

Biosíntesis de nanopartículas de ZnO empleando el extracto de la flor Botón de oro (*Tithonia diversifolia*)

Biosynthesis of ZnO nanoparticles using the buttercup flower (*Tithonia diversifolia*) extract

Borrás-Enríquez, A.J.^{1,2*} , González-Escobar, J.L.¹ , Veana, F.¹ ,

De la Cruz-Martínez, A.² 

¹ Tecnológico Nacional de México/IT de Ciudad Valles, Carretera Al Ingenio Plan de Ayala Km. 2, Col. Vista Hermosa, 79010 Ciudad Valles, San Luis Potosí, México.

² Tecnológico Nacional de México/ TES de San Felipe del Progreso. Av. Instituto Tecnológico S/N. ejido de San Felipe del Progreso, 50640, San Felipe del Progreso, Estado de México.

³ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Dr. Manuel Nava #6, Zona Universitaria, San Luis Potosí C.P. 78210, S.L.P., México.



Please cite this article as/Como citar este artículo: Borrás-Enríquez, A.J., González-Escobar, J.L., Veana, F., De la Cruz-Martínez, A. (2025). Biosynthesis of ZnO nanoparticles using the buttercup flower (*Tithonia diversifolia*) extract. Revista Bio Ciencias, 12, e1910. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1910>

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: February 15th 2025.

Accepted/Aceptado: September 02th 2025.

Available on line/Publicado: September 30th 2025.

RESUMEN

Las nanopartículas de óxido de Zinc (ZnO) destacan en aplicaciones tecnológicas como sensores de gas, sensores de láser ultravioleta y visible, celdas solares, celdas fotocatalíticas, catalizadores fotocatalíticos, donde su síntesis juega un rol importante para cada aplicación. La introducción de componentes biológicos en la síntesis de nanopartículas como extractos de plantas, es de gran interés, al ser un producto de fácil obtención y no contaminante al ambiente. *Tithonia diversifolia* es una planta forrajera que muestra adaptaciones fisiológicas para hacer frente a entornos hostiles; dentro de sus componentes, su flor actualmente no presenta un uso, por lo que este trabajo se centra en la producción de óxido de zinc mediante química verde utilizando extractos de la flor de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) como agente reductor y su caracterización mediante técnicas de Difracción de rayos X, Reflectancia Difusa y Microscopía Electrónica de Barrido. Los resultados mostraron que el extracto de Flor Botón de oro produce óxido de zinc en nanopartículas de tipo wurzuita de 21 nm con una proporción de 30:55 (Zn:O), debido a la presencia de impurezas (Magnesio, Calcio y Potasio), presentes en el extracto, las cuales resultan deseables para mejorar o modificar las nanopartículas para el desarrollo de nuevas tecnologías.

PALABRAS CLAVE: Biosíntesis, tithonia, flor, oxido de zinc, nanopartículas.

*Corresponding Author:

Borrás-Enríquez, A.J. Tecnológico Nacional de México/IT de Ciudad Valles, Carretera Al Ingenio Plan de Ayala Km. 2, Col. Vista Hermosa, 79010 Ciudad Valles, San Luis Potosí, México. E-mail: anahi.borras@tecvalles.mx

ABSTRACT

Zinc oxide (ZnO) nanoparticles excel in various technological applications, including gas sensors, ultraviolet and visible laser sensors, solar cells, photocatalytic cells, and catalysts, where their synthesis is crucial for each specific application. The use of biological components in nanoparticle synthesis, such as plant extracts, is of great interest since it is a sustainable and environmentally friendly method. *Tithonia diversifolia* is a forage plant that exhibits physiological adaptations to survive in harsh environments; its flowers currently have no practical use. This work focuses on producing zinc oxide via green chemistry, using extracts from buttercup flower (*Tithonia diversifolia*) as a reducing agent, and characterizes the material through X-Ray Diffraction, Diffuse Reflectance, and Scanning Electron Microscopy. The results show that the tree buttercup flower extract produces zinc oxide nanoparticles of about 21 nm in size, with a wurzite-like structure and a ratio of approximately 30:55 (Zn:O), due to impurities like magnesium, calcium, and potassium present in the extract. These impurities are advantageous for enhancing or modifying the nanoparticles for future technological developments.

KEY WORDS: Biosynthesis, Tihonia, flower, Zinc oxide, nanoparticles.

