UV), lo que corresponde a la emisión cerca de la banda prohibida (near-band-edge, NBE) del ZnO lo que indica excitones libres o excitones ligados. Su posición coincide con el E_g óptico de ZnO ($\approx 3.2-3.4$ eV). [16-19] Este punto también es muy conveniente para la aplicación en fotocatalisis, ya que la presencia de electrones y huecos ayudará a obtener una fotodegradación óptima, la cual se medirá más adelante.

Figura 5

Fotoluminiscencia de Zinc Blue



Nota. Elaboración propia.

En la muestra de Zinc Blue se ve que tiene fuerte emisión en el UV, este efecto puede ser debido a las consideraciones desarrolladas en lo sucesivo.

Aplicación en Fotocatálisis

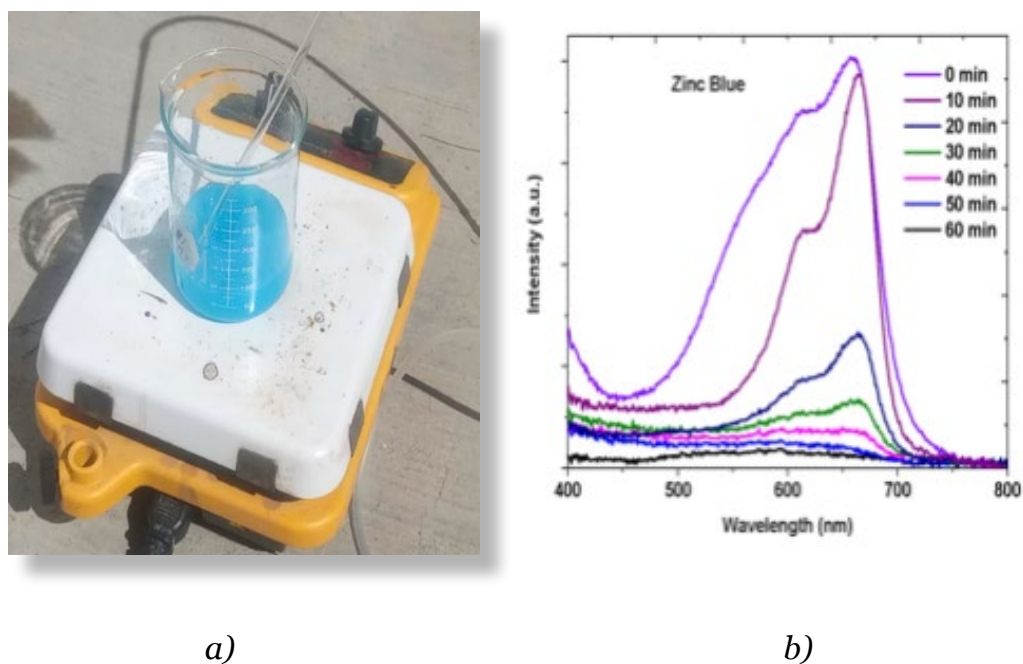
La fotocatálisis se desarrolló usando el espectro solar, con el siguiente procedimiento:

1. Se pesan 50 mg de Zinc Blue.
2. Se miden 50 ml de azul de metileno como contaminante orgánico a una concentración de 10 ppm.
3. Se agregan los 50 mg de Zinc Blue con los 50 ml de Azul de metileno y se toman muestras cada 10 minutos para posteriormente medir los resultados de fotodegradación con el equipo Uv Vis.

En la figura 6 a) se muestra una imagen del proceso foto catalítico realizado, mientras que en la 6 b), se muestran los resultados de foto degradación obtenidos, de las muestras tomadas cada 10 minutos, observando que a 60 minutos se tiene una degradación muy buena del colorante a ~95%, este resultado puede ser atribuido por la alta pureza obtenida del ZnO así como a su morfología porosa que sirve como trampas para los contaminantes para que se degraden de manera más eficiente.

Figura 6

a) *Proceso foto catalítico y b) foto degradación*



Nota. Elaboración propia.

Conclusiones

Se pudo sintetizar ZnO empleando *blueberry* como fruto rojo, aportando antocianinas para generar una sal compleja, y posteriormente por tratamiento térmico generar ZnO, se realizó su análisis óptico, estructural y morfológico encontrando muchas similitudes en las propiedades del ZnO, en comparación al de otros métodos químicos que no son amigables con el medio ambiente, en su morfología se observó una estructura porosa la cual es proporcionada por la síntesis de química verde empleada, y que fue de gran ayuda para la rápida degradación del azul metileno en fotocatálisis, alcanzado un 95% de foto degradación de Azul de Metileno en un tiempo de 60 minutos, por lo que se ha obtenido un nanomaterial con muy buenas propiedades y con un método 100% amigable con el medio ambiente, y que tiene una alta aplicación foto catalítica. Cabe señalar que este es el inicio de la investigación ya que se buscará dopar el nanomaterial para poder optimizar más las propiedades obtenidas, así como aplicar en fotocatálisis, pero con otro tipo de contaminantes, y buscar la obtención del ZnO con otros frutos rojos.

Referencias

1. Alprol AE, Eleryan A, Abouelwafa A, Gad AM, Hamad TM. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Padina pavonica* extract for efficient photocatalytic removal of methylene blue. *Sci Rep.* 2024;14:32160. doi:10.1038/s41598-024-80757-9
2. Plakas KV, Karabelas AJ. Removal of pesticides from water by NF and RO membranes – A review. *Desalination.* 2012;287:255-265. doi:10.1016/j.desal.2011.08.003
3. Khatri N, Tyagi S, Rawtani D. Assessment of drinking water quality and its health effects in rural áreas of Harij taluka, Patan district of northern Gujarat. *Environ Claims J.* 2016;28(3):223-246. doi:10.1080/10406026.2016.1190249
4. Rawtani D, Khatri N, Tyagi S, Pandey G. Nanotechnology - based recent approaches for sensing and remediation of pesticides. *J Environ Manage.* 2018;206:749-762. doi:10.1016/j.jenvman.2017.11.037
5. Donmez S. Phyto-mediated synthesis of zinc oxide nanoparticles using black chokeberry (*Aronia melanocarpa* L.) fruit extracts for promising antioxidant, antibacterial, antidiabetic, and photocatalytic activities. *J Cluster Sci.* 2025;36. doi.org/10.1007/s10876-025-02830-1
6. Li S, Cui Y, Wen M, Ji G. Toxic effects of methylene blue on the growth, reproduction and physiology of *Daphnia magna*. *Toxics.* 2023;11(7):594. doi:10.3390/toxics11070594
7. Moorthy AK, Rathi BG, Shukla SP, Kumar K, Bharti VS. Acute toxicity of textile dye methylene blue on growth and metabolism of selected freshwater microalgae. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2021;82:103552. doi:10.1016/j.etap.2020.103552
8. Xiang X, Zhou J, Lin S, Zhang N, Abulipizi G, Chen G, Li Z. Dual drive acute lethal toxicity of methylene blue to *Daphnia magna* by polystyrene microplastics and light. *Sci Total Environ.* 2022;840:156681. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.156681
9. Benbrook CM. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environ Sci Eur.* 2016;28(1):3. doi:10.1186/s12302-016-0070-0
10. International Centre for Diffraction Data. Zincite, ZnO (Card No. 36-1451). En: Powder Diffraction File (PDF-2, Release 2003). Newtown Square (PA): International Centre for Diffraction Data; 2003.

11. Han J, Mantas PQ, Senos AMR. Densification and grain growth of Al-doped ZnO. *J Mater Res.* 2001;16(2):459-468. doi:10.1557/JMR.2001.0069
12. Zhao H, Wang H, Meng X, Zhao J, Xie Q. A method to reduce ZnO grain resistance and improve the intergranular layer resistance by Ca²⁺ and Al³⁺ co-doping. *Mater Sci Semicond Process.* 2021;128:105768. doi:10.1016/j.mssp.2021.105768
13. Muthukumaran S, Gopalakrishnan R. Tailored electric and optical properties of Nd-doped ZnO: from transparent conducting oxide to photon down-shifting thin films. *RSC Adv.* 2016;6(50):44480-44490. doi:10.1039/C6RA07669F
14. Pascariu PC, Cojocaru CS, Samoila P, Romanitan C. Nd-Doped ZnO Nanostructures with Enhanced Photocatalytic Performance for Environmental Protection. *Int J Mol Sci.* 2023;24(7):6436. doi:10.3390/ijms24076436
15. Rathi DNG, Saad N, Esa NM, Abd Rashed A, Md Noh MF, Abdullah CAC. Green synthesis and functional evaluation of zinc oxide nanoparticles from red dragon fruit peel. *Sci Rep.* 2025;15:37312. doi:10.1038/s41598-025-21333-7
16. Pascariu, P., Cojocaru, C., Samoila, P., & Romanitan, C. (2023). Nd-Doped ZnO Nanostructures with Enhanced Photocatalytic Performance for Environmental Protection. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(7), 6436. <https://doi.org/10.3390/ijms24076436>
17. Ahmed S, Annu, Chaudhry SA, Ikram S. A review on biogenic synthesis of ZnO nanoparticles using plant extracts and microbes: a prospect towards green chemistry. *J Photochem Photobiol B.* 2017;166:272-284. doi:10.1016/j.jphotobiol.2016.12.011
18. Pramanik S, Mondal S, Mandal AC, Mukherjee S, Das S, Ghosh T, Kuiri PK. Role of oxygen vacancies on the green photoluminescence of microwave-assisted grown ZnO nanorods. *J Alloys Compd.* 2020;849:156684. doi:10.1016/j.jallcom.2020.156684
19. Ghosh M, Raychaudhuri AK. Shape transition in ZnO nanostructures and its effect on blue-green photoluminescence. *J Appl Phys.* 2008;103(8):083557. doi:10.1088/0957-4484/19/44/445704