

EVALUACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC SOBRE LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*)

EVALUATION OF ZINC OXIDE NANOPARTICLES ON THE GERMINATION AND GROWTH OF TOMATO SEEDLINGS (*Solanum lycopersicum*)

Pérez-Muñoz, B.; Cruz-López, V^{*}; Rosas-Díaz, J.; Cruz-Martínez, H.

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle de Etla. Abasolo S/N, Barrio del Agua Buena, Santiago Suchilquitongo, Oaxaca 68230, México.

** E-mail: vianii.cl@itvalletla.edu.mx*

Fecha de envío: 30, mayo, 2025

Fecha de publicación: 20, septiembre, 2025

Resumen:

La productividad de los cultivos es uno de los retos más importantes de la agricultura moderna, y para mejorar la productividad agrícola se recurre frecuentemente al uso de agroquímicos. No obstante, su aplicación conlleva efectos adversos tanto para la salud humana como para el medio ambiente. Ante esta situación, surge la necesidad de explorar nuevas alternativas sostenibles. Una de las opciones que actualmente está cobrando relevancia es el uso de nanomateriales (1-100 nm), específicamente los nanofertilizantes para optimizar el rendimiento de los cultivos. En este contexto, el presente trabajo evaluó el efecto de nanopartículas de óxido de zinc de dos tamaños (<50 nm y <100 nm) aplicadas en cuatro concentraciones (50, 100, 150 y 200 ppm) sobre la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*), variedad Moctezuma F1. Para analizar el efecto de las nanopartículas en la germinación, se aplicó un mililitro de solución acuosa con nanopartículas sobre semillas colocadas en dos capas de papel filtro Whatman N°1 dentro de cajas Petri de 55 mm. Estas se mantuvieron en oscuridad durante tres días, seguidos por tres días de exposición a luz roja y un día de reposo. En cuanto al crecimiento de las plántulas, se aplicaron 10 ml de la misma solución a plántulas de 15 y 22 días de edad, utilizando las combinaciones de tamaño y concentración antes mencionadas. Los resultados indicaron que las nanopartículas de óxido de zinc promueven tanto la germinación de semillas como el crecimiento de plántulas de tomate. Por lo tanto, se concluye que estas nanopartículas representan una alternativa prometedora para mejorar el desarrollo temprano de esta especie hortícola.

Palabras clave: Nanomateriales, fertilizantes, agricultura, hortaliza.

Abstract:

Crop productivity is one of the most critical challenges in modern agriculture, and agrochemical products are widely used to improve it. However, their application entails adverse effects on both human health and the environment. Given this situation, there is a need to explore new, sustainable alternatives. One option currently gaining relevance is the use of nanomaterials (1–100 nm), specifically nanofertilizers, to optimize crop yield. In this context, this study evaluated the effect of zinc oxide nanoparticles of two sizes (<50 nm and <100 nm) applied at four concentrations (50, 100, 150, and 200 ppm) on seed germination and seedling growth of tomato (*Solanum lycopersicum*) variety Moctezuma F1. To analyze the effect of nanoparticles on germination, one milliliter of aqueous solution containing nanoparticles was applied to seeds placed on two layers of Whatman No. 1 filter paper inside 55 mm Petri dishes. These were kept in darkness for three days, followed by three days of exposure to red light and one day of rest. To evaluate seedling growth, 10 mL of the solution was applied to seedlings at 15 and 22 days of age, using the previous size and concentration combinations. The results indicated that zinc oxide nanoparticles promoted both seed germination and seedling growth in tomato plants. These findings suggest that these nanoparticles represent a promising alternative for improving the early development of this horticultural species.

Keywords: Nanomaterials, fertilizers, agriculture, vegetables.

INTRODUCCIÓN

La seguridad alimentaria es la garantía de que todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico, económico y social a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades dietéticas y preferencias alimentarias, permitiéndoles llevar una vida activa y saludable. Implica la disponibilidad de alimentos, el acceso a ellos, su adecuada utilización biológica y la estabilidad de estos factores a lo largo del tiempo. La seguridad alimentaria también considera aspectos como la sostenibilidad de la producción, la equidad en la distribución y el respeto a la cultura alimentaria, siendo fundamental para el desarrollo humano, la salud pública y la justicia social (King et al., 2017).

Sin embargo, la agricultura moderna enfrenta múltiples desafíos que amenazan la soberanía alimentaria, siendo uno de los más relevantes la baja productividad de los cultivos. Para contrarrestar este problema, se ha recurrido al uso de diversos agroquímicos; no obstante, estos conllevan efectos secundarios negativos tanto para la salud humana como para el medio ambiente (Vejan et al., 2021). En consecuencia, surge la necesidad de implementar alternativas más sostenibles.

En este contexto, la nanotecnología aplicada a la agricultura se perfila como una herramienta prometedora para mejorar la producción de cultivos mediante el uso de nanomateriales (1–100 nm), como los nanofertilizantes (Jakhar et al., 2022). Diversos estudios han evidenciado los efectos positivos de las nanopartículas en el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Yadav et al., 2023).

En particular, las nanopartículas metálicas mejoran la disponibilidad y absorción de micronutrientes, favoreciendo el desarrollo de las plantas. Especialmente, las nanopartículas de óxido de zinc han demostrado estimular el crecimiento y desarrollo vegetal (Hanif et al., 2024). Su efecto es observable desde la etapa de germinación de las semillas, reflejándose en una mayor emergencia y uniformidad. Esto se debe principalmente a la capacidad de los nanomateriales para penetrar la semilla, facilitando una mayor imbibición de agua y micronutrientes, acelerando la degradación de reservas y beneficiando las primeras fases del proceso germinativo. Por tanto, en el presente estudio se evaluó el efecto de dos tamaños (<50 nm y <100 nm) y cuatro concentraciones (50, 100, 150 y 200 ppm) de nanopartículas de óxido de zinc sobre la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*), variedad Moctezuma F1.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Las semillas de tomate (*S. lycopersicum*) utilizadas en el experimento fueron de la variedad Moctezuma F1, adquiridas de la empresa Harris Moran, con un porcentaje de germinación del 90%. Antes de utilizarse, las semillas fueron desinfectadas en una solución de hipoclorito de sodio al 10%, durante 10 minutos, posteriormente, fueron enjuagadas tres veces con agua destilada para remover los excedentes.

Químicos y reactivos

Los químicos y reactivos utilizados en este estudio fueron de grado analítico. Se emplearon dos tamaños de nanopartículas de óxido de zinc (<50 y <100 nm), con una pureza mayor al 97%. Las nanopartículas fueron adquiridas de forma comercial de la empresa Sigma-Aldrich. Para la preparación de las soluciones se empleó agua desionizada.

Diseño del experimento

Se evaluaron los efectos de cuatro concentraciones de nanopartículas de óxido de zinc sobre la germinación y crecimiento de plántulas. Las concentraciones de nanopartículas fueron 50, 100, 150 y 200 ppm para nanopartículas de <50 nm y <100nm con 5 repeticiones por tratamiento para el ensayo de germinación y 4 repeticiones por tratamiento para el ensayo sobre el crecimiento en plántulas. Las soluciones fueron preparadas en agua desionizada a un volumen de 100 ml. El tratamiento testigo consistió en utilizar agua destilada (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos de nanopartículas de óxido de zinc evaluadas en la germinación y crecimiento de plántulas de tomate.

Table 1. Zinc oxide nanoparticle treatments evaluated in the germination and growth of tomato seedlings.

Tratamientos	Concentraciones (ppm)	Repeticiones Ensayo Germinación	Repeticiones Ensayo Crecimiento
Control (agua) NPs ZnO <50 nm	(T0) 0	5	4
	(T1) 50 ppm	5	4
	(T2) 100 ppm	5	4
	(T3) 150 ppm	5	4
	(T4) 200 ppm	5	4
NPs ZnO <100nm	(T5) 50 ppm	5	4
	(T6) 100 ppm	5	4
	(T7) 150 ppm	5	4
	(T8) 200 ppm	5	4

Evaluación del efecto de las nanopartículas de óxido de zinc sobre la germinación de semillas de tomate

El ensayo de germinación de semillas de *S. lycopersicum* variedad Moctezuma F1, se desarrolló en base a las Reglas Internacionales para el Análisis de Semillas (The International Seed Testing Association, 2016) y algunas modificaciones. El medio de cultivo utilizado para el ensayo de germinación, fueron dos capas de papel filtro (Whatman, de 5 cm de diámetro), las cuales fueron colocadas dentro de cajas Petri de 5.5 cm de diámetro, en la cual se adicionó 1 ml solución de cada tratamiento (Cuadro 1). Las cajas Petri se colocaron dentro de una cámara de germinación a 25 °C durante 7 días, las semillas permanecieron tres días en oscuridad para promover la emergencia de la radícula, después de este tiempo las cajas Petri se sometieron

a periodos de 4 horas de luz roja por día. Al día siete después de la siembra, se procedió a medir las variables longitud de plúmula y radícula.