Introducción

En la actualidad se ha despertado un gran interés entorno al desarrollo de nanopartículas mediante métodos que mejoren las propiedades fisicoquímicas y optoelectricas con mayor aplicación, como catalizadores, material de soporte y materiales semiconductores. Dentro de las nanopartículas de importancia resalta el Óxido de zinc (ZnO) empleado en sensores de gas, láser ultravioleta y visible, celdas solares, celdas fotocatalíticas y en catalizadores fotocatalíticos. Existen diferentes métodos para generar nanopartículas destacando a la biosíntesis, que se define como el proceso de producción de nanopartículas utilizando materiales biológicos (Naiel *et al.*; 2022).

La introducción de componentes biológicos en la síntesis de nanopartículas, tales como microorganismos, vitaminas, extractos de plantas y/o vegetales y metabolitos provenientes de los anteriores como agentes reductores es de gran interés (Salinas-Estevané & Sánchez-Cervantes, 2012). El método biológico o mejor conocido como biosíntesis; es considerado como un método amigable con el medio ambiente al no generar residuos tóxicos, no necesita equipos sofisticados y las condiciones de síntesis son simples, ya que normalmente se llevan a cabo a temperatura ambiente (Nandhini,*et al.*, 2024). Es así, que la biosíntesis con el uso de componentes biológicos

evita el uso de aquellos reductores químicos como los son el borohidruro de sodio (NaBH_4), el citrato de sodio ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$), ascorbato de sodio ($\text{C}_6\text{H}_7\text{NaO}_6$) e hidrógeno elemental (H_2), cuyo empleo genera residuos tóxicos, lo que genera un área de exploración viable (Sundararajan & Muthukumar, 2020).

Gardea *et al.*, (2002) reportaron por primera vez la posibilidad de utilizar extractos de plantas para la síntesis a escala nanométrica de metales en estado cerivalente. Desde entonces, se ha demostrado que los extractos de plantas son buenos estabilizadores de nanopartículas sin la necesidad del uso de estabilizantes comerciales, presentando excelentes propiedades que no aglomeran a las partículas. Mientras que el trabajo de Rodríguez *et al.*, (2013) mostraron que los glucósidos de esteviol, principales constituyentes de *Stevia rebaudiana* actúan como plantillas biológicas en la síntesis de nanopartículas.

La síntesis de nanopartículas de Óxido de zinc (NPs-ZnO) ha sido reportada por Lakshmeesha *et al.*, (2014), a partir de un mecanismo en el cual los iones de Nitrato de zinc ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$) son reducidos por compuestos fenólicos y taninos presentes en las plantas. Estos compuestos actúan como agentes reductores, formando complejos con los iones de Zinc, los cuales, tras sufrir una oxidación se reducen a nanopartículas de óxido de zinc (ZnO). Los mecanismos propuestos en el estudio incluyen tanto procesos redox como la participación de grupos OH presentes en los compuestos fenólicos, que facilitan la formación de las nanopartículas. Por otro lado, Abdul *et al.*, (2014) reportaron que la formación de nanopartículas de Óxido de zinc puede ser generadas a partir de las interacciones con estructuras con grupos funcionales (OH), tales como: ácido ascórbico, glucósidos y ácido gálico, llevando el producto de reacción redox a calcinación.

Varios estudios han reportado la formación de nanopartículas de óxido de zinc utilizando extractos de *Moringa oleífera* (Senthilkumar & Sivakumar, 2014; Morales *et al.*, 2016; Ramesh *et al.*, 2015; Matinise *et al.*, 2017). Estudios por FT-IR del extracto acuoso de las hojas, revelaron la presencia de fitoconstituyentes como aminoácidos, alcaloides, flavonoides y compuestos fenólicos que permiten la estabilización de las nanopartículas al interactuar con la superficie del Zinc. Sin embargo, estos compuestos son importantes en la alimentación tanto humana como animal, por lo que su uso para estos fines podría causar conflicto de intereses en el sector alimentario. Actualmente, no existen estudios relacionados con el uso de plantas forrajeras para la producción de nanopartículas de Óxido de zinc. Por lo tanto, la planta forrajera como el Botón de oro (*Tithonia diversifolia*) es un excelente candidato como posible agente reductor en la biosíntesis de ZnO para el desarrollo tecnológico de nuevos materiales.

