

Determinación del tamaño de nanopartículas de óxido de zinc sintetizadas empleando la ecuación de Scherrer

Determination of the size of synthesized zinc oxide nanoparticles using the Scherrer equation

Ana María Osorio Anaya^{1,a}, Jorge Luis Zegarra Pumacayo^{1,b}, Fanny Blas Rodríguez^{1,c}, Joaquín J. Manrique Fajardo^{1,d}, José Fernandes de Oliveira Ugarte^{1,e}, Oscar Alberto Cornejo Sanchez^{1,f}, Efraín Oscar Ninan Manga^{1,g}

Recibido: 13/02/2023 - Aprobado: 19/04/2023 – Publicado: 02/06/2023

RESUMEN

La finalidad del presente estudio es determinar el tamaño de las nanopartículas de óxido de zinc (NPs-ZnO), sintetizadas por el método de la precipitación química a partir de la reacción de precipitación entre el acetato de zinc e hidróxido de sodio. Se realizó la respectiva caracterización por difracción de rayos X (DR-X), los resultados obtenidos por este método instrumental corresponden a la estructura zincita (ZnO) del sistema hexagonal, cuyos datos estructurales cristalinos se encuentran registrados en la ficha ICDD PDF 01-075-0576. La determinación del tamaño de NPs-ZnO se realizó empleando la ecuación de Scherrer con datos obtenidos de los registros de difracción de los planos más importantes de la estructura cristalina de las nanopartículas sintetizadas. El tamaño de los cristallitos determinados aproximadamente fue de 21 nm. Este método de determinación del tamaño de nanopartículas no es muy exacto, sin embargo, en laboratorios que no cuentan con equipos de microscopía electrónica resulta útil para obtener aproximaciones del tamaño de las nanopartículas sintetizadas.

Palabras claves: Nanopartículas de ZnO, difracción de rayos X, método de la precipitación química, determinación tamaño de nanopartículas, ecuación de Scherrer.

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the size of zinc oxide nanoparticles (NPs-ZnO) synthesized by the chemical precipitation method from the precipitation reaction between zinc acetate and sodium hydroxide. Then, characterization was made by X-ray diffraction (XRD). The characterization results obtained by this instrumental method correspond to the zincite structure (ZnO) of the hexagonal system, whose crystalline structural data is registered in the ICDD file PDF 01-075-0576. The determination of the size of NPs-ZnO was performed using the Scherrer equation with data obtained from the diffraction data of the most important planes of the crystal structure of the synthesized nanoparticles. The size of the crystallites determined was approximately 21 nm. This method of determining the size of nanoparticles is not very exact, however, in laboratories that do not have electron microscopy equipment it is useful to obtain approximations of the size of the synthesized nanoparticles.

Keywords: Zinc oxide nanoparticles, X-ray diffraction, chemical precipitation method, nanoparticle size determination, Scherrer equation

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

a Autor para correspondencia: aosorioa@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4384-4671>

b E-mail: jzegarrap2@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0070-3569>

c E-mail: fblasr@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9192-3438>

d E-mail: 12070122@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8173-9688>

e E-mail: jfernandesd@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9289-4077>

f E-mail: ocornejos@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3388-8216>

g E-mail: eninanm@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0159-638X>

I. INTRODUCCIÓN

Existe un gran interés por la preparación de nanopartículas de ZnO (NPs-ZnO) debido a sus propiedades multifuncionales a escala nanométrica (10^{-9} m) y principalmente porque presentan mayor área superficial en comparación con materiales de tamaño convencional (micrométricos o macrométricos). Estas propiedades excepcionales de las nanopartículas de óxido de zinc son muy importantes en aplicaciones biológicas relacionadas con la medicina, donde los investigadores aprovechan el comportamiento semiconductor y su actividad fotocatalítica para diseñar la fabricación de dispositivos ópticos y electrónicos tales como sensores. Adicionalmente, debido a sus propiedades bactericidas se pueden preparar productos sanitarios, cosméticos, agentes conservantes.

Según Chiara *et al.* (2016) y Manohar *et al.* (2021), las nanopartículas de ZnO son muy importantes en el campo médico porque son interesantes como microbicidas y se está evaluando su comportamiento frente a líneas celulares de cáncer de riñón, entre otros.

Por otro lado, las investigaciones de Naseem y Durrani (2015) y autores nacionales como Tolentino *et al.* (2019), Zegarra *et al.* (2021), hacen referencia a las aplicaciones de nanopartículas de óxido de metales como de zinc (ZnO) y óxido de titanio (TiO_2) para el tratamiento de aguas contaminadas por su carácter bactericida. Además, un estudio de gran importancia de NPs-ZnO fue reportado por Pérez-Zuñiga *et al.* (2021) con respecto al autoensamblado de óxido de grafeno en nanopartículas de ZnO. El objetivo fue formar una nanoestructura de alta capacidad y estabilidad que se pueda usar como electrodos de baterías de iones de litio. Estas baterías estudiadas por John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham y Akira Yoshino ganaron el premio Nobel de Química del 2019 (Nobel Prize.org).

Otros estudios, como por ejemplo, los de Aquino *et al.* (2018) y Ghorbani (2015) expresan que existen variados métodos para sintetizar las NPs-ZnO, entre las que se cuentan los métodos físicos, biológicos y químicos, dentro de este último, el método de la precipitación química se realiza en fase líquida y corresponde a una síntesis a bajo costo y de mayor productividad donde las NPs-ZnO se obtienen a partir de soluciones de sales solubles de Zn como acetato de zinc, nitrato de zinc, sulfato de zinc, entre otros. Estas soluciones reaccionan con bases fuertes como NaOH, KOH, o una base débil como el NH_4OH generando precipitados de $\text{Zn}(\text{OH})_2$, que después de tratamientos térmicos generan las NPs-ZnO.

Según Aquino *et al.* (2018), el diámetro promedio de nanopartículas o partículas que constituyen la muestra obtenida por el método de la precipitación puede ser medida por técnicas, como la microscopía electrónica de barrido (SEM) y de transmisión (TEM), dispersión dinámica de luz (DLS) y difracción de rayos X (DRX).

El tamaño de las nanopartículas que se determina a partir de los diferentes métodos no necesariamente es idéntico entre sí, debido a que las magnitudes a estimar pueden ser diferentes según sea el caso. En microscopía

SEM los diámetros promedio se obtienen directamente de imágenes de las partículas y después de determinar el tamaño individual para luego obtener una distribución estadística de los tamaños en la muestra no aglomerada. Mientras tanto, la técnica que determina el tamaño de la nanopartícula por difracción de rayos X puede utilizar la ecuación de Scherrer.

Se sabe que las nanopartículas o granos se dividen en uno o más cristalitas químicamente similares, estos nanocristalitas tendrán diferentes tamaños debido al proceso de síntesis del cual fue obtenido.

Por ello, a través de las medidas por difracción de rayos X se obtienen tamaños aproximados que pueden coincidir con los medidos por SEM, TEM ó DLS.

La caracterización de las fases por difracción de rayos X se realizaron desde épocas del siglo pasado, tal como se aprecia en el trabajo Hannawalt, Rinn y Frevel (1938), cuando confeccionaron una tabla de registro de cien sustancias químicas, una de ellas fue el ZnO. Actualmente la técnica de DRX constituye una herramienta instrumental valiosa para la caracterización e identificación del grado de cristalinidad y pureza de NPs-ZnO sintetizadas, llegando incluso a orientar parámetros importantes de síntesis como el pH, como está indicado en el estudio de Lee *et al.* (2013) y el efecto de la temperatura indicado por Salahuddin *et al.* (2015).

Diversos autores como Sahai y Goswami (2014), Omri *et al.* (2014) y Mahmood *et al.* (2022), refieren que a través de los patrones de difracción de rayos X, es posible calcular el tamaño de los nanocristales empleando la ecuación de Scherrer, en el cual se toma en cuenta el ángulo de Bragg de las reflexiones de los planos cristalinos y el ancho de señal a la altura media (FWHM) y la longitud de onda de la fuente de rayos X.

