

Nanopartículas de selenio y selenito en la producción de plántulas de lechuga

Juan Carlos Rodríguez-Ortiz¹
Soledad García-Morales²
Mayra del Carmen Flores-Flores¹
Yolanda Chávez-Zárata¹
Jesús Gerardo Camarillo-Morelos¹
Ángel de Jesús Estrada-González^{1,§}

1 Facultad de Agronomía y Veterinaria-Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Carretera San Luis-Matehuala km 14.5, Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. CP. 78321.

2 SECIHTI-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Camino Arenero 1227, El Bajío, Zapopan, Jalisco, México.

Autor para correspondencia: angel.estrada@uaslp.mx.

Resumen

La producción de plántulas de calidad en cultivos hortícolas es un paso fundamental para su éxito, para ello, la fertilización juega un papel muy importante. El selenio (Se) se ha evaluado por sus efectos benéficos en la fisiología de las plantas. Sin embargo, los estudios en etapa de plántula son escasos. Por lo anterior, el presente estudio se realizó en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México en 2025 con el objetivo de evaluar la aplicación foliar de dos fuentes de selenio: selenito de sodio (Na_2SeO_3) y nanopartículas de Se (NPSe) en la producción de plántulas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Los tratamientos fueron: 1) testigo absoluto, 0 ppm Se (aspersión con agua); 2) 1.5 ppm de NPSe; 3) 3 ppm de NPSe; 4) 4.5 ppm de NPSe; 5) 1.5 ppm de Na_2SeO_3 ; 6) 3 ppm Na_2SeO_3 ; 7) 4.5 ppm Na_2SeO_3 . Después de 30 días de la germinación se determinó el peso seco, peso fresco, altura, área foliar, índice brote/raíz, relación de área foliar, índice de clorofila, índice de balance de nitrógeno e índice de flavonoides. Los resultados indicaron que la aplicación foliar de 3 y 4.5 ppm de NPSe mejoran la calidad de las plántulas de lechuga, ya que generaron un mejor balance de brote/raíz, mayor peso seco de raíz y un buen balance de nitrógeno. Estos indicadores sugieren que las plántulas pueden tener mayor sobrevivencia al postrasplante y un crecimiento continuo al poder presentar mayor capacidad para absorber agua y nutrientes. No se encontraron efectos fitotóxicos en el crecimiento de las plántulas.

Palabras clave:

elemento benéfico, estimulación vegetal, hortalizas, nanotecnología.



En cultivos hortícolas, la producción de plántulas representa el inicio del proceso de producción y es parte fundamental del éxito o fracaso del cultivo. Para ello es necesario obtener plántulas con características que les permitan tener un alto nivel de establecimiento en campo y garantizar un crecimiento continuo al trasplante. En su primera etapa de vida, los cuidados principales para las plántulas son el riego, prevención de plagas y enfermedades, protección del clima y fertilización.

Recientemente, diversos estudios se han enfocado en evaluar los efectos de algunos elementos benéficos para los cultivos, los cuales no son considerados esenciales para las plantas, pero que en dosis bajas pueden mejorar el crecimiento y el desarrollo. Entre estos se destaca el selenio (Se), que es reconocido como un elemento esencial en mamíferos y en otros organismos, ya que participa en diversos procesos fisiológicos (Garza-García *et al.*, 2022). En la naturaleza existen diferentes formas de Se, las orgánicas que consisten en los seleno aminoácidos y las inorgánicas como el selenito y el selenato. Las formas inorgánicas se han empleado en los sistemas agrícolas mediante la biofortificación o la bioestimulación; sin embargo, pueden ser tóxicas para las plantas en altas concentraciones.

De esta manera, surge el desarrollo de las nanopartículas de selenio (NPSe), que se caracterizan por tener un tamaño de 1 a 100 nm en algunos de sus lados, tienen mayor biodisponibilidad y mejores propiedades biológicas comparadas con las fuentes inorgánicas de Se (Garza-García *et al.*, 2022). Las NPSe están implicadas en la estimulación de pigmentos fotosintéticos, la tasa de fotosíntesis neta, el intercambio de gases, la acumulación de osmoprotectores y la síntesis de metabolitos secundarios, considerados como los principales mecanismos de acción en las plantas (El-Ramady *et al.*, 2014). Dichos mecanismos están relacionados con el tamaño de partícula a escala nanométrica y a sus características fisicoquímicas, que les permiten ingresar a la planta con mejor eficiencia, lo que hace suponer que su aplicación puede beneficiar la producción de plántulas de lechuga, así como mejorar la calidad.