El Botón de Oro es una planta forrajera similar al Girasol, pero con flores más pequeñas que presenta gran adaptación fisiológica para hacer frente a entornos hostiles, incrementando su proliferación e invasión de otras zonas, por lo que es muy notorio observarla en los patíos baldíos, a las orillas de carreteras, ríos y cerca de las casas de las zonas rurales. Existen reportes que el tallo, así como las hojas, son destinadas para el consumo animal, sin embargo, las flores no son empleadas para dicha actividad (Galindo *et al.*, 2017), por lo que el presente trabajo se centra en

biosintetizar nanopartículas de Óxido de Zinc, a partir de la técnica de química verde (Biosíntesis), empleando la flor de Botón de Oro, como fuente biológica para generar el agente reductor.

Material y métodos

Obtención y procesamiento del material vegetal

El material vegetal completo fue recolectado en los municipios de San Felipe del Progreso, Atlacomulco y Acambay. En el laboratorio se realizó la separación de los constituyentes de la planta. La flor se sometió a un proceso de deshidratación mediante secado solar durante 40 horas, en intervalos de 8 horas de exposición por día. Posteriormente, la muestra seca fue pulverizada utilizando un molino (VEVOR, modelo X/2z) y tamizada hasta obtener un tamaño de malla 40.

Producción de extracto activo de las flores

Para obtener la extracción de la sustancia activa, se utilizaron 20 g de flor deshidratada en polvo disueltas en 100 mL de agua desionizada. La mezcla se mantuvo en agitación (450 rpm) a una temperatura de 60-70 °C durante 60 min. Posteriormente, la mezcla se filtró al vacío en un embudo Büchner usando un filtro Wattman N°40. Las muestras se mantuvieron en refrigeración a 4 °C, hasta su uso.

Caracterización fitoquímica de las flores

El extracto activo de las flores obtenido previamente fue utilizado para la cuantificación de fenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante (DPPH), mediante técnicas espectrofotométricas reportadas por Borrás-Enríquez *et al.* (2021).

Biosíntesis de Óxido de zinc

La biosíntesis fue llevada a cabo mediante un sistema abierto, utilizando 20 mL del extracto de las flores y 2 g de $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Reactivos Meyer, Mex). La mezcla se mantuvo en agitación a 350 rpm a 80 °C hasta lograr la evaporación de agua y obtener un polvo seco. El material obtenido fue sometido a una calcinación a 450 °C durante 5 horas en una mufla.

Caracterización de nanopartículas de Óxido de zinc

Las nanopartículas de Óxido de zinc fueron caracterizadas mediante las técnicas de difracción de rayos X (PXRD, INEL, Equinox 3000, Cu K α), Reflectancia difusa (Uv-3600 Shimadzu UV-VIS-NIR Spectrometer), en el cual se desarrollaron longitudes de onda de 200 nm a 300 nm. Así mismo, la morfología de las nanopartículas de Óxido de zinc fueron analizadas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM).

Cálculo de parámetros de red de difracción de rayos X

Los planos fueron analizados según la ecuación de Bragg (Ecuación 1), en donde n representa el orden de difracción, λ la longitud de onda (nm), d es la distancia interplanar (Å), y θ es el ángulo de incidencia de radiación.

Ecuación 1. Ecuación de Bragg

$$n\lambda = 2d \cdot \sin\theta$$

La distancia interplanar de los sistemas hexagonales fueron calculados con la ecuación 2, donde h, k, l son los índices de Miller y a y c son las constantes de red.

Ecuación 2. Cálculo de distancia interplanar

$$\frac{1}{d^2_{(h\ k\ l)}} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$$

La relación entre el ángulo de incidencia y la cuadrática de la ecuación de Bragg se muestra en la ecuación (3). La constante A puede ser expresado según la ec. (4). Los parámetros de la red se calcularon, por las ecuaciones. (5) y (6).

Ecuación 3. Cálculo de parámetros de red

$$\sin^2 \theta = A (h^2 + hk + k^2)$$

$$A = \lambda^2 / 3a^2$$

$$a = \sqrt{\frac{\lambda^2}{3A}}$$

$$c = l \cdot d$$

Cálculo de la brecha de energía, a partir de Reflectancia difusa

Para poder calcular la brecha de energía se utilizó la ecuación de Kubelka-Munk.

Ecuación 4. Ecuación de Kubelka-Munk

$$\frac{k}{s} = \frac{1 - R_{\infty}^2}{2R_{\infty}}$$

Donde k y s son constantes de absorción y dispersión y R es la reflectancia de la capa infinitamente gruesa.