Evaluación del efecto de las nanopartículas de óxido de zinc sobre el crecimiento de plántulas de tomate

Las charolas de germinación fueron llenadas con sustrato peat moss, en cada una de las cavidades se sembraron dos semillas. Las charolas se dejaron tres días en oscuridad para promover la germinación de la semilla. Transcurridos los tres días, las charolas fueron trasladadas al invernadero para promover el crecimiento de las plántulas de tomate. Quince días después de la siembra, se dejó únicamente una plántula por cavidad, seleccionando aquellas que presentaban tamaños similares. Las concentraciones de nanopartículas se aplicaron a los 15 y 22 días después de la siembra. Durante todo el experimento las plantas fueron regadas con agua purificada, 29 días después de la siembra se midieron las variables morfológicas de la planta. Las variables medidas fueron longitud de tallo, diámetro de tallo, longitud de raíz, número de hojas, peso fresco y peso seco. Para obtener el peso seco, las muestras se sometieron a deshidratación en la estufa de secado, para ello, las muestras de cada tratamiento se introdujeron en doble bolsa de papel de estraza, que después se colocaron en la estufa de secado por un periodo de 24 horas a una temperatura interior de 115 °C.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de las nanopartículas de óxido de zinc sobre la germinación de semillas de tomate

Los datos mostrados en el Cuadro 2 permiten apreciar el efecto estimulante de las nanopartículas sobre la elongación de la raíz y crecimiento de la plántula. En el caso de la longitud de la radícula, los tratamientos que muestran mayor elongación con respecto al testigo son 50 y 150 ppm con un tamaño de partícula <50 nm. Mientras que los tratamientos que muestran una elongación menor al testigo son los tratamientos 2, 4 y 8. Se observa, por lo tanto, que en la concentración de 200 ppm para ambos tamaños de partícula, la longitud de la raíz se ve afectada por las nanopartículas.



Respecto a la longitud de la plúmula se observa que en todos los tratamientos la elongación es superior a la del testigo, sin embargo, al igual que la longitud de la radícula la mayor elongación se presenta en el tratamiento 1 (50 ppm NPsZnO <50 nm). Al respecto, Das y colaboradores (2015), también observaron un aumento en el crecimiento de raíces y brotes al aumentar la dosis de nanopartículas, pero una reducción con dosis más altas, lo cual se atribuyó a su efecto tóxico. Sin embargo, esta respuesta puede variar en función de diversos factores como el tipo de nanopartículas, su tamaño, la concentración ambiental, el tiempo de exposición y la variedad de la planta (Cox et al., 2016).

Cuadro 2. Efecto de nanopartículas de óxido de zinc en la germinación de semillas de tomate (*S. lycopersicum*) variedad Moctezuma F1.

Table 2. Effect of zinc oxide nanoparticles on seed germination of tomato (*S. lycopersicum*) variety Moctezuma F1.

Tratamientos	Longitud de radícula (cm)	Longitud de plúmula (cm)
T0	0.60	0.17
T1	1.02	0.83
T2	0.48	0.46
T3	1.02	0.79
T4	0.42	0.30
T5	0.91	0.79
T6	0.70	0.24
T7	0.65	0.55
T8	0.56	0.73

Evaluación del efecto de las nanopartículas de óxido de zinc sobre el crecimiento de plántulas de tomate

Las variables fisiológicas analizadas en el experimento sobre el crecimiento de plántulas de tomate (*S. lycopersicum*) variedad Moctezuma F1, fueron longitud de tallo, longitud de raíz, diámetro de tallo, número de hojas, peso fresco, peso seco y porcentaje de humedad.

La longitud del tallo muestra valores superiores al testigo en los tratamientos con nanopartículas <50 nm a concentraciones de 50, 150 y 200 ppm, siendo la mayor

elongación en 200 ppm (Cuadro 3). La longitud de la raíz también muestra el valor más alto en el tratamiento 4 (200 ppm NPsZnO <50 nm), y valores superiores al testigo en los tratamientos 1, 2, 6 y 8. Se observa que concentraciones altas en ambos tamaños de partícula favorecen la elongación de la raíz.

Respecto al diámetro del tallo y el número de hojas, los valores superiores al testigo se observan en los tratamientos 3, 4, 7 y 8, que corresponden a concentraciones de 150 y 200 ppm en ambos tamaños de partícula, lo que refiere que concentraciones altas de la nanopartícula favorece ambas variables.

Cuadro 3. Efecto de nanopartículas de óxido de zinc en el crecimiento de plántulas de tomate (*S. lycopersicum*) variedad Moctezuma F1.

Table 3. Effect of zinc oxide nanoparticles on the growth of tomato seedlings (*S. lycopersicum*) variety Moctezuma F1.

