



EFFECTO DE LAS NANOPARTÍCULAS DE COBRE Y SELENIO EN *Capsicum annuum*, EN ETAPA DE VIVERO

EFFECT OF COPPER AND SELENIUM NANOPARTICLES ON *Capsicum annuum*, AT THE NURSERY STAGE

EFEITO DOS NANOPARTICULADOS DE COBRE E SELÊNIO EM *Capsicum annuum*, NA FASE DE ENFERMAGEM

Resumen

La aplicación de nanopartículas en la agricultura representa una alternativa para mejorar la productividad y minimizar el uso de agroquímicos. Este estudio evaluó el comportamiento agronómico de *Capsicum annuum* L. a la aplicación de nanopartículas de cobre (NPs Cu) y selenio (NPs Se) en etapa de vivero. Se utilizó un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial (AxB), Factor A: concentraciones de 0, 50, 100 y 150 ppm/L, y Factor B: Tipos de nanopartículas (Cu y Se), con ocho tratamientos y tres réplicas. Los resultados mostraron que 100 ppm/L de NPs Se, mejoraron indicadores agronómicos como altura (28.38 cm), número de hojas (15 unid) y peso seco (3.2 g) respecto al control (26.47 cm, 12 unid, 2.47 g, respectivamente). Concentraciones superiores a 50 ppm/L de NPs Cu redujeron el desarrollo vegetativo. Estos hallazgos sugieren que las NPs Se en dosis intermedias pueden potenciar el crecimiento del pimiento en vivero, recomendándose más estudios para optimizar su aplicación.

Palabras clave: Comportamiento agronómico, Horticultura, Nanotecnología, Nanomateriales.

M.Sc. Paola Suin Miranda

psuinm2@uteq.edu.ec

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Orcid: 0000-0002-4628-6273

M.Sc. Angel Cedeño Moreira

acedenom@uteq.edu.ec

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Orcid: 0000-0002-6564-5569

M.Sc. Loguard Rojas Uribe

lrojas@uteq.edu.ec

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Orcid: 0000-0001-8971-0292

M.Sc. Jonathan Castro Castro

jonathan.castro2015@uteq.edu.ec

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Orcid: 0009-0002-7706-7097

REVISTA TSE'DE

Instituto Superior Tecnológico

Tsa'chila

ISSN: 2600-5557



Abstract

Periodicidad Semestral

Vol. 8, núm. 1

revistatsede@tsachila.edu.ec

Recepción: 14-03-2025

Aprobación: 03-04-2025

Publicación: 25-06-2025

URL:

<http://tsachila.edu.ec/ojs/index.php/TSEDE/issue/archive>

Revista Tse'de, Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.



The application of nanoparticles in agriculture represents an alternative to improve productivity and minimize the use of agrochemicals. This study evaluated the agronomic performance of *Capsicum annum* L. to the application of copper (Cu NPs) and selenium (Se NPs) nanoparticles in the nursery stage. A completely randomized design with factorial arrangement (AxB) was used, Factor A: concentrations of 0, 50, 100 and 150 ppm/L, and Factor B: types of nanoparticles (Cu and Se), with eight treatments and three replicates. The results showed that 100 ppm/L Se NPs improved agronomic indicators such as height (28.38 cm), number of leaves (15 und) and dry weight (3.2 g) with respect to the control (26.47 cm, 12 und, 2.47 g, respectively). Concentrations higher than 50 ppm/L Cu NPs reduced vegetative development. These findings suggest that Se NPs at intermediate doses can enhance bell pepper growth in the nursery, and further studies are recommended to optimize their application.

Keywords: Agronomic performance, Horticulture, Nanotechnology, Nanomaterials.

Resumo

A aplicação de nanopartículas na agricultura representa uma alternativa para melhorar a produtividade e minimizar o uso de agroquímicos. Este estudo avaliou o desempenho agrônomico de *Capsicum annum* L. à aplicação de nanopartículas de cobre (Cu NPs) e selênio (Se NPs) na fase de viveiro. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial (AxB), sendo o Fator A: concentrações de 0, 50, 100 e 150 ppm/L, e o Fator B: tipos de nanopartículas (Cu e Se), com oito tratamentos e três repetições. Os resultados mostraram que as NPs de Se a 100 ppm/L melhoraram os indicadores agrônomicos como a altura (28.38 cm), o número de folhas (15 und) e o peso seco (3.2 g) em relação ao controlo (26.47 cm, 12 und, 2.47 g, respectivamente). Concentrações superiores a 50 ppm/L de NPs de Cu reduziram o desenvolvimento vegetativo. Estes resultados sugerem que as NPs de Se em doses intermédias podem melhorar o crescimento do pimento no viveiro, sendo recomendados mais estudos para otimizar a sua aplicação.