Tamaño promedio de cristalitos

El Tamaño Promedio de los Cristalitos (D) fue calculado de acuerdo con la fórmula de Scherrer.

Ecuación 5. Ecuación de Scherrer

$$D = K \cdot \lambda \beta \cdot \cos \theta$$

Donde λ es la longitud de onda, β es el ancho total a la mitad del máximo, θ el ángulo de difracción y K una constante (para partícula de forma esférica).

Resultados y discusión

El extracto concentrado de flor de *Tithonia diversifolia* mostró una concentración de 1.64 ± 0.12 mg EAG/100 mL de Fenoles totales, 160.08 ± 2.36 mg EQ/100 g de Flavonoides totales y un porcentaje de inhibición de 73.86 ± 5.15 % de radicales libres, como agente antioxidante (Tabla 1). Los metabolitos secundarios como polifenoles y flavonoides han demostrado que pueden actuar como agentes reductores en las reacciones de biosíntesis proporcionando una estabilidad a la reducción de precursores químicos y controlar la velocidad de reacción, obteniendo un producto blanco (Abdolhossien *et al.*, 2019), esto puede deberse a que los flavonoides y polifenoles, debido a sus estructuras fenólicas pueden donar electrones y reducir los precursores metálicos a formas de nanopartículas (Jadoun *et al.*, 2021).

Los polifenoles y flavonoides tienen estructuras químicas ricas en grupos hidroxilo (-OH) y otras características de su anillo fenólico que pueden adsorberse sobre la superficie de las nanopartículas formadas, esto evita que las nanopartículas se aglutinen entre sí, ya que podría disminuir su estabilidad y sus propiedades deseadas. Los compuestos fenólicos actúan como estabilizadores físicos y químicos, formando una capa protectora alrededor de las nanopartículas. La velocidad a la que se reducen los iones metálicos está influenciada por la disponibilidad de electrones en los compuestos fenólicos. El control de la cantidad de flavonoides o polifenoles y la concentración de iones metálicos puede ajustar la velocidad de reducción, evitando una formación descontrolada de nanopartículas y permitiendo obtener un producto homogéneo (Sundararajan & Muthukumar, 2020).

Tabla 1. Caracterización fitoquímica del botón de oro (*Tithonia diversifolia*)

Fenoles totales (mg de EAG/ml)	Flavonoides totales (mg EQ/ml)	Inhibición (%)
1.64±0.12	30.43±3.46	71.24±3.12

El análisis de difracción de rayos X (XRD) de las nanopartículas de ZnO se muestran en la Figura 1. En la imagen se pueden observar los picos de difracción (1 0 0), (0 0 2), (1 0 1), (1 0 2), (1 1 0), (1 0 3), (2 0 0), (1 1 2), (2 0 1), (0 0 4), (2 0 2). De acuerdo con el trabajo de Zagal-Padilla & Gamboa (2018), los resultados de los 11 picos que observan corresponden a los planos cristalinos de la estructura wurtzita hexagonal de ZnO.