Tratamiento	Longitud del tallo (cm)	Longitud de la raíz (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Número de hojas (cm)
T0	6.14	8.33	0.20	13.00
T1	6.22	8.52	0.20	12.25
T2	6.11	8.72	0.20	11.25
T3	6.24	7.66	0.22	14.50
T4	6.28	9.11	0.21	14.00
T5	6.08	7.31	0.19	11.50
T6	5.63	8.51	0.19	11.00
T7	6.09	7.93	0.22	14.50
T8	6.02	8.63	0.22	13.75

Cuadro 4. Efecto de nanopartículas de óxido de zinc en la biomasa de plántulas de tomate (*S. lycopersicum*) variedad Moctezuma F1.

Table 4. Effect of zinc oxide nanoparticles on the biomass of tomato (*S. lycopersicum*) seedlings variety Montezuma F1.

Tratamiento	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Humedad (%)
T0	0.71	0.16	78.10
T1	0.57	0.15	73.96
T2	0.60	0.14	76.99
T3	0.94	0.19	79.32
T4	0.76	0.17	77.74



T5	0.50	0.12	75.87
T6	0.57	0.13	77.73
T7	0.86	0.18	79.01
T8	0.85	0.19	78.21

En cuanto al peso fresco y seco, en el cuadro 4 se observa la misma tendencia que en las variables diámetro del tallo y número de hojas, con valores superiores al testigo en los tratamientos 3, 4, 7 y 8. Los beneficios observados en el crecimiento de la planta pueden deberse a que el zinc es un micronutriente y debido a la capacidad de las partículas del óxido de zinc para mejorar el sistema de defensa antioxidante de la planta y actuar como un eficaz regulador del crecimiento, mejorando así la productividad del cultivo incluso en condiciones de estrés (Salam et al., 2022).

CONCLUSIÓN

En la germinación de las semillas de tomate, el tratamiento 1 muestra los mejores valores, este tratamiento corresponde a 50 ppm de nanopartículas de óxido de zinc menores a 50 nm. En cuanto al crecimiento de plántulas, el tratamiento 4 que también corresponde a partículas menores a 50 nm pero con una concentración de 200 ppm, mostró valores superiores al testigo en casi todas las variables evaluadas, excepto en el porcentaje de humedad. Esto sugiere que altas concentraciones de nanopartículas con tamaños menores a 50 nm favorecen el crecimiento de las plántulas de tomate, mientras que bajas concentraciones de este mismo tamaño de partículas favorecen la germinación.

LITERATURA CITADA

- Cox, A., Venkatachalam, P., Sahi, S., & Sharma, N. (2016). Silver and titanium dioxide nanoparticle toxicity in plants: A review of current research. *Plant Physiology and Biochemistry*, 107, 147-163. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.05.022>
- Das, B., Debnath, K., Sarkar, K. K., Priya, B., & Mukherjee, S. (2015). Effect of different nanoparticles on germination and seedling growth in tomato. *Research on Crops*, 16(3), 542. <https://doi.org/10.5958/2348-7542.2015.00077.7>

- Hanif, S., Javed, R., Cheema, M., Kiani, M. Z., Farooq, S., & Zia, M. (2024). Harnessing the potential of zinc oxide nanoparticles and their derivatives as nanofertilizers: Trends and perspectives. *Plant Nano Biology*, 10, 100110. <https://doi.org/10.1016/j.plana.2024.100110>
- Jakhar, A. M., Aziz, I., Kaleri, A. R., Hasnain, M., Haider, G., Ma, J., & Abideen, Z. (2022). Nano-fertilizers: A sustainable technology for improving crop nutrition and food security. *NanoImpact*, 27, 100411. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2022.100411>
- King, T., Cole, M., Farber, J. M., Eisenbrand, G., Zabarar, D., Fox, E. M., & Hill, J. P. (2017). Food safety for food security: Relationship between global megatrends and developments in food safety. *Trends in Food Science & Technology*, 68, 160-175. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.014>
- Salam, A., Khan, A. R., Liu, L., Yang, S., Azhar, W., Ulhassan, Z., Zeeshan, M., Wu, J., Fan, X., & Gan, Y. (2022). Seed priming with zinc oxide nanoparticles downplayed ultrastructural damage and improved photosynthetic apparatus in maize under cobalt stress. *Journal of Hazardous Materials*, 423, 127021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127021>
- The International Seed Testing Association. (2016). *Reglas Internacionales para el Análisis de las Semillas 2016*.
- Vejan, P., Khadiran, T., Abdullah, R., & Ahmad, N. (2021). Controlled release fertilizer: A review on developments, applications and potential in agriculture. *Journal of Controlled Release*, 339, 321-334. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2021.10.003>
- Yadav, A., Yadav, K., & Abd-Elsalam, K. A. (2023). Exploring the potential of nanofertilizers for a sustainable agriculture. *Plant Nano Biology*, 5, 100044. <https://doi.org/10.1016/j.plana.2023.100044>