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la aplicación foliar de dos fuentes de selenio: selenito de sodio (Na_2SeO_3), como fuente inorgánica, y nanopartículas de Se (NPSe) en la producción de plántulas de lechuga. Se evaluaron siete tratamientos de aspersión foliar en la producción de plántula de lechuga: 1) testigo absoluto, 0 ppm Se (aspersión con agua); 2) 1.5 ppm de NPSe; 3) 3 ppm de NPSe; 4) 4.5 ppm de NPSe; 5) 1.5 ppm de Na_2SeO_3 ; 6) 3 ppm Na_2SeO_3 ; 7) 4.5 ppm Na_2SeO_3 .

El nano selenio fue sintetizado siguiendo la metodología descrita por Hernández-Díaz *et al.* (2021), en el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Se hicieron tres aplicaciones foliares de los tratamientos a las plántulas de lechuga a partir del desarrollo pleno de cuatro hojas verdaderas, una cada semana, entre 9:30 am y 10 am. Se utilizó la variedad de lechuga Carregón tipo iceberg (Enza Zaden México). El diseño experimental consistió en bloques al azar con siete tratamientos y tres repeticiones. Las unidades experimentales fueron charolas de poliestireno de 338 cavidades, la parcela experimental tenía 112 plántulas por tratamiento (1/3 de charola). Las plántulas se regaron diariamente con 1 g de fosfato diamónico (DAP) por litro de agua. Como parcela útil, se tomaron plántulas del centro para eliminar el factor de orilla.

La evaluación de los tratamientos con abono orgánico y manejo convencional se hizo a los 30 días de la germinación. De cada tratamiento se tomaron siete plántulas al azar del centro de la parcela útil. Las variables de respuesta fueron las siguientes: peso seco (PS), peso fresco (PF), altura de plántulas, área foliar, índice brote/raíz (IBR), relación de área foliar (RAF), índice de clorofila (IC), índice de balance de nitrógeno (NBI) e índice de flavonoides (IF), los últimos se midieron con equipo portátil DUALEX (Optical Leafclip Meter, Pessl Instruments GmbH, Weiz, Austria).

El análisis estadístico consistió en un ANOVA, en caso de tener diferencias significativas ($p \leq 0.05$), se procedió a realizar una prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para visualizar las diferencias de las diferentes concentraciones de NPSe (tratamientos) en la producción de plántula de lechuga, utilizando los paquetes FactoMineR (V. 3.5.3) y Factoextra (V. 3.5.3). Todos los análisis y la figura se realizaron con el software R (V 4.1.0.) en RStudio (V 1.4.1717).

Resultados y discusión

Los resultados de la aplicación foliar de las nanopartículas de Se (NPSe) y el selenito de sodio (Na_2SeO_3), como fuente de Se inorgánico, se presentan en el Cuadro 1 y 2.

Cuadro 1. Efecto de la aplicación foliar de Se inorgánico (Na_2SeO_3) y nanopartículas de (NPSe) en la biomasa y altura de plántulas de lechuga.

Fuente de Se	Dosis (ppm)	Peso seco (g)			Peso fresco (g)			Altura de planta (cm)
		Total	Brote	Raíz	Total	Brote	Raíz	
Testigo	0	0.2 ±0.07 a	0.2 ±0.02 a	0.06 ±0.01 b	2.8 ±0.4 a	2.1 ±0.2 a	0.7 ±0.1 a	9.3 ±1 a
NPSe	1.5	0.2 ±0.03 a	0.2 ±0.03 a	0.07 ±0.01 ab	2.9 ±0.3 a	2.4 ±0.6 a	0.6 ±0.1 a	10.1 ±0.8 a
NPSe	3	0.3 ±0.05 a	0.2 ±0.03 a	0.08 ±0.02 a	3.2 ±0.6 a	2.6 ±0.4 a	0.7 ±0.1 a	9.9 ±0.6 a
NPSe	4.5	0.3 ±0.04 a	0.2 ±0.03 a	0.08 ±0.01 a	3.1 ±0.4 a	2.6 ±0.4 a	0.7 ±0.2 a	10.4 ±0.5 a
Na_2SeO_3	1.5	0.3 ±0.02 a	0.2 ±0.02 a	0.07 ±0.01 ab	2.9 ±0.3 a	2.2 ±0.3 a	0.6 ±0.1 a	9.6 ±0.5 a
Na_2SeO_3	3	0.3 ±0.06 a	0.2 ±0.05 a	0.06 ±0.01 ab	2.8 ±0.3 a	2.3 ±0.4 a	0.5 ±0.2 a	9.9 ±0.4 a
Na_2SeO_3	4.5	0.2 ±0.03 a	0.2 ±0.02 a	0.07 ±0.01 ab	2.9 ±0.4 a	2.3 ±0.5 a	0.6 ±0.1 a	9.2 ±0.9 a

Valores medios con letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

Cuadro 2. Efecto de la aplicación foliar de Se inorgánico (Na_2SeO_3) y nanopartículas (NPSe) en el crecimiento y fisiología de plántulas de lechuga.