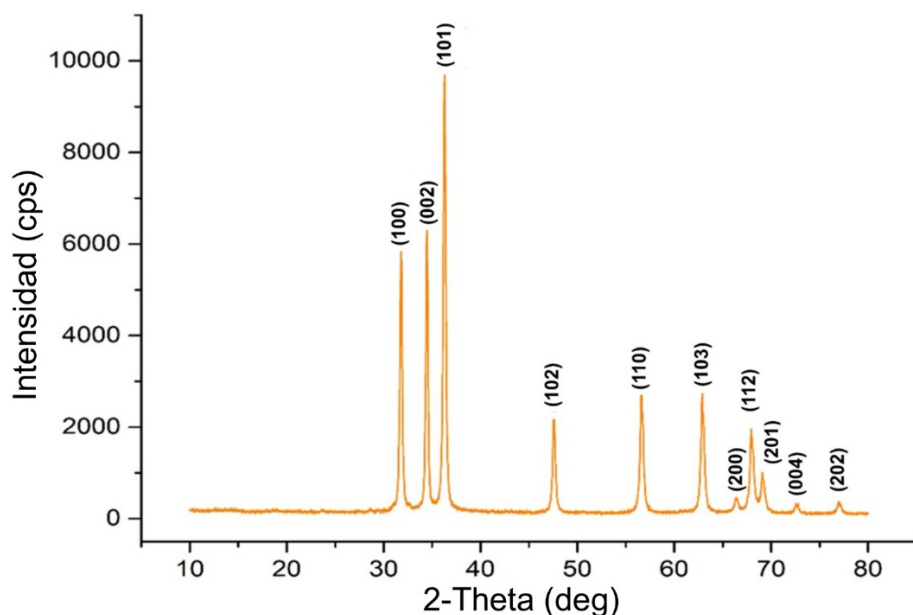


Figura 1. Patrones de XRD de ZnO

Los parámetros de red fueron calculados para obtener más información respecto a la difracción de rayos X (Tabla 2). Estos resultados presentan valores similares a los reportados en la literatura para el compuesto de Óxido de zinc (Marin *et al.*, 2016). Uno de los principales

planos difractados es el (0 0 2), representando la formación cristalina del material tipo wurtzita, el cual está relacionado con el parámetro c de red (Singha *et al.*, 2018). Este pico muestra un crecimiento asociado a los cambios correspondientes al parámetro c que pueden indicar la formación de agregados o fases secundarias debido a impurezas. Los planos (1 0 0) y (1 0 1) se consideran también importantes para la estructura wurtzita del ZnO, ya que podrían existir ciertas modificaciones en estos planos en función del método de síntesis seleccionado (Obeizi *et al.*, 2020). Sin embargo, los parámetros de red (001) y (002) $a=b$ (3.45 Å) y c (5.19 Å), son similares a los reportados por Zagal-Padilla & Gamboa (2018) empleando un extracto de perejil como agente reductor.

De acuerdo con el espectro de difracción de energía dispersada (Figura 2), se observa que la muestra contiene impurezas como el Magnesio, Potasio y Calcio. Estos componentes se han observado en la planta de *Tithonia diversifolia* en otras investigaciones (Mabou *et al.*, 2018). La presencia de estas y otras impurezas en la matriz de ZnO, provoca un desplazamiento de los principales picos difractados. La incorporación de Mg en el ZnO provoca un cambio estructural, dependiendo de la concentración de este mineral, se ven afectadas las intensidades de los picos difractados, especialmente en el plano (0 0 2). Estos resultados se deben a que el magnesio es un material que por sus propiedades como metal alcalinotérreo es empleado para mejorar la brecha de energía del ZnO, el radio iónico del Mg^{+2} de 57 pm (pacómetros), muy similar a radio iónico del Zn^{+2} que es de 60 pm, permitiendo que se logre formar una fase estable y ocasionando pequeñas distorsiones en los parámetros de la red. El tamaño del cristalito calculado para la biosíntesis de óxido de zinc de la flor de *Tithonia diversifolia* es de 21.54 nm, mismos que se encuentran dentro del rango reportado por otros autores (Rao & Rao, 2017).

Tabla 2. Parámetros estructurales de nanopartículas de ZnO

2θ	H	k	l	a	c
31.83	1	0	0	3.45	
34.45	0	0	2		5.19
36.29	1	0	1	3.58	2.47
47.58	1	0	2	3.93	3.82
56.66	1	1	0	4.61	
62.91	1	0	3	4.71	4.43
66.45	2	0	0	4.10	
68.02	1	1	2	4.75	2.75
69.16	2	0	1	5.36	1.36
72.62	0	0	4		5.20
77.04	2	0	2	5.17	2.47