Existe una metodología para determinar impurezas en la muestra a través de los difractogramas de DRX, que también permite determinar la presencia de otras fases que puedan interferir con la muestra principal. Los planos cristalinos (hkl) de la estructura cristalina de mayor densidad reticular, son los que finalmente determinarán la mayor intensidad de la difracción de rayos X, a través de los cuales se identificará la fase cristalina.

II. METODOLOGÍA

2.1 Preparación de nanopartículas de ZnO por precipitación

El ZnO se preparó por el método de la precipitación química propuesto por Aquino *et al.* 2018 y Mahmood *et al.* 2022. Consiste en tener una solución precursora que contenga al metal que se desea que forme parte del producto final y con un reactivo que permita la precipitación del metal formando un compuesto más estable y sólido coloidal, luego este precipitado se somete a calentamiento para que prosiga con la formación de las nanopartículas deseadas. Es importante considerar en este método la concentración de ambos reactantes como también el tiempo de interacción

entre ambos y el control del pH para dirigir la reacción hacia el producto final deseado.

En este trabajo de investigación las nanopartículas de ZnO se sintetizaron a partir de 40 mL de acetato de zinc $[\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2]$ 0,1M, que es la sustancia precursora y 40 mililitros de hidróxido de sodio (NaOH) 0,2 M, que es la sustancia que permitirá la precipitación del ZnO en una fase de precipitación coloidal. La solución de acetato de zinc se introdujo en una bureta y a partir de ella se procedió a la síntesis química por goteo, con un flujo volumétrico igual a 0,35mL/min, sobre el contenido de NaOH, contenido en un vaso de precipitación, cuya secuencia se observa en la Figura 1. La reacción se llevó a cabo a 80°C, en una hora y 54 minutos.

Finalmente, luego de la reacción entre ambas sustancias se formó un precipitado blanco voluminoso, que se filtró y secó a 70°C en una estufa de marca por 24 horas. El resultado fue un polvo fino de color blanco correspondientes a las NPs-ZnO. Las etapas de síntesis se aprecian en la Figura 1. Este producto se envió para análisis por difracción de rayos X.

2.2 Obtención de los difractogramas de las nanopartículas de ZnO y determinación del tamaño empleando la ecuación de Scherrer

Las nanopartículas sintetizadas fueron caracterizadas por difracción de rayos X utilizando un difractómetro Bruker D8 Advance con fuente de rayos X de cobalto de 38kV, 25mA, con valores de KAlfa1: 1,78897 Å y KAlfa2: 1,79285 Å, se empleó un filtro Kbeta: Fe. El equipo cuenta con detectores LYNXEYE, los cuales son detectores lineales con 192 microdetectores. que son a base de tiras de silicio compuestos de mayor rendimiento, adecuados para todas las aplicaciones de difracción y dispersión de rayos X en 0D, 1D y 2D, funcionan con las longitudes de onda comunes de Cr – Ag. En cuanto al goniómetro vertical está configurado con Theta geometría/Theta, las mediciones se

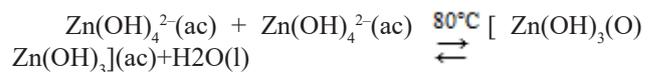
realizaron desde $2\theta = 4^\circ$ hasta $2\theta = 70^\circ$ 0.04 con incremento de paso y 1,2 segundos de tiempo por paso.

La identificación de la fase cristalina se realizó mediante el uso de la base de datos ICDD PDF-2-2014. Para la determinación del tamaño de los nanocristales, se realizó el ajuste de los picos del difractograma empleando la función pseudovoigt en el software OriginPro y el promedio del tamaño de los cristalitas fue determinado utilizando la ecuación de Scherrer.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 preparación de zincita (ZnO) por el método de precipitación química

El zinc presenta características anfotéricas, así en medio ácido se encuentra como cationes divalentes de zinc (Zn^{2+}) solvatados con agua, también reacciona en soluciones fuertemente alcalinas para formar aniones divalentes complejos de tetrahidroxozincatos, $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$. En este trabajo las nanopartículas de ZnO se prepararon a partir del acetato de zinc en medio alcalino proveniente de una solución de NaOH 0,2M. Las especie que se forman son $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$, $\text{Zn}(\text{OH})_3^-$, $\text{Zn}(\text{OH})_2$. Estas especies, a través de las reacciones de condensación explicadas por los mecanismos oxolación van formando paulatinamente el ZnO.



Todo esto promovido por el equilibrio de la hidrólisis del ion acetato:

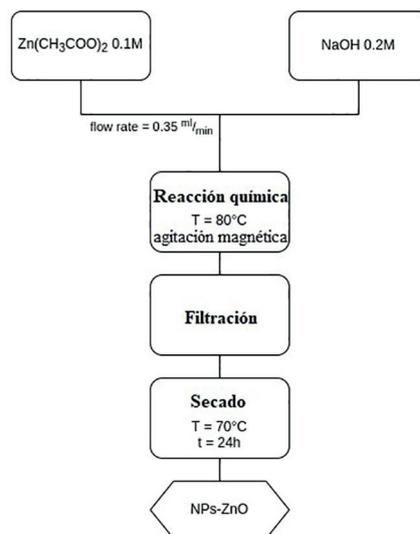
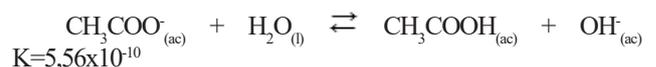
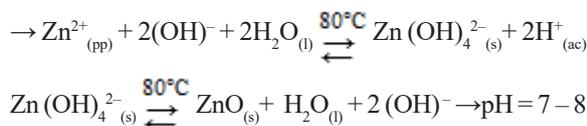


Figura 1. Diagrama de flujo de la preparación de NPs-ZnO por el método de la precipitación química

Wu et al. 2006, Aquino et al, 2018, Mahmood et al. 2022, proponen una temperatura de 80°C para acelerar el proceso de reacción el cual termina con la formación de óxido de cinc a un pH cercano a 8 correspondiente con el pH de la hidrólisis de acetato.



Desde el punto de vista termodinámico, y con apoyo del diagrama de Pourbaix (Figura 2), la especie que debe formarse dadas las condiciones finales de nuestra síntesis (pH alrededor de 8) es el ZnO que se presenta como precipitado coloidal.

3.2 Caracterización de nanopartículas de ZnO por difracción de rayos X – Determinación del tamaño empleando la ecuación de Scherrer

La caracterización por Difracción de rayos X tiene como objeto identificar la fase o las fases cristalinas presentes en la muestra analizada por esta técnica instrumental. A través del difractograma resultante y con la lectura de los ángulos y picos de difracción de los planos cristalinos más importantes de la celda unidad (figura 3) se realiza la identificación de la fase o fases cristalinas presentes en la muestra. Por otro lado, de acuerdo al ancho y altura del pico de difracción se toman datos para ser considerados en

la ecuación de Scherrer para la determinación del tamaño de las nanopartículas.

3.2.1 Caracterización de nanopartículas de ZnO

Para este fin, en la fase cristalina se tomaron en cuenta los resultados de la interacción del sólido cristalino frente a los rayos X, estos resultados se registran en un difractograma. En la Figura 3, se observa el espectro característico de la difracción de rayos X de los planos más importantes de la estructura cristalina.

La fase cristalina se caracterizó empleando la base de datos ICDD PDF-2-2014 de la International Centre for Diffraction Data, a través de la ficha ICDD PDF 01-075-0576, donde se encontró las referencias de los ángulos de difracción de los planos hkl de mayor intensidad de difracción a un determinado ángulo de difracción 2θ.

Los planos de mayor intensidad en esta caracterización corresponden a los índices de Miller (100), (002) y (101) con valores de ángulo 2θ de difracción de aproximadamente de 37,22°; 40,36° y 42,53°, respectivamente. De acuerdo a estos resultados se deduce que esta muestra de ZnO presenta la estructura cristalina hexagonal de la zincita, cuyos parámetros de celda son a₀ = b₀ = 3,24 Å; c₀ = 5,1948 Å y sus ángulos cristalográficos son α = β = 90° y γ = 120°.