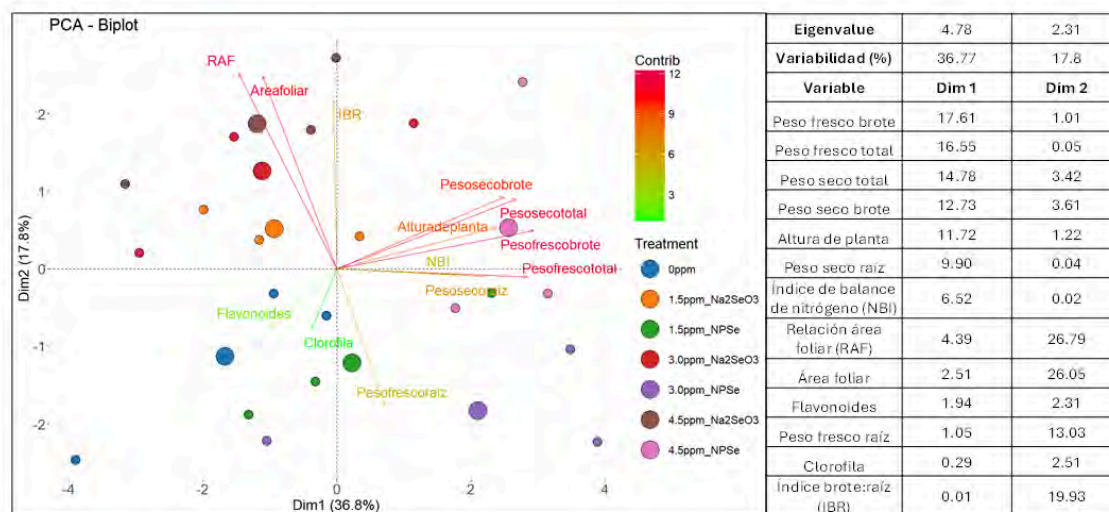
Fuente de Se	Dosis (ppm)	Área foliar (cm^2)	Relación de área foliar (RAF)	Índice de brote/raíz (IBR)	Índice de clorofila (IC)	Índice de balance de nitrógeno (NBI)	Índice flavonoides
Testigo	0	30.9 ±2.1 e	182 ±19 c	2.4 ±0.3 b	11.8 ±2.5 c	22.5 ±1.1 b	0.5 ±0.08 abc
NPSe	1.5	32.2 ±1.9 de	165.4 ±15 cd	2 ±0.3 d	13.2 ±2.6 a	24.5 ±1.2 ab	0.6 ±0.07 a
NPSe	3	27.2 ±1.8 f	127.9 ±13 d	2.3 ±0.2 c	12.5 ±2.1 b	23.1 ±2.6 ab	0.5 ±0.07 abc
NPSe	4.5	34.4 ±2.1 d	164 ±17 cd	2.8 ±0.7 a	11.1 ±2.2 c	26.3 ±2.6 a	0.4 ±0.08 c
Na_2SeO_3	1.5	40.2 ±2.9 c	211.7 ±19 b	2.5 ±0.3 b	12.1 ±2.1 bc	21.6 ±2.5 b	0.6 ±0.07 ab
Na_2SeO_3	3	44 ±3.1 b	222.3 ±18 b	2.5 ±0.5 b	13.3 ±1.2 a	22.3 ±1.2 b	0.6 ±0.08 a
Na_2SeO_3	4.5	46.9 ±2.7 a	281.1 ±21 a	2.5 ±0.4 b	11.8 ±1.7 c	23.8 ±2.2 ab	0.4 ±0.03 bc

Valores medios con letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

En las variables de peso seco y fresco (total y brote) no se obtuvieron diferencias significativas; aunque, en el peso seco de la raíz se encontraron diferencias entre el testigo y los tratamientos con 3 y 4.5 ppm de NPSe. Tampoco se obtuvieron diferencias significativas en la altura de las plántulas ($p > 0.05$) (Cuadro 1); lo que podría indicar que los tratamientos evaluados no provocaron un efecto fitotóxico. En las variables de área foliar, relación de área foliar (RAF), índice de brote/raíz (IBR), clorofila, índice de balance de nitrógeno (NBI) y flavonoides se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) (Cuadro 2).