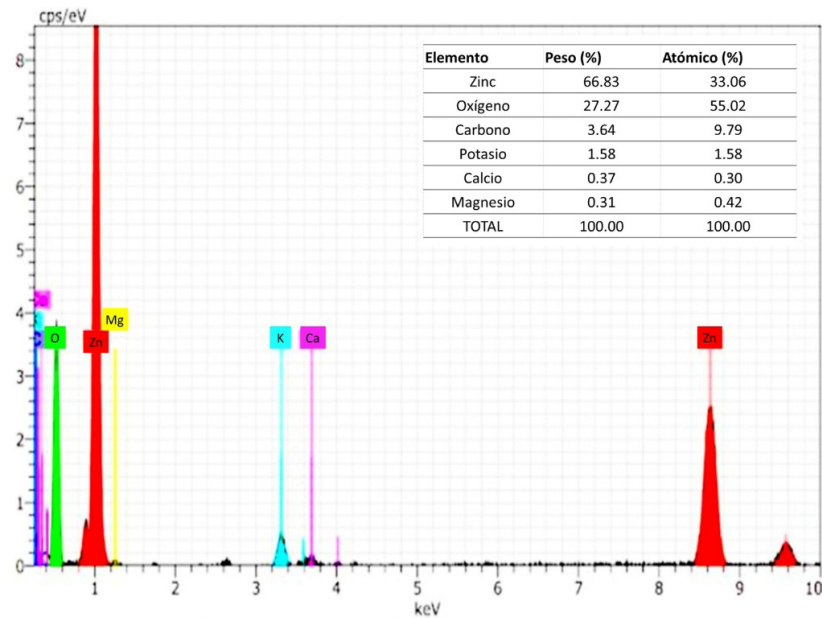


Figura 2. Espectro EDX de la síntesis de NPs ZnO usando extracto de flor de *Tithonia diversifolia*

En la Figura 3, podemos observar el valor de la banda prohibida de las NPs -ZnO representan la intersección de la línea con la energía del fotón ($h\nu$) de la gráfica ($\alpha h\nu$) versus (cm), el valor obtenido fue de 3.16 eV lo que concuerda con algunos valores informados en literatura, como 3.63 eV. (Debanath & Karmaka, 2013).

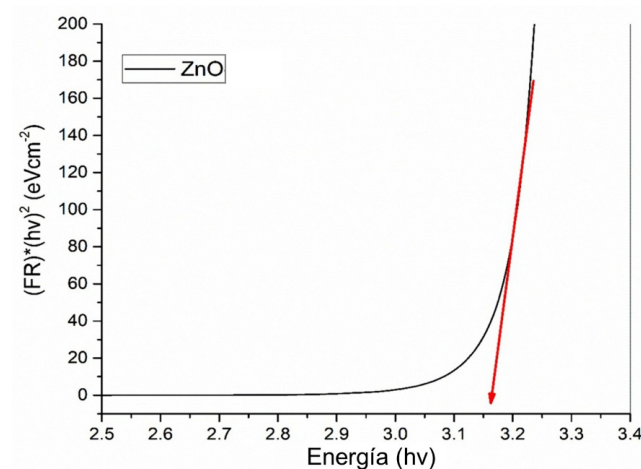


Figura 3. Cálculos de Bandgap para nanopartículas de ZnO

El SEM realizado al ZnO (Figura 4), la morfología del material con la formación de copos nanométricos por lo cual el tamaño de estas partículas es en el orden de 20-25 nm. En las micrografías de ZnO se puede observar que las nanopartículas de ZnO presentan una estructura esférica, que se agregan en otras estructuras más grandes, esta morfología también es observada en el trabajo de Gendo *et al.*, (2024), en la producción de Óxido de zinc utilizando extractos de hojas de *Calpurnia aurea*.

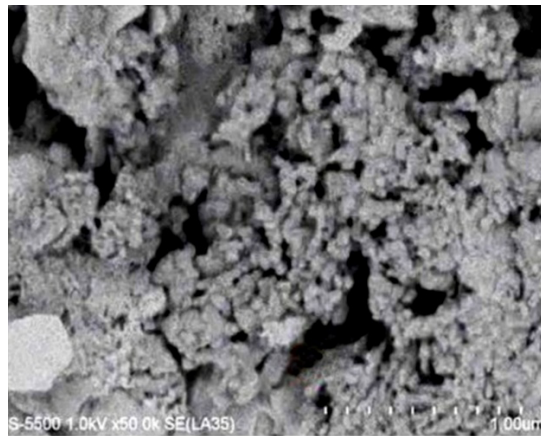


Figura 4. Microfotografías de nanopartículas de ZnO

La proporción estequiométrica (Zn:O) es 0.33:0.55 (Figura 2), validando la presencia deseable del Magnesio, durante la biosíntesis. De acuerdo con Zagal-Padilla & Gamboa (2018) una relación estequiométrica cercana a 1:1 es deseable para la producción de Óxido de zinc. Sin embargo, generalmente en el uso de extractos de plantas se observa la presencia de minerales que se pueden considerar impurezas, sin embargo de acuerdo a lo reportado por Rao & Rao (2017) los dopajes en las nanopartículas de Óxido de zinc con minerales como el Magnesio, Calcio y Potasio mejoran o modifican las propiedades físicas, ópticas y electrónicas, lo que abre nuevas posibilidades tecnológicas en los campos de la fotocatalisis, sensores de gases, dispositivos electrónicos, aplicaciones biomédicas y tratamiento de aguas residuales.