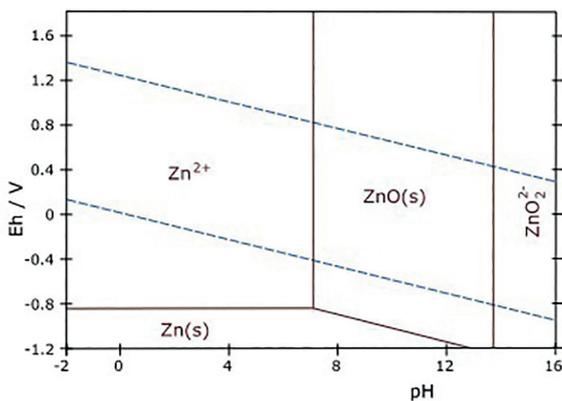


Figura 2. Diagrama de Pourbaix del Zn (wikimedia commons)

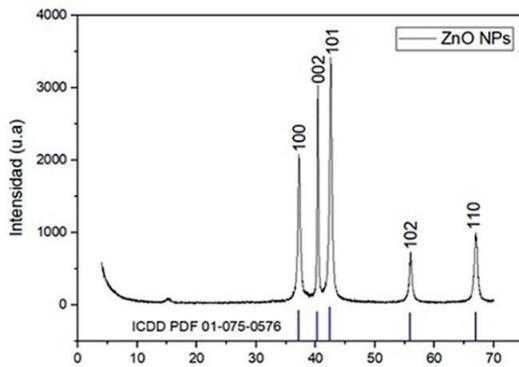


Figura 3. Difractograma de las nanopartículas de ZnO (NPs-ZnO) sintetizadas por el método de la precipitación química

En la Figura 4 se presenta la estructura de la zincita cuya coordinación tetraédrica es tanto para el catión (Zn^{2+}) rodeado de 4 aniones de oxígeno (O^{2-}) y viceversa, constituyendo la estequiometría molar 1:1

3.2.2 Determinación del tamaño empleando la ecuación de Scherrer

La ecuación de Scherrer (ecuación 1), proporciona una relación entre la ampliación de picos en el difractograma y el diámetro de partícula que se demuestra, donde D es el tamaño de partícula del cristal, K es la constante de Scherrer (0,9) que depende de la forma cristalina, λ es la longitud de onda de los rayos X, β es el ancho del pico XRD a media altura (medida en radianes) y θ es el ángulo de difracción de Bragg (Blake et al. 2009).

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad \text{Ecuación 1}$$

Así, la ley de Bragg establece la condición de máximo, que es función de la distancia entre familias de planos atómicos (hkl) de la estructura cristalina, a través de la relación expresada en la ecuación 2.

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta_{hkl} \quad \text{Ecuación 2}$$

n toma el nombre de orden de difracción y toma valores de números enteros, λ es la longitud de onda de los rayos del tubo de cobalto igual a 0,178897 nm (1,78897 Å), d_{hkl} es la distancia entre los planos de la red cristalina y θ_{hkl} es el ángulo que forman los rayos incidentes con los planos atómicos.

Por lo tanto, con la aproximación del método de Scherrer estimamos el tamaño promedio de partícula de forma general (en el rango de tamaños aproximados a 100 nm). Los picos del difractograma fueron ajustados a una función gaussiana para la determinación del valor del ancho de pico a media altura FWHM (β), siendo x_c y y_c el centro y la altura del pico respectivamente y y_0 la base del pico. La fórmula que describe la función se encuentra en la Figura 5.

Luego de la determinación de los valores de β (FWHM) registrados en la Tabla 1, de los cinco picos de difracción del difractograma de las nanopartículas de ZnO sintetizadas por el método de precipitación química (ver Figura 3) y aplicando la ecuación 1, se reportan los tamaños de los nanocristales (D) en la Tabla 1.