El PCA mostró que los tratamientos tuvieron efectos diferentes en las variables evaluadas de las plántulas (Figura 1). Dos dimensiones (dimensión 1 y 2) explicaron el 54.58% de la variación total de los datos; en la dimensión 1 se observó un efecto diferente de los tratamientos con 3 ppm y 4.5 ppm de NPSe, con respecto al resto de los tratamientos (Figura 1).

Figura 1. Análisis de componentes principales (PCA) utilizando los siete tratamientos de las diferentes fuentes de selenio. Las flechas de colores indican el aporte de cada variable. La tabla contiene la contribución (%) de cada variable a cada dimensión.



Los tratamientos con NPSe destacaron para la producción de plántula de lechuga debido a que propiciaron una mejor IBR y NBI, dos indicadores importantes de calidad de plántula. Los tratamientos con 3 y 4.5 ppm de Na_2SeO_3 tuvieron mayor área foliar. El IBR indica el balance entre el brote y la raíz de las plántulas, un buen balance puede garantizar una mejor supervivencia al trasplante, ya que se evita que la transpiración supere la capacidad de absorción de agua del suelo. Así mismo, un valor bajo de RAF también es indicador de mayor resistencia al estrés postrasplante. Entre las dosis de NPSe, las dosis más sobresalientes fueron de 1.5 y 4.5 ppm que, además de los índices de calidad mencionados, pudieron propiciar los mejores valores de clorofila y NBI, dos indicadores importantes del estado del nitrógeno de las plantas, que podrán ayudar a su nutrición y crecimiento rápido en postrasplante.

Los resultados obtenidos son relevantes en función de la poca información sobre el uso de NPSe en la producción de hortalizas en su primera etapa fenológica. La mayoría de los estudios se han enfocado en las etapas postrasplante y en la evaluación de variables de producción final (Gaucin-Delgado *et al.*, 2024; Golubkina *et al.*, 2024). Un estudio realizado por Huang *et al.* (2023), en lechuga variedad crispera "Purple Rome", obtuvieron que dosis menores de $8 \mu\text{M}$ de Na_2SeO_3 promovieron significativamente el crecimiento en plántulas. También encontraron que la actividad enzimática y la expresión génica de las enzimas antioxidantes aumentaron significativamente con la aplicación exógena de Se. Otro efecto importante que reportan es el aumento de la acumulación de nutrientes de lechuga en la etapa de plántula.

Otros autores han demostrado un efecto positivo de las NPSe en la ontogénesis de las plántulas (Malagoli *et al.*, 2015), así como en la organogénesis y fisiología que promueve su crecimiento y las protegen contra el estrés abiótico (Mozafariyan *et al.*, 2014; Tarrahi *et al.*, 2021). El mecanismo de acción de las NPSe sobre el crecimiento de la raíz se ha relacionado con la regulación en la biosíntesis de fitohormonas como las auxinas, giberelinas y citoquininas (Khai *et al.*, 2024). También se ha reportado mayor acumulación de glicerato y un enriquecimiento en el ciclo del citrato (ciclo de Krebs) en raíces de plántulas de chile (Campos-García *et al.*, 2025). Por otro lado, se ha reportado que dosis mayores de Na_2SeO_3 ($16 \mu\text{M}$) inhiben el crecimiento de las plántulas e inducen la producción de especies reactivas de oxígeno, causando daño oxidativo a los lípidos de la membrana y provocando muerte celular (Bano *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2023).

Conclusiones

La aplicación foliar de nanopartículas de selenio (NPSe) pueden mejorar la calidad de plántulas de lechuga, en específico, con dosis de 3 y 4.5 ppm de NPSe, ya que generaron un mejor balance de brote/raíz (IBR), debido a un mayor peso seco de raíz y un buen balance de nitrógeno (NBI), indicadores que le confieren alta capacidad de sobrevivencia al postrasplante, mejor establecimiento y crecimiento continuo del cultivo. No se identificaron efectos fitotóxicos en el crecimiento de las plántulas de lechugas por los tratamientos con ambas fuentes de Se.