Conclusiones

Los extractos de la flor de botón de oro (*Tithonia diversifolia*), resultaron ser viables para la producción de Óxido de zinc mediante química verde. Las nanopartículas de Óxido de zinc

presentaron forma tipo wurtzita, en forma de esferas con tamaños de 21.54 nm, con la presencia de Magnesio, Calcio y Potasio, mismas que mejoran las propiedades físicas, ópticas y electrónicas de las nanopartículas de óxido de zinc para el desarrollo de nuevas tecnologías.

Contribución de los autores

Desarrollo de la metodología Borrás-Enríquez, A.J. y González-Escobar, J.L., Validación experimental Veana, F. y De la Cruz-Martínez, A., Análisis de resultados Borrás-Enríquez, A.J., y Veana, F.; Manejo de datos, González-Escobar, J.L. y De la Cruz-Martínez, A; escritura y preparación del manuscrito, Borrás-Enríquez, A.J., González-Escobar, J.L. Veana, F. y De la Cruz-Martínez, A; redacción, revisión y edición, Borrás-Enríquez, A.J., González-Escobar, J.L. Veana, F. y De la Cruz-Martínez, A; administrador del proyecto, Borrás-Enríquez, A.J.

“Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo”.

Financiamiento

Agradecimiento al Tecnológico Nacional de México por el apoyo financiamiento otorgado con el proyecto 18530.23-PD.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Abdolhossien, M., Nafiseh, M., Omolbanin, E., Mehrdad K., & Mina S. (2019). Zinc oxide nanoparticles: Biosynthesis, characterization, antifungal and cytotoxic activity, *Materials Science and Engineering*, 104, 109981. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.109981>.
- Abdul, H., Sivaraj, R., & Venckatesh, R. (2014). Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles from *Ocimum basilicum* L. var. *purpurascens* Benth. *Lamiaceae* leaf extract. *Materials Letters*, 131, 16-18. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2014.05.033>
- Borrás-Enríquez, A. J., Reyes-Ventura, E., Villanueva-Rodríguez, S. J., & Moreno-Vilet, L. (2021). Effect of Ultrasound-Assisted Extraction Parameters on Total Polyphenols and Its Antioxidant Activity from Mango Residues (*Mangifera indica* L. var. *Manililla*). *Separations*, 8(7), 94. <https://doi.org/10.3390/separations8070094>
- Debanath, M.K. & Karmaka S. (2013). Study of blueshift of optical band gap in zinc oxide (ZnO) nanoparticles prepared by low-temperature wet chemical method. *Materials Letters*, 111, 116-119. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013.08.069>
- Galindo, J., González, N., Scull, I., Marrero, Y., Moreira, O., & Ruiz, T.E. (2017). *Tithonia*

- diversifolia* (Hemsl.) A. Gray and its effect on the rumen population and microbial ecology. In: Mulberry, moringa, and tithonia in animal feeds and others: Results in Latin America and its Caribbean. San José de las Lajas, Cuba: FAO, ICA, EDICA. pp. 251-256. <https://www.redalyc.org/journal/2691/269158220006/269158220006.pdf>
- Gardea-Torresdey, J. L., Parsons, J. G., Gómez, E., Peralta-Videa, J., Troiani, H. E., Santiago, P., & Yacaman, M. J. (2002). Formation and growth of Au nanoparticles inside live alfalfa plants. *Nano letters*, 2, 397-401. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/nl015673%2B>
- Gendo, K. M., Feyisa Bogale, R., & Kenasa, G. (2024). Green synthesis, characterization, and evaluation of photocatalytic and antibacterial activities of Co₃O₄-ZnO nanocomposites using *Calpurnia aurea* leaf extract. *ACS omega*, 9(26), 28354-28371. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c01595>
- Jadoun, S., Arif, R., Jangid, N. K., & Meena, R. K. (2021). Green synthesis of nanoparticles using plant extracts: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(1), 355-374. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01074-x>
- Lakshmeesha, T. R., Sateesh, M. K., Prasad, B. D., Sharma, S. C., Kavyashree, D., Chandrasekhar, M., & Nagabhushana, H. (2014). Reactivity of crystalline ZnO superstructures against fungi and bacterial pathogens: Synthesized using *Nerium oleander* leaf extract. *Crystal growth & design*, 14(8), 4068-4079. <https://doi.org/10.1021/cg500699z>
- Mabou-Tagne, A., Marino F. & Cosentino, M. (2018). *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray as a medicinal plant: a comprehensive review of its ethnopharmacology, phytochemistry, pharmacotoxicology and clinical relevance, *Journal of Ethnopharmacology*, 220, 94-116. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.03.025>
- Marin, O., Tirado, M., Budini, N., Mosquera, E., Figueroa C., & Comedi, D. (2016). Photoluminescence from c-axis oriented ZnO films synthesized by sol-gel with diethanolamine as chelating agent, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 56, 59-65. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2016.07.007>
- Matinise, N., Fuku, X. G., Kaviyarasu, K., Mayedwa, N., & Maaza, M. (2017). ZnO nanoparticles via *Moringa oleifera* green synthesis: physical properties and mechanism of formation. *Applied Surface Science*, 406, 339-347. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.01.219>
- Morales-Díaz, A. B., Juárez-Maldonado, A., Morelos-Moreno, Á., González-Morales, S., & Benavides-Mendoza, A. (2016). Biofabricación de nanopartículas de metales usando células vegetales o extractos de plantas. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7, 1211-1224. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i5.247>
- Naiel, B., Fawzy, M., Halmy, M.W.A., & AU-Mahmoud, A.E.D. (2022). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using Sea Lavender (*Limonium pruinosum* L. Chaz.) extract: characterization, evaluation of anti-skin cancer, antimicrobial and antioxidant potentials. *Science Reports* 12, 20370. <http://doi.org/10.1038/s41598-022-24805-2>
- Nandhini, J., Karthikeyan, E., & Rajeshkumar S. (2024). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles: Eco-friendly advancements for biomedical marvels", *Resources Chemicals and Materials*, 3(4), 294-316. <https://doi.org/10.1016/j.recm.2024.05.001>
- Obeizi, Z., Benbouzid, H., Ouchenane, S., Yilmaz, D., Culha, M., & Bououdina, M. (2020). Biosynthesis of Zinc oxide nanoparticles from essential oil of *Eucalyptus globulus* with antimicrobial and anti-biofilm activities. *Materials Today Communications*, 25, 101553. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101553>

- Ramesh, M., Anbuvarannan M., & Viruthagiri G., (2015). Green synthesis of ZnO nanoparticles using *Solanum nigrum* leaf extract and their antibacterial activity. *Spectrochimica. Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 136, 864-870. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.09.105>
- Rao, K. K., & Rao, M. C. (2017). Optical and luminescence properties of ni²⁺-doped PVA capped CDTE nanoparticles. *Rasayan Journal Chemistry*, 10(3), 904-909. https://rasayanjournal.co.in/admin/php/upload/228_pdf.pdf
- Rodríguez, M., Sifontes, A. B., Méndez, F. J., Díaz, Y., Canizales, E., & Brito, J. L. (2013). Template synthesis and characterization of mesoporous γ -Al₂O₃ hollow nanorods using *Stevia rebaudiana* leaf aqueous extract. *Ceramics International*, 39, 4499-4506. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.11.044>
- Salinas-Estevané, J. P., & Sánchez-Cervantes, E. M. (2012). La química verde en la síntesis de nanoestructuras. *Ingenierías*, 15(54), 7-16. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/10484>
- Senthilkumar, S. R., & Sivakumar, T. (2014). Green tea (*Camellia sinensis*) mediated synthesis of zinc oxide (ZnO) nanoparticles and studies on their antimicrobial activities. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6(6), 461-465. <https://innovareacademics.in/journal/ijpps/Vol6Issue6/9715.pdf>
- Singha, S. S., Mondal, S., Bhattacharya, T. S., Das, L., Sen, K., Satpati, B., Kaustuv, Das & Singha, A. (2018). Au nanoparticles functionalized 3D-MoS₂ nanoflower: An efficient SERS matrix for biomolecule sensing. *Biosensors and Bioelectronics*, 119, 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.07.061>
- Zagal-Padilla, C.K. & Gamboa, S.A. (2018). Optoelectronic characterization of ZnO obtained by green synthesis of Zn-salt precursor in parsley extract, *Journal of Alloys and Compounds*, 767, 932-937. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.07.191>.