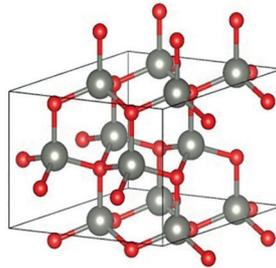


Figura 4. Estructura de la zincita del sistema hexagonal correspondiente al ZnO preparado en este trabajo. Estructura de la zincita (ZnO) realizado en VESTA. (Momma, K., & Izumi F. 2011)

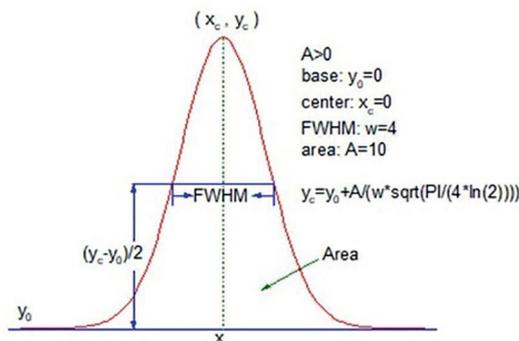


Figura 5. Determinación del ancho de pico a media altura (FWHM)

Tabla 1. Parámetros empleados en la ecuación de Scherrer

hkl	cos θ	β	D
100	0,9477	0,0098	17,3360
002*	0,9386	0,0048	35,7375*
101	0,9319	0,0098	17,6299
102	0,8830	0,0101	18,0536
110	0,8340	0,0118	16,3605

Teniendo en cuenta que las nanopartículas presentan una estructura hexagonal donde los parámetros de celda son $a_0 = b_0 \neq c_0$ y teniendo la relación de $a_0/c_0 = 1,603$, el valor D reportado para el plano (002)*, cuya orientación está referida al eje cristalográfico Z, presenta una discordancia respecto a la medición del tamaño de las nanopartículas empleando la ecuación de Scherrer en comparación a los otros cuatro planos atómicos observados en la Tabla 1. En razón a las propiedades cristalográficas de la estructura zincita y considerando la variabilidad del tamaño de nanopartículas obtenidas por la síntesis del método de la precipitación química, se incluyó la medición del valor D correspondiente al plano basal (002) lo que resulta para el promedio de D aproximadamente a 21 nm como tamaño promedio de las nanopartículas de ZnO, en laboratorios que no cuenten con equipos de microscopía electrónica o de dispersión dinámica de luz resulta útil para obtener aproximaciones del tamaño de las nanopartículas sintetizadas contrastado en estudios previos (Aquino et al. 2018).

IV. CONCLUSIÓN

- Se sintetizaron nanopartículas de ZnO por el método de la precipitación química a partir de $Zn(CH_3COO)_2$ e NaOH en intervalos de pH desde 13 a 7.
- Las nanopartículas sintetizadas se caracterizaron por Difracción de Rayos X, se identificó la presencia de la fase cristalina de la zincita (ZnO) del sistema hexagonal y se observó un crecimiento a favor de la dirección 002.
- Al aplicar la ecuación de Scherrer, se determinó que el promedio del tamaño de las nanopartículas sintetizadas fue de 21 nm.