Palavras-chave: Comportamento agrônomico, Horticultura, Nanotecnologia, Nanomateriais

Introducción

Actualmente, a nivel mundial se ocupan 1.7 millones de hectáreas destinadas a la producción de *Capsicum* (Taco-Huancara et al., 2024). El pimiento es una hortaliza con alto valor económico y nutricional (García & Silvar, 2020; Bernal et al., 2023). Ecuador se caracteriza por tener suelos idóneos para el cultivo de hortalizas, destinando parte de territorio a la producción de pimiento (Holguín et al. 2022), principalmente en la costa (Santa Elena), Sierra Norte, Manabí y Loja, con variedad de híbridos como Magali, Quetzal, Yolo Wonder, Salvador, Tropical, Irazú y Nathalie (Ortega et al., 2022).

La agricultura constituye un pilar esencial en la soberanía alimentaria e impulsa el desarrollo económico de una nación (Yeboah et al., 2023). Sin embargo, al presente el uso irracional de agroquímicos sintéticos para mejorar la productividad agrícola, causa degradación de agroecosistemas, perjudica la salud del suelo, contamina el ambiente y genera resistencia en plagas y microorganismos fitopatógenos (Castillo et al., 2020; Lira et al., 2018; Mitra et al., 2021).

El propósito de este estudio es evaluar las concentraciones de nanopartículas de cobre y selenio sobre el comportamiento agronómico de plántulas de *Capsicum annuum* L. Diversos estudios han demostrado que las nanopartículas pueden emplearse como una alternativa amigable para mejorar la eficiencia y sustentabilidad de las prácticas agrícolas (Pérez-Hernández et al., 2024; Roy & Hossain, 2024; Zainab et al., 2024).

Las nanopartículas Zn, Fe, Cu, Ag, etc., han demostrado eficacia, especialmente en cultivos producidos en zonas climáticas áridas (Juárez-Maldonado et al., 2019); además, estimulan la actividad antimicrobiana y el crecimiento vegetativo, mediante la

inducción química de las respuestas de las plantas, en particular bajo estrés abiótico (Jhilita et al., 2021). La inducción de resistencia en las plantas es una alternativa de control para el manejo de enfermedades y plagas (Corozo et al., 2024), permite mejorar el cultivo y mitigar el uso de agroquímicos (Pulgarín et al., 2024).

Las nanopartículas de cobre se están explorando en la agricultura por sus propiedades antifúngicas (Shende et al., 2021), de pesticida, micronutriente y fertilizante que permiten reducir el uso individual de agroquímicos y minimizar el costo de producción (Bhagat et al., 2021). Además, favorecen el desarrollo vegetativo (Feigl, 2023). Mientras que las nanopartículas de selenio actúan como un agente estimulante, mejorando el crecimiento y un desencadenante de la respuesta antioxidante en las plantas (Samynathan et al., 2023; Taha et al., 2023).

Por lo tanto, el objetivo de estudio es evaluar el potencial de las nanopartículas de Cu y Se sobre el desarrollo vegetativo en plántulas de pimiento en etapa de vivero. La importancia de generar esta investigación es promover las nuevas prácticas modernas en la agricultura para mitigar el uso de agroquímicos y contribuir con el desarrollo agrícola.

Metodología

El estudio se desarrolló en el Laboratorio de Microbiología y Biología Molecular, así como en un invernadero experimental de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Campus “La María”. El objetivo fue evaluar el comportamiento agronómico del pimiento (*Capsicum annuum* L.) tras la inoculación de nanopartículas de cobre y selenio en etapa de vivero.

Formulación de las concentraciones de NPs Cu- NPs Se

Las nanopartículas de cobre y selenio utilizadas están soportadas sobre un óxido y poseen una dimensión de 10 nanómetros (nm), material proporcionado por el Laboratorio de Biología y Microbiología de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Para la disolución de las NPs se empleó un volumen total de solución de 100 ml de agua destilada, incluido 1 ml de dispersante (Coadyuvante de aplicación foliar: Perietilenglycol Monoalkil) y el resto de nanopartícula. En un mortero con la solución se maceró 0.5 g de NPs por 30 minutos para homogenizar la solución; subsiguientemente se agregó a una probeta de vidrio y llevó a 1000 ml consiguiendo una solución madre a concentración de 500 ppm de NPs/L (Olivarez-Rodríguez et al., 2024). Para conseguir la concