






Nanopartículas de ZnO impregnadas con extracto de *Hibiscus sabdariffa* L.: Caracterización y actividad antimicrobiana.

ZnO nanoparticles impregnated with *Hibiscus sabdariffa* L. extract: Characterization and antimicrobial activity.

Razura-Carmona, F.F.^{1,2} , Altamirano-Medina, T.P.³, Bueno-Durán, A.Y.^{1,4},
Sáyago-Ayerdi S.G.² , Girón-Pérez, M.I.^{1,5} , Bautista-Rosales, P.U.⁵ ,
Pérez-Larios, A.⁶, Sánchez-Burgos, J.A.^{2*} 

¹ Laboratorio Nacional para la Investigación en Inocuidad Alimentaria (LANIIA)-Unidad Nayarit, Universidad Autónoma de Nayarit, Calle Tres S/N. Colonia. Cd. Industrial, Tepic 63173, Tepic, Nayarit, Mexico. ² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tepic, Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos, Avenida Instituto Tecnológico No. 2595, Lagos del Country, CP63175 Tepic, Nayarit, México. ³ Licenciatura en Biomedicina Ambiental Traslacional, Universidad Autónoma de Nayarit, Calle Tres S/N. Colonia. Cd. Industrial, Tepic 63173, Nayarit, Mexico. ⁴ Unidad Académica de Ciencias Químicas Biológicas y Farmacéutica, Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura Amado Nervo s/n, CP 63190 Tepic, Nayarit, México. ⁵ Secretaría de investigación y posgrado, Universidad Autónoma de Nayarit, Calle Tres S/N. Colonia. Cd. Industrial, Tepic 63173, Nayarit, Mexico. ⁶ Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Los Altos, Av. Rafael Casillas Aceves 1200, CP 47620, Tepatlitlán de Morelos, Jalisco, Mexico.



Please cite this article as/Como citar este artículo: Razura-Carmona, F.F., Altamirano-Medina, T.P., Bueno-Durán, A.Y., Sáyago-Ayerdi S.G., Girón-Pérez, M.I., Bautista-Rosales, P.U., Pérez-Larios, A., Sánchez-Burgos, J.A (2023). ZnO nanoparticles impregnated with *Hibiscus sabdariffa* L. extract: Characterization and antimicrobial activity. *Revista Bio Ciencias*, 10, e1473. <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1473>

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: February 24th 2023.

Accepted/Aceptado: September 22th 2023.

Available on line/Publicado: October 04th 2023.

RESUMEN

El óxido de zinc puede ser un vehículo para la encapsulación de compuestos bioactivos obtenidos a partir de subproductos de *Hibiscus sabdariffa* L. atribuido a su estructura mesoporosa. Las nanopartículas obtenidas con nitrato de zinc mostraron un tamaño medio de partícula de 120 nm, cuando se impregnaron con extracto de subproducto de Jamaica asistido por ultrasonidos no mostraron alteraciones morfológicas, sin embargo; se observó que existe una modificación de las bandas de energía del ZnO atribuida a las interacciones entre el ZnO y las moléculas del extracto. T1.0 % y T1.5 % presentaron mayor inhibición sobre *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* y *Staphylococcus mutans* en comparación con T0.5 % y EUSJ. Los resultados muestran que el proceso de síntesis y la impregnación de los extractos de subproductos jamaicanos presentan interesantes propiedades antibacterianas asociadas al efecto potenciador del ZnO y del extracto, lo que puede constituir un punto de partida para futuros estudios sobre algunas aplicaciones u otros tipos de microorganismos.

PALABRAS CLAVE: Óxido de zinc, subproductos de *Hibiscus sabdariffa*, subproductos y antimicrobianos.

*Corresponding Author:

Jorge Alberto Sánchez-Burgos. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tepic, Laboratorio Integral de Investigación en Alimentos, Avenida Instituto Tecnológico No. 2595, Lagos del Country, CP63175 Tepic, Nayarit, México. E-mail: jsanchezb@tepic.tecnm.mx

ABSTRACT

Zinc oxide can be a vehicle for the encapsulation of bioactive compounds obtained from *Hibiscus sabdariffa* L by-products due to its mesoporous structure. The nanoparticles obtained with zinc nitrate showed an average particle size of 120 nm, when impregnated with ultrasound-assisted extract of Jamaican by-product did not show morphological alterations, however; it was observed that there is a modification of the ZnO energy bands attributed to the interactions between ZnO and the extract molecules. T1.0 % and T1.5 % presented higher inhibition on *Listeria Monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, and *Staphylococcus mutans* compared to T0.5 % and EUSJ. The results show that the synthesis process and the impregnation of Jamaican by-product extracts have interesting antibacterial properties associated with the potentiating effect of ZnO and extract, which can be a starting point for further studies on some applications or other types of microorganisms.

KEY WORDS: Zinc oxide, by-products of *Hibiscus sabdariffa* L, Ultrasound, Antimicrobial.

Introducción

El *Hibiscus* (*Hibiscus sabdariffa* L.) es una planta anual que se cultiva en climas tropicales y subtropicales de todo el mundo. La calidad del material vegetal está determinada por varios factores: las condiciones locales de cultivo, el momento de la cosecha, el manejo poscosecha y, sobre todo, la etapa de secado. En México se cultiva principalmente en los estados de Guerrero, Oaxaca, Michoacán y Nayarit; el principal productor es el estado de Guerrero, que aporta más de la mitad de la producción total. La jamaica es una de las plantas con presencia de compuestos antimicrobianos en cálices secos (Beltrán-Debón *et al.*, 2010; Ahmadpoor-Dehkordi, 2018; Sindi *et al.*, 014). Es una planta anual, arbustiva y de crecimiento rápido. Tiene una altura media de 2 a 3,5 m. Tiene forma de cuna, venas palmadas, está cubierta de hojas que comienzan en la copa, así como en las ramas y soporta grandes axilas con flores (Duarte-Valenzuela *et al.*, 2016).

Fenoles

Los fenoles son una gran familia con más de 4.500 miembros. Dentro del grupo de los fenoles se encuentran los ácidos fenólicos y la gran familia de los flavonoides, entre otros. Los flavonoides se encuentran en frutas, verduras, semillas y flores. Desempeñan un papel importante en la biología vegetal; así, responden a la luz y controlan los niveles de auxinas que regulan el crecimiento y la diferenciación de las plantas. La importancia de los fenoles radica en que proporcionan soporte mecánico a las plantas, contribuyen a la coloración de flores y frutos,

protegen frente a patógenos y herbívoros, y son muy eficaces en la protección de los tejidos frente a la radiación ultravioleta (Ochoa-Velasco *et al.*, 2018).

Los principales compuestos bioactivos identificados en los cálices de *Hibiscus sabdariffa* son delfinidina-3-glucósido, sambubiósido, cianidina-3-sambubiósido, flavonoides (gosipetina, hibiscetina) con sus respectivos glucósidos, ácido protocatéquico, eugenol, esteroides como β -sitosterol, y ergosterol (Duarte-Valenzuela *et al.*, 2016). Diversos estudios demuestran la presencia de polifenoles en extractos de cáliz de *Hibiscus sabdariffa* L., como flavonoides y antocianinas. Este grupo de compuestos reportan múltiples efectos biológicos, tales como: antioxidantes, antiinflamatorios, antitrombóticos, antimicrobianos, antiperoxidación lipídica, antialérgicos, anticancerígenos, vasodilatadores, así como la capacidad de neutralizar especies reactivas de nitrógeno.

Actividad antimicrobiana

Se ha evidenciado actividad antimicrobiana cuando se evalúa frente a especies bacterianas como *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumonia*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella paratyphi*, *Lysteria monocytogenes*, *Shigella flexneri* y *Vibrio cholerae* (Borrás-Linares *et al.*, 2015; Gómez-Aldapa *et al.*, 2018). Por lo tanto, se considera que los extractos de cáliz de *Hibiscus* representan una alternativa como aditivo alimentario que podría prolongar la vida útil de alimentos como los productos cárnicos (Patel, 2014).

Subproducto de *Hibiscus sabdariffa* L.

La fibra dietética y los antioxidantes son dos componentes de los alimentos e ingredientes funcionales que suelen estudiarse por separado en la investigación y en la industria. Sin embargo; tal y como se ha descrito previamente (Saura-Calixto *et al.*, 2007; Vitaglione *et al.*, 2008; Goñi *et al.*, 2009), una parte de los compuestos bioactivos presentes en muestras vegetales, ya sean antioxidantes o no, se encuentran asociados a los componentes de la fibra dietética, como consecuencia de la capacidad de algunos de ellos para formar complejos con proteínas y polisacáridos.

Concretamente, en el caso de los polifenoles, una parte considerable de ellos puede estar asociada a la fracción insoluble de la fibra, principalmente compuestos con mayor grado de polimerización como los taninos condensados (proantocianidinas) y los taninos hidrolizables. Mientras que los polifenoles de menor peso molecular como algunos flavonoides, ácidos fenólicos, dímeros y trímeros de proantocianidinas suelen estar asociados a la fracción de fibra soluble (Sáyago-Ayerdi *et al.*, 2010).

Extracción asistida por ultrasonido

La extracción de compuestos bioactivos por ultrasonidos es un método limpio, sencillo, rápido y ecológico en comparación con los métodos convencionales. Además de su alta reproducibilidad en poco tiempo, fácil manejo y disminución del uso de disolventes en comparación

con otros métodos; las ondas ultrasónicas provocan la ruptura mecánica de la pared celular liberando los componentes bioactivos, a su vez el calentamiento local del disolvente aumenta la difusión del extracto, mejorando así la transferencia de masa a través de la interfase sólido-líquido. Los efectos mecánicos de la sonicación inducen una mayor disolución del disolvente en las paredes y membranas celulares, facilitando la liberación del contenido celular y mejorando la transferencia de masa (Rojas *et al.*, 2019).

Aplicaciones del ultrasonido (US)

Las aplicaciones incluyen extracciones en hierbas, aceites, proteínas y componentes bioactivos de plantas (Robles-Ozuna & Ochoa-Martínez, 2012). Entre estas aplicaciones, el uso de US, a 25KHz y 150W de potencia, ha sido evaluado en la preparación de diferentes productos de panadería y al compararlo con métodos tradicionales, se observó mejor calificación sensorial y análisis fisicoquímico, que los productos preparados por tecnologías tradicionales; mejorando principalmente textura, actividad de agua, viscosidad, compuestos volátiles y color (Pingret *et al.*, 2014). Otro campo en el que se ha aplicado US es la caracterización fisicoquímica; esto ha sido así ya que se puede determinar la composición, estructura y estado físico de muchos alimentos en base a la velocidad y coeficiente de atenuación de ondas ultrasónicas de baja intensidad propagadas a través del alimento (Robles-Ozuna *et al.*, 2012).

Encapsulación

Las técnicas de encapsulación son una alternativa cuando se trata de proteger a estos microorganismos del efecto de agentes ambientales que pueden afectar su viabilidad durante el procesamiento, almacenamiento, consumo y paso por el tracto gastrointestinal al permitirles mantener su viabilidad y funcionalidad en el tiempo, reduciendo el daño celular al retener las células dentro de materiales encapsulantes que generan su aislamiento (Rodríguez *et al.*, 2016).

Óxido de Zinc como matriz encapsulante

El óxido de zinc (ZnO) es un material semiconductor de la familia II-VI, la diferencia de electronegatividades entre el zinc y el oxígeno produce un alto grado de ionicidad en su enlace, convirtiéndolo en uno de los compuestos más iónicos de la familia (Pérez-Larios *et al.*, 2012); esto provoca una repulsión considerable entre sus nubes de carga, haciendo que su estructura cristalina más estable sea hexagonal, en esta estructura los átomos están muy separados para compensar estas repulsiones, por lo que cada átomo de zinc está rodeado por cuatro átomos de oxígeno; esta estructura cristalina pertenece al grupo espacial $P6mc(C46v)$, esta se puede describir por una combinación de planos alternados de átomos de oxígeno y planos de átomos de zinc, su presión es y temperatura son: $a = 3.253 \text{ \AA}$ y $c = 5.213 \text{ \AA}$. El ZnO es un material semiconductor y piezoeléctrico utilizado en la fabricación de dispositivos optoelectrónicos, sensores, transductores y relacionados con la biomedicina. Debido a su absorción en la región ultravioleta, se añade en forma de partículas a cremas cosméticas y protectores solares para la protección de la piel (Di Mauro *et al.*, 2017).

Actividad antimicrobiana de nanopartículas de ZnO

Las nanopartículas de óxido de zinc (NP's-ZnO) sintetizadas también han demostrado potencial como agentes antimicrobianos. Dicha propiedad se debe a tres mecanismos de acción principales: (a) generación de ROS; (b) liberación de iones Zn^{2+} y (c) acumulación de NP's-ZnO en la membrana celular. La liberación de ROS en soluciones acuosas se desencadena por la luz (tanto ultravioleta como visible) que genera pares electrón-hueco en la superficie del ZnO. En la capa de valencia de los átomos de la superficie se forman radicales hidroxilos, oxígeno singlete o anión superóxido e incluso peróxido de hidrógeno. Por otro lado, Hirota *et al.* (2010) observaron que incluso en condiciones de oscuridad el NP's-ZnO puede detener el crecimiento de *E. coli* y *S. aureus*, lo que atribuyen principalmente a la liberación de anión superóxido o a modos de acción alternativos del ZnO. Las especies reactivas de oxígeno generadas provocan la fuga del contenido intracelular debido al daño oxidativo de las proteínas y lípidos de la membrana celular bacteriana, lo que conduce finalmente a la muerte celular, como se muestra en la Figura 1. Además, se ha determinado que dicho estrés oxidativo tiene un débil potencial mutagénico en microorganismos. (Di Mauro *et al.*, 2017).

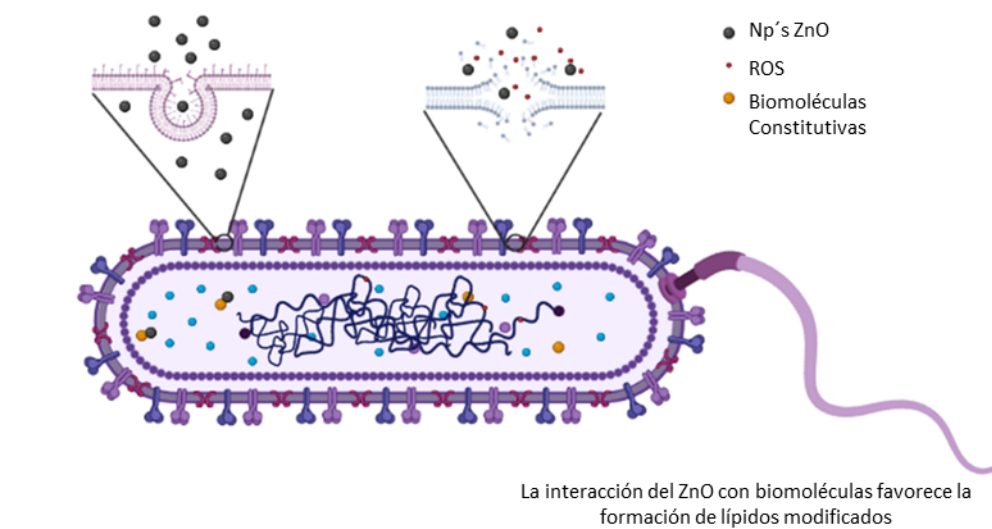


Figura 1. Esquema de vías propuestas para la inhibición bacteriana por nanopartículas de ZnO.

Por ello, en este trabajo se realizó una mezcla mediante la impregnación de materiales mesoporosos y el extracto del subproducto de *Hibiscus sabdarifa L.* asistida por ultrasonidos, con el objetivo de evaluar su posible actividad sinérgica y su potencial efecto antibacterial.

Materiales y métodos

Síntesis de nanopartículas: nitrato de zinc, polietilenglicol (PEG), etanol, hidróxido de amonio (NH_4OH). Material biológico: *Listeria monocytogenes* (*L. monocytogenes* ATCC 15313), *Staphylococcus aureus* (*S. aureus* ATCC 33862), *Salmonella paratyphi* (*S. paratyphi* ATCC 9150), *Streptococcus mutans* (*S. mutans* aislado de cavidad oral) y *Escherichia coli* (*E. coli* ATCC 8789). Material vegetal: *Hibiscus sabdariffa* L. deshidratado adquirido en Nayarit.

Extracción del subproducto de *Hibiscus sabdariffa* L.

Se realizó una extracción acuosa convencional con 250 g de flor de Jamaica deshidratada en 2 L de agua purificada a 90 °C durante 15 min. El cáliz obtenido se secó a 35 °C/10 h en una estufa con circulación de aire (Scorpion Scientific, A-52055, México). El material seco se trituró en un procesador de alimentos (NutriBullet, NBR-0804B, Los Angeles, CA, USA), se tamizó (0,5 µm) para obtener una superficie de contacto homogénea. Se preparó una solución en agua destilada con un 7,5 % del polvo de cáliz, se sometió a ultrasonidos (Hielscher, UP400S), en condiciones de 55 % de amplitud, ciclo 0,7 durante 15 min bajo condiciones de temperatura controladas. El extracto se centrifugó (600 rpm a 4 °C/10 min), el sobrenadante se identificó como extracto de subproducto de Jamaica asistido por ultrasonidos (EUSJ).

Síntesis de ZnO

Las nanopartículas se sintetizaron por el método sol-gel (Razura-Carmona *et al.*, 2022a), se obtuvieron utilizando nitrato de zinc como precursor del óxido de zinc (ZnO). Se utilizaron 2 g de PEG, 10 g de sal orgánica, se homogeneizaron en 140 mL de etanol, la solución se ajustó a pH = 7 con NH_4OH , luego la solución se calentó a reflujo (70 °C/3 h). El gel formado se secó (70 °C/24 h), El producto se molió hasta obtener un polvo fino con un mortero, después el xerogel obtenido se recoció a 500 °C/5 h bajo atmósfera controlada con una rampa de calor de 1 °C/min y terminamos moliendo de nuevo en un mortero hasta obtener polvo fino.

Impregnación

Las nanopartículas de ZnO se activaron en calor seco (110 °C/2 h), se incorporaron a EUSJ en concentraciones (P/V) de 0,5 % (T0.5 %), 1% (T1.0 %) y 1,5% (T1.5%) con homogeneización durante 16 h a 25 °C, luego los tratamientos se liofilizaron (-40 °C, 0,125 mBar; Labconco, FreeZone 6; Kansas, MO, USA). (Rodríguez-Barajas *et al.*, 2022).

Caracterización óptica

Los tratamientos y el control se sometieron a una longitud de onda de 4000 a 400 cm^{-1} y el espectro de absorción se obtuvo con un espectrofotómetro UV-vis (Shimadzu UV-2600, Tokio, Japón.) con una esfera de integración para estudios de reflectancia difusa. A partir del gráfico, se calculó la energía de la banda prohibida mediante la ecuación de Plank (1).

$$E_g = 1239.8/\lambda \quad (1)$$

Donde (E_g) = energía de banda prohibida (eV), y longitud de onda (λ) = valor del pico de absorción.

El ZnO se observó al microscopio electrónico de barrido (SEM) (Tescan, MIRA3 LMU, Londres, Reino Unido). Las muestras se recubrieron con oro por pulverización catódica antes de observarlas con el microscopio electrónico de barrido. Se obtuvieron imágenes de bajo y alto aumento para confirmar la uniformidad del tamaño de las partículas y determinar su tamaño exacto, respectivamente. Las imágenes SEM de gran aumento se interpretaron mediante el software ImageJ para determinar el tamaño de las partículas (Razura-Carmona et al., 2022a).

Los tratamientos impregnados con EUSJ se observaron en un SEM (SNE, 3200M, Viontec) para evaluar los cambios en la morfología de los nanomateriales.

Concentración mínima inhibitoria (MIC)

Las cepas *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *Salmonella paratyphi*, *Streptococcus mutans* y *Escherichia coli* se reactivaron en caldo nutritivo a 35 ± 1 °C/ 18 h, una vez obtenido el cultivo se ajustó a 0,5 de densidad óptica (DensiCHEK™ Plus Standards, USA). Se agregaron 200 μ L de cultivo ajustado en una microplaca, luego se realizaron ocho microdiluciones (120 - 20 μ g/mL) de cada tratamiento. Se incubaron a 35 ± 1 °C/ 24 h y se rebatió la placa con bromuro de 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5-difeniltetrazol (MTT) (Razura-Carmona et al., 2022b).

Resultados y discusiones

Microscopía electrónica de barrido

Uno de los parámetros más importantes en la síntesis de materiales es la distribución de tamaño de partícula, ya que al ser vehículos de sustancias proporciona un punto de partida al comportamiento de su liberación, por lo que entre más homogéneo sea su tamaño será en el mismo orden la liberación de las moléculas cargadas (Razura-Carmona et al., 2022c). La Figura 2 muestra las micrografías de ZnO sin carga, (a) muestra un área donde se identifica un cluster del polvo sintetizado en (b) representa la misma área pero a mayor aumento, (c) y (d) son muestras representativas de nanopartículas individuales utilizadas para medir y evaluar la morfología, esta información se traslada a la Figura 2 (e).

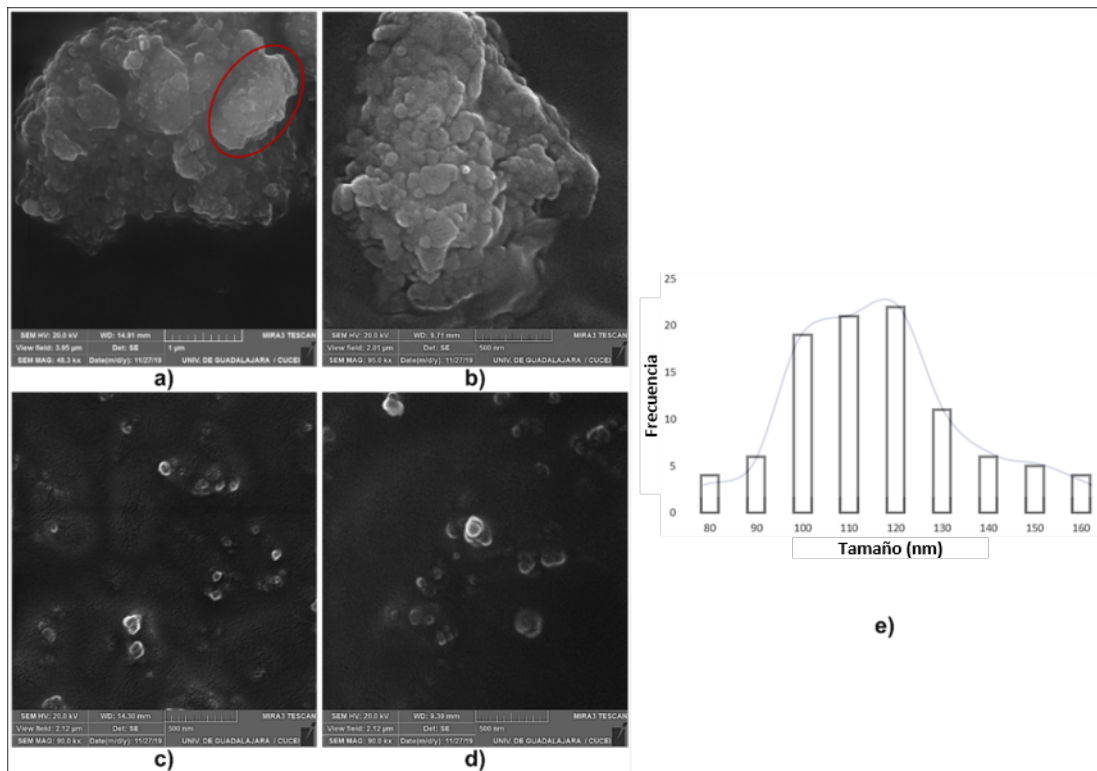


Figura 2. Micrografías de nanopartículas de óxido de zinc y distribución de tamaño de partícula; a) marca la zona de la micrografía b), c) y d) zonas aleatorias para medir tamaño de partícula individual.

La distribución monomodal representa un tamaño de partícula homogéneo, siendo las dimensiones de 120-100 nm las más abundantes para estos materiales, Aquino *et al.* (2018) sintetizaron ZnO por el método de precipitación y obtuvieron tamaños de partícula promedio de 90.4 ± 10.6 nm, Razura-Carmona *et al.* (2022b) mencionan que no solo la metodología de síntesis del material puede afectar el tamaño del material, también el precursor del óxido tiene impacto en la forma y tamaño de las partículas. Por lo tanto, el tamaño obtenido en este estudio se encuentra dentro de los parámetros cuantificables para nanopartículas de ZnO.

Una de las técnicas más utilizadas en la industria cerámica es la impregnación con metales ya que contribuye al desarrollo de materiales con menos poros, lo que les confiere mayor Resistencia, sin embargo; estructuralmente también se modifica la forma original, por lo que el análisis de la morfología tras la impregnación es importante para el estudio de los nanomateriales (Guerrero *et al.*, 2015), la Figura 3 muestra las micrografías de los diferentes tratamientos impregnados con EUSJ, (a) T0.5 %, (b) T1.0 %, (c) y (d) T1.5 % a diferentes aumentos. En estas figuras no hay modificación estructural de las nanopartículas de ZnO, la metodología utilizada no es invasiva para el material

puesto que no utilizamos presión para impregnar. Como el ZnO es una estructura mesoporosa, las moléculas presentes en el extracto quedarán atrapadas en el interior de la nanopartícula, sin embargo; otras quedarán adheridas a la superficie, esto dependerá del tamaño, superficie polar, carga y otros parámetros para determinar la cantidad de moléculas disponibles para cada partícula (Bouزيد *et al.*, 2015; Suárez & Brito, 2020; Razura-Carmona *et al.*, 2022a).

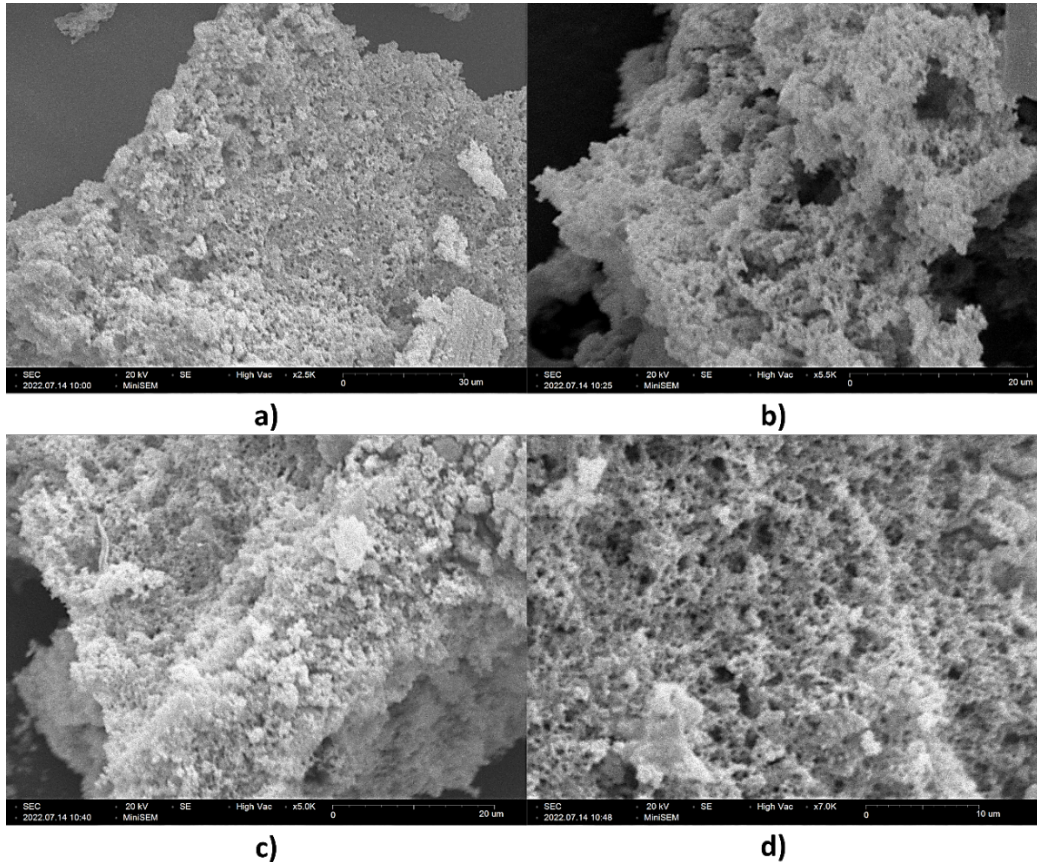


Figure 3. Micrografías de nanopartículas de ZnO impregnadas de extracto asistido por ultrasonido de subproducto de Jamaica; a) T0.5 %, b) T1.0 %, c) y d) T1.5 %.

UV-vis

El tamaño de las nanopartículas desempeña un papel importante en la modificación de todas las propiedades de los materiales. Por lo tanto, la evolución del tamaño de las nanopartículas semiconductoras, como las nanopartículas de ZnO, es esencial para explorar las propiedades

de los materiales. La espectroscopia de absorción UV-visible es una técnica muy utilizada para examinar las propiedades ópticas de las nanopartículas. En la Figura 4 se muestra el espectro de absorción del polvo de ZnO. En otros estudios el ZnO presenta una fuerte banda de absorción a 355 nm, sin embargo; en la Figura 4 (a) y (b) se encuentran tres picos de absorción excitónica a 220, 273 y 333 nm debido a la presencia de extracto de Jamaica tal y como describen Navidad-Murrieta *et al.* (2020). La figura 4c muestra que los tratamientos T0.5 %, T1.0 % y EUSJ no presentan la señal a 273 nm; Razura-Carmona *et al.* (2022c) describen la señal específica para el material entre 280 y 270 nm; por lo tanto, la presencia de EUSJ en mayor concentración en el tratamiento T1.5 % disminuye la señal del ZnO. Por otra parte, T0.5 % disminuye la señal del ZnO, esto también se atribuye al proceso de impregnación debido a que las nanopartículas de ZnO son estructuras mesoporosas los compuestos bioactivos están unidos a la estructura del material, es por ello que la señal del nanomaterial en este tratamiento se encuentre en el límite de detección del equipo, denotando la longitud de onda de la banda prohibida de 358 nm ($E_g = 3,46$ eV) (Siddique *et al.* 2018).

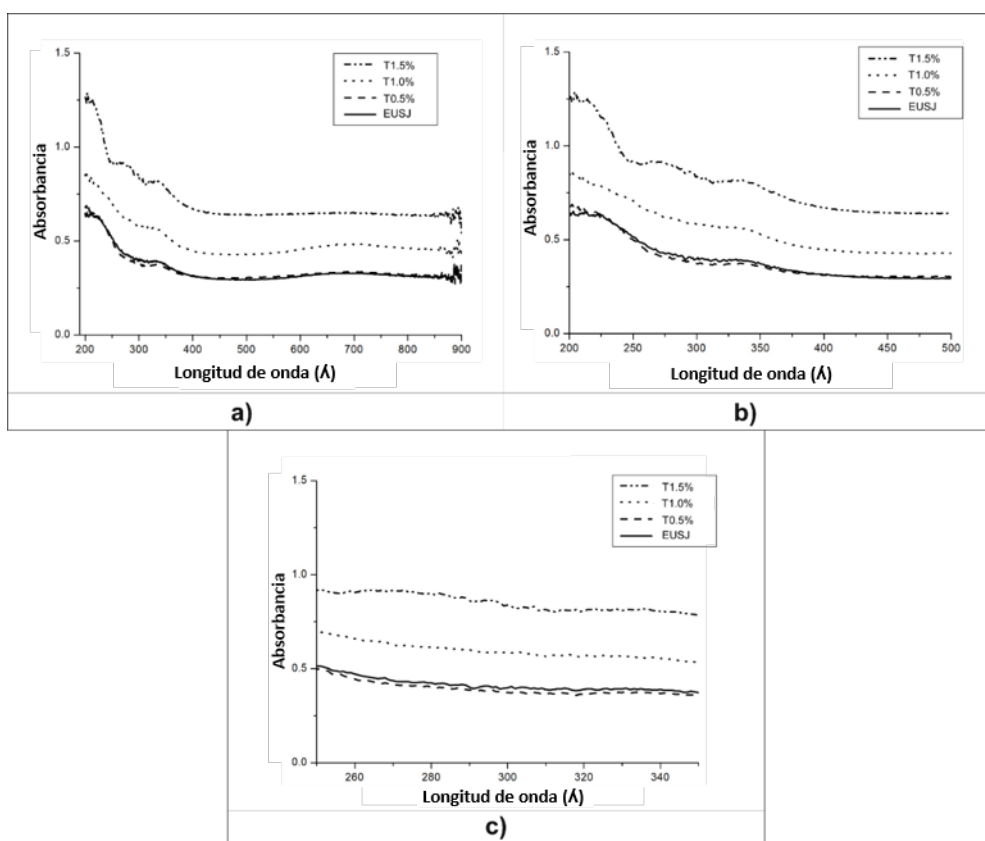


Figura 4. Espectro UV-vis de los tratamientos y el control (T0,05 %, T1,0 %, T1,5 %, EUSJ).

Concentración mínima inhibitoria (MIC)

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1, los cuales indican que las tres concentraciones de nanopartículas impregnadas con EUSJ tienen actividad antimicrobiana frente a las cepas *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *S. paratyphi*, *S. mutans* y *E. coli*, siendo T0.5 % el tratamiento menos eficaz en comparación con T1.0 % y T1.5 %, sin embargo; no hay diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) entre el uso de 1.0 % y 1.5 % de la concentración de ZnO a la incorporación de EUSJ. *S. aureus* y *S. mutans* mostraron mayor sensibilidad a los tratamientos con ZnO pero no mostraron el mismo comportamiento con EUSJ. Razura-Carmona et al. (2022b) describen que la concentración inhibitoria mínima (MIC) para tratamientos con nanopartículas de ZnO sin carga es de 250µg/mL para las cepas *E. coli*, *L. monocytogenes* y *S. aureus*. Por lo tanto, el resultado muestra un efecto potencializado del EUSJ incorporado en la matriz de ZnO, resultados similares se describen, Razura-Carmona et al. (2022b) utilizando un extracto optimizado de mangiferina impregnada en ZnO MIC = 180µg/mL.

Rajeshkumar et al. (2018) demostraron que existe una porción retenida dentro de la estructura mesoporosa de ZnO, que confiere estabilidad para las estructuras químicas permitiendo una liberación gradual de los fitoquímicos. Fu et al. (2011) describieron que utilizando el precursor sulfato de Zinc obtuvieron una retención del 60 % de mangiferina a partir de un extracto, produciéndose a partir de la tercera hora de exposición en medio líquido su primera liberación.