Bibliografía

- 1 Bano, I.; Skalickova, S.; Sajjad, H.; Skladanka, J. and Horky, P. 2021. Uses of selenium nanoparticles in the plant production. *Agronomy*. 11(11):1-12. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112229>.
- 2 Campos-García, T.; Hernández-Soltero, M. F.; Hernández-Fernández, O. B.; Vázquez-Martínez, J. and García-Morales, S. 2025. Selenium nanoparticles induce differential shoot/root response of *Capsicum annuum* seedlings revealed by non-targeted metabolomic analysis. *Plant Nano Biology*. 11:100139. <https://doi.org/10.1016/j.plana.2025.100139>.
- 3 El-Ramady, H. R.; Domokos-Szabolcsy, E.; Abdalla, N. A.; Alshaal, T. A.; Shalaby, T. A.; Sztrik, A.; Prokisch, J. and Fari, M. G. 2014. Selenium and nano-selenium in agroecosystems. *Environmental Chemistry Letters*. 12(4):495-510. [10.1007/s10311-014-0476-0](https://doi.org/10.1007/s10311-014-0476-0).
- 4 Garza-García, J. J. O.; Hernández-Díaz, J. A.; Zamudio-Ojeda, A.; León-Morales, J. M.; Guerrero-Guzmán, A.; Sánchez-Chiprés, D. R.; López-Velázquez, J. C. and García-Morales, S. 2022. The role of selenium nanoparticles in agriculture and food technology. *Biological Trace Element Research*. 200(5):2528-2548. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02847-3>.
- 5 Gaucin-Delgado, J. M.; Hernández-Montiel, L. G.; Ramírez-Rodríguez, S. C.; López-Salazar, R.; Ramirez-Aragón, M. G.; Hermosillo-Alba, M. C. and Preciado-Rangel, P. 2024. Foliar fertilization of nano-selenium and its effects on bioactive compounds and enzymatic activity in lettuce. *Revista Terra Latinoamericana*. 42:1-12. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1939>.
- 6 Golubkina, N.; Kharchenko, V.; Moldovan, A.; Antoshkina, M.; Ushakova, O. V.; S#kara, A.; Stoleru, V.; Murariu, O. C.; Vincenzo-Tallarita, A.; Sannino, M. and Caruso, G. 2024. Effect of selenium and garlic extract treatments of seed-addressed lettuce plants on biofortification level, seed productivity and mature plant yield and quality. *Plants*. 13(9):1-15. <https://doi.org/10.3390/plants13091190>.
- 7 Hernández-Díaz, J. A.; Garza-García, J. J.; León-Morales, J. M.; Zamudio-Ojeda, A.; Arratia-Quijada, J.; Velázquez-Juárez, G.; Zamudio-Ojeda, A.; López-Velázquez, J. C. and García-Morales, S. 2021. Antibacterial activity of biosynthesized selenium nanoparticles using extracts of *Calendula officinalis* against potentially clinical bacterial strains. *Molecules*. 26(19):5929. <https://doi.org/10.3390/molecules26195929>.
- 8 Huang, S.; Ying, Z.; Chen, J.; Yang, Y.; Zhang, J.; Yang, L. and Liu, M. 2023. Effect of selenium application on growth, antioxidative capacity and nutritional quality in purple lettuce seedlings. *Agronomy*. 13(7):1664. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071664>.
- 9 Khai, H. D.; Hiep, P. P. M.; Tung, H. T.; Phong, T. H.; Mai, N. T. N.; Luan, V. Q.; Cuong, D. M.; Vinh, B. V. T. and Nhut, D. T. 2024. Selenium nanoparticles promote adventitious rooting without callus formation at the base of passion fruit cuttings via hormonal homeostasis changes. *Scientia Horticulturae*. 323:112485. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112485>.

- 10 Malagoli, M.; Schiavon, M.; Dall'Acqua, S. and Pilon-Smits, E. A. 2015. Effects of selenium biofortification on crop nutritional quality. *Frontiers in Plant Science*. 6:280. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2015.00280>.
- 11 Mozafariyan, M.; Shekari, L.; Hawrylak-Nowak, B. and Kamelmanesh, M. M. 2014. Protective role of selenium on pepper exposed to cadmium stress during reproductive stage. *Biological Trace Element Research*. 160(1):97-107. DOI 10.1007/s12011-014-0028-2.
- 12 Tarrahi, R.; Mahjouri, S. and Khataee, A. 2021. A review on *in vivo* and *in vitro* nanotoxicological studies in plants: a headlight for future targets. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 208:111697. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111697>.



Nanopartículas de selenio y selenito en la producción de plántulas de lechuga

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
ISSN (electronic): 2007-9934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 January 2026
Date accepted: 01 February 2026
Publication date: 01 February 2026
Publication date: Feb-Mar 2026
Volume: 17
Issue: 2
Electronic Location Identifier: e4068
DOI: 10.29312/remexca.v17i2.4068

Categories

Subject: Nota de investigación

Palabras clave:

Palabras clave:

elemento benéfico
estimulación vegetal
hortalizas
nanotecnología

Counts

Figures: 1

Tables: 2

Equations: 0

References: 12