V. REFERENCIAS

- Aquino, P., Osorio A.M., Ninán, E., Torres F. (2018). *Caracterización de nanopartículas de ZnO sintetizadas por el método de precipitación y su evaluación en la incorporación en pinturas esmalte*. Rev Soc Quím Perú. 84(1) 2018, 5-17. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2018000100002&nrm=iso
- Blake Alexander J., Clegg William, Cole Jacqueline M. Evans John S.O. Main Peter, Parsons Simon, Watkin David J. (2009). *Crystal structure analysis: principles and practice*. Oxford University Press.
- Chiara Sportelli M., Picca Rosaria A., Cioffi N. (2016). *Recent advances in the synthesis and characterization of nano-antimicrobials*, TrAC Trends in Analytical Chemistry, Volume 84, Part A, 2016, Pages 131-138
- Ghorbani, H., Mehr, F., Pazoki, H., & Rahmani, B. (2015). *Synthesis of ZnO Nanoparticles by Precipitation Method*. *Oriental Journal of Chemistry*, 31(2), 1219–1221. <https://doi.org/10.13005/ojc/310281>
- Hanawalt, J. D., Rinn, H. W., & Frevel, L. K. (1938). *Chemical Analysis by X-Ray Diffraction*. *Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition*, 10(9), 457–512. <https://doi.org/10.1021/ac50125a001>
- Lee, B. W., Koo, J. H., Lee, T. S., Kim, Y. H., & Hwang, J. S. (2013). *Synthesis of ZnO Nanoparticles via Simple Wet-Chemical Routes*. *Advanced Materials Research*; 699, 133–137.
- Mahmood, N. B., Saeed, F. R., Gbashi, K. R., & Mahmood, U.-S. (2022). *Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles via oxalate co-precipitation method*. *Materials Letters: X*, 13, 100126. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mlblux.2022.100126>
- Manohar A., Junwoo Park, Dereje Degefa Geleta, Chintagumpala Krishnamoorthi, Ramar Thangam, Heemin Kang, Joonho Lee (2021). *Synthesis and characterization of ZnO nanoparticles for photocatalysis, antibacterial and cytotoxicity in kidney cancer (A498) cell lines*, Journal of Alloys and Compounds, Volume 874.
- Momma, K., & Izumi, F. (2011). *VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data*. *Journal of Applied Crystallography*, 44(6), 1272-1276. <https://doi.org/10.1107/S0021889811038970>
- Naseem, T., & Durrani, T. (2021). *The role of some important metal oxide nanoparticles for wastewater and antibacterial applications: A review*. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 3, 59–75. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enceco.2020.12.001>
- Omri, K., Najeh, I., Dhahri, R., el Ghoul, J., & el Mir, L. (2014). *Effects of temperature on the optical and electrical properties of ZnO nanoparticles synthesized by sol-gel method*. *Microelectronic Engineering*, 128, 53–58. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mee.2014.05.029>
- Pérez-Zúñiga Germán, Herrera-Pérez Gabriel, Verde-Gómez Ysmael, Valenzuela-Muñiz Ana María (2021). *Self-assembled ZnO-rGO nanocomposite, a solid-state transformation to control its crystallite size*. *Journal of Alloys and Compounds*. Volume 875. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.159992>

Sahai A., Goswami Navendu (2014). *Structural and vibrational properties of ZnO nanoparticles synthesized by the chemical precipitation method*. Volume 58,130-137. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2013.12.009>

Salahuddin, N. A., El-Kemary, M., & Ibrahim, E. M. (2015). *Synthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles via Precipitation Method: Effect of Annealing Temperature on Particle Size*. *Nanoscience and Nanotechnology*, 5(4), 82–88.

Tolentino Castillo, A. J., Benites Alfaro, E., & Cabrera Carranza, C. (2019). *Agua residual de lavandería y su tratamiento por oxidación fotocatalítica con dióxido de titanio (TiO₂) y luz ultravioleta (UV) en Instituto Nacional de Salud del Niño, San Borja – 2017*. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, vol. 22 n°43, 2019: 4. Recuperado de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/16680>

Wu C, Qiao X, Chen J, Wang H, Tan F. (2006). *A novel chemical route to prepare ZnO nanoparticles*. *Mater Lett*; 60 (15): 1828–1832. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matlet.2005.12.046>

Zegarra J., Osorio A.M., Erazo R., Blas F., Ninán E., Cornejo O. Manrique J. (2021). *Estudio de la interacción química y bactericida de las nanopartículas de óxido de zinc frente a Staphylococcus aureus*. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*. Vol. 24, N° 48, 175-180. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.21771>

Contribución de autoría

Conceptualización: A. O., Curación de datos: J. M., Adquisición de fondos: O. C., Investigación: J. Z., Metodología: A. O., Administración del proyecto: A. O., Recursos: F. B., Validación: J. O., Redacción - borrador original: E. N.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.