Tabla 1. Concentración mínima inhibitoria (MIC) de los tratamientos sobre *L. monocytogenes*, *S.aureus*, *S. paratyphi*, *S. mutans* y *E. coli*.

Tratamientos	MIC (µg/mL)				
	<i>L. monocytogenes</i>	<i>S. aureus</i>	<i>S. paratyphi</i>	<i>S. mutans</i>	<i>E. coli</i>
EUSJ	200 ^e	200 ^e	200 ^e	200 ^e	200 ^e
T0.5 %	160 ^d	140 ^c	160 ^d	140 ^c	160 ^d
T1.0 %	100 ^b	80 ^a	100 ^b	80 ^a	100 ^b
T1.5 %	100 ^b	80 ^a	100 ^b	80 ^a	100 ^b

EUSJ: extracto del subproducto de *Hibiscus* asistido por ultrasonido, T 0.5 %: extracto impregnado en 0.5 % óxido de zinc, T1.0 %: extracto impregnado en 1.0 % óxido de zinc, T1.5 %: extracto impregnado en 1.5 % óxido de zinc; superíndice mencionan grupos estadísticos.

Conclusión

Las nanopartículas de ZnO sintetizadas con precursor de nitrato de zinc por el método sol-gel muestran ser un vehículo adecuado para encapsular moléculas bioactivas presentes en los extractos, la impregnación es un proceso económico y no invasivo para cargar dichos metabolitos. El desarrollo de nanopartículas de ZnO impregnadas con extractos ultrasónicos de subproductos jamaicanos muestra un potencial efecto antimicrobiano, por lo que la implementación de este tipo de materiales podría sugerirse en futuras investigaciones en el desarrollo de desinfectantes y aditivos alimentarios.

Contribución de los autores

Experimental, F.F.R.-C., T. P. A.-M. y J.A.S.-B.; metodología, S.G.S.-A, A.P.-L, P. U. B.-R. y A. Y. B.-D.; investigación, F.F.R.-C.; redacción-redacción del borrador original, F.F.R.-A.; redacción-revisión y edición, A.P.-L. y M. I. G.-P.; administración del proyecto, F.F.R.-C.; adquisición de fondos, Traducción, J.A.-B. C.; redacción, revisión y edición, A.P.-L. y M. I. G.-P.; Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Ciencia Humanidades y Tecnología de México (CONACHYT) por la beca número 787023 otorgada para el desarrollo de estudios de posgrado del autor F.F.R.-C.

Declaraciones éticas

No aplicable a estudios que no impliquen a seres humanos o animales.

Declaración de consentimiento informado

No aplicable a estudios que no impliquen a seres humanos o animales.

Agradecimientos

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) por la beca número 787023 otorgada para el desarrollo de estudios de posgrado del autor F.F.R.-C.

Conflicto de interes

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Ahmadpoor-Dehkordi, E., Danesh-Shahraki, A., & Khosravi-Lamjiri, P. (2018). Effect of seed priming with salicylic acid on seed germination and seedling growth of *Hibiscus sabdariffa* under drought stress. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, 5(4), 1-11. <https://doi.org/10.22124/JMS.2018.2941>
- Beltrán-Debón, R., Alonso-Villaverde, C., Aragones, G., Rodriguez-Medina, I., Rull, A., Micol, V., Segura- Carretero, A., Fernández- Gutiérrez, A., Camps, J., & Joven, J. (2010). The aqueous extract of *Hibiscus sabdariffa* calices modulates the production of monocyte chemoattractant protein-1 in humans. *Phytomedicine*, 17(3-4), 186-191. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2009.08.006>
- Borrás-Linares, I., Fernández-Arroyo, S., Arráez-Roman, D., Palmeros-Suárez, P. A., Del Val-Díaz, R., Andrade-González, I., & Segura-Carretero, A. (2015). Characterization of phenolic compounds, anthocyanidin, antioxidant and antimicrobial activity of 25 varieties of Mexican Roselle (*Hibiscus sabdariffa*). *Industrial Crops and Products*, 69, 385-394. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.02.053>
- Bouzid, H., Faisal, M., Harraz, F. A., Al-Sayari, S. A., & Ismail, A. A. (2015). Synthesis of mesoporous Ag/ZnO nanocrystals with enhanced photocatalytic activity. *Catalysis Today*, 252, 20-26. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2014.10.011>
- Di Mauro, A., Fragala, M. E., Privitera, V., & Impellizzeri, G. (2017). ZnO for application in photocatalysis: From thin films to nanostructures. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 69, 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2017.03.029>
- Duarte-Valenzuela, Z. N., Zamora-Gasga, V. M., Montalvo-González, E., & Sáyago-Ayerdi, S. G. (2016). Caracterización nutricional de 20 variedades mejoradas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivadas en México. *Revista fitotecnica mexicana*, 39(3), 199-206. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802016000300199
- Gómez-Aldapa, C. A., Portillo-Torres, L. A., Villagómez-Ibarra, J. R., Rangel-Vargas, E., Téllez-Jurado, A., Cruz-Gálvez, A. M., & Castro-Rosas, J. (2018). Survival of foodborne bacteria on strawberries and antibacterial activities of *Hibiscus sabdariffa* extracts and chemical sanitizers on strawberries. *Journal of Food Safety*, 38(1), e12378. <https://doi.org/10.1111/jfs.12378>
- Goñi, I., Díaz-Rubio, M. E., Pérez-Jiménez, J., & Saura-Calixto, F. (2009). Towards an updated methodology for measurement of dietary fiber, including associated polyphenols, in food and beverages. *Food Research International*, 42(7), 840-846. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.010>
- Guerrero, M., Vargas, C., Alarcón, E., del Sol, M., & Ottone, N. E. (2019). Desarrollo de un protocolo de plastinación de cortes con resina poliéster aplicado a secciones de cerebro humano. *International Journal of Morphology*, 37(4), 1557-1563. <http://dx.doi.org/10.4067/>

[S0717-95022019000401557](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2009.09.02)

- Hirota, K., Sugimoto, M., Kato, M., Tsukagoshi, K., Tanigawa, T., & Sugimoto, H. (2010). Preparation of zinc oxide ceramics with a sustainable antibacterial activity under dark conditions. *Ceramics International*, 36(2), 497-506. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2009.09.02>
- Navidad-Murrieta, M. S., Pérez-Larios, A., Sánchez-Burgos, J. A., Ragazzo-Sánchez, J. A., Luna-Bárceñas, G., & Sáyago-Ayerdi, S. G. (2020). Use of a taguchi design in Hibiscus sabdariffa extracts encapsulated by spray-drying. *Foods*, 9(2), 128. <https://doi.org/10.3390/foods9020128>
- Ochoa-Velasco, C. E., Salazar-González, C., Cid-Ortega, S., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2017). Antioxidant characteristics of extracts of Hibiscus sabdariffa calyces encapsulated with mesquite gum. *Journal of food science and technology*, 54, 1747-1756. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2564-1>
- Patel, S. (2014). Hibiscus sabdariffa: An ideal yet under-exploited candidate for nutraceutical applications. *Biomedicine & Preventive Nutrition*, 4(1), 23-27. <https://doi.org/10.1016/j.bionut.2013.10.004>
- Pérez-Larios, A., Lopez, R., Hernandez-Gordillo, A., Tzompantzi, F., Gómez, R., & Torres-Guerra, L. M. (2012). Improved hydrogen production from water splitting using TiO₂-ZnO mixed oxides photocatalysts. *Fuel*, 100, 139-143. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.02.026>
- Pingret, D., Fabiano-Tixier, A. S., & Chemat, F. (2014). An improved ultrasound Clevenger for extraction of essential oils. *Food analytical methods*, 7, 9-12. <https://doi.org/10.1007/s12161-013-9581-0>
- Razura-Carmona, F. F., Herrera-Martínez, M., Sáyago-Ayerdi, S. G., Pérez-Larios, A., Montalvo-González, E., Ramírez-Mares, M. V., & Sánchez-Burgos, J. A. (2022a). Nanoparticles of two ZnO precursors as an encapsulating matrix of mangiferin: associated studies to cytotoxic effects on liver cancer cells Hep-G2 and healthy lung cell Beas-2B. *Journal of Cluster Science*, 33(1), 163-171. <https://doi.org/10.1007/s10876-020-01957-7>
- Razura-Carmona, F. F., Pérez-Larios, A., Herrera-Martínez, M., Bueno-Durán, A. Y., Sáyago-Ayerdi, S. G., & Sánchez-Burgos, J. A. (2022b). Zinc Oxide Nanoparticles with Mangiferin: Optical Properties, In Vitro Release Studies, and Antibacterial Activity. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 32(3), 447-454. <https://doi.org/10.1007/s43450-022-00268-4>
- Razura-Carmona, F. F., Perez-Larios, A., Sáyago-Ayerdi, S. G., Herrera-Martínez, M., & Sánchez-Burgos, J. A. (2022c). Biofunctionalized Nanomaterials: Alternative for Encapsulation Process Enhancement. *Polysaccharides*, 3(2), 411-425. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides3020025>
- Rajeshkumar, S., Kumar, S. V., Ramaiah, A., Agarwal, H., Lakshmi, T., & Roopan, S. M. (2018). Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles using *Mangifera indica* leaves and evaluation of their antioxidant and cytotoxic properties in lung cancer (A549) cells. *Enzyme and microbial technology*, 117, 91-95. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2018.06.009>
- Robles-Ozuna, L. E., & Ochoa-Martínez, L. A. (2012). Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Revista iberoamericana de tecnología postcosecha*, 13(2), 109-122. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81325441002>
- Rodríguez-Barajas, N., Becerra-Solano, L., Gutiérrez-Mercado, Y. K., Macías-Carballo, M., M. Gómez, C., & Pérez-Larios, A. (2022). Study of the Interaction of Ti-Zn as a Mixed Oxide at Different pH Values Synthesized by the Sol-Gel Method and Its Antibacterial Properties.

- Nanomaterials*, 12(12), 1948. <https://doi.org/10.3390/nano12121948>
- Rodríguez, Y. A., Rojas, A. F., & Rodríguez, S. (2016). Encapsulación de probióticos para aplicaciones alimenticias. *Biosalud*, 15(2), 106-115. <https://doi.org/10.17151/biosa.2016.15.2.10>
- Rojas, T., Fuentes Campos, M. E., Contreras-López, E., Gómez, S., & Muñoz-Jáuregui, A. M. (2019). Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de la cáscara de sanka (*Corryocactus brevistylus*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(2), 258-267. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2019000200012&script=sci_arttext&tlng=pt
- Saura-Calixto, F., & Díaz-Rubio, M. E. (2007). Polyphenols associated with dietary fibre in wine: a wine polyphenols gap?. *Food Research International*, 40(5), 613-619. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.11.005>
- Sáyago-Ayerdi, S. G., & Goñi, I. (2010). Hibiscus sabdariffa L: Fuente de fibra antioxidante. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 60(1), 79-84. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222010000100012
- Siddique, M. N., Ali, T., Ahmed, A., & Tripathi, P. (2018). Enhanced electrical and thermal properties of pure and Ni substituted ZnO Nanoparticles. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 16, 156-166. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2018.06.001>
- Sindi, H. A., Marshall, L. J., & Morgan, M. R. (2014). Comparative chemical and biochemical analysis of extracts of Hibiscus sabdariffa. *Food chemistry*, 164, 23-29. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.097>
- Suárez, M., & Brito, C. (2020). Eficiencia de encapsulación y capacidad de carga de antocianinas de *Vaccinium floribundum* Kunt en nanopartículas de Zeina. *infoANALÍTICA*, 8(1), 83-97. <https://doi.org/10.26807/ia.v8i1.98>
- Vitaglione, P., Napolitano, A., & Fogliano, V. (2008). Cereal dietary fibre: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut. *Trends in food science & technology*, 19(9), 451-463. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.02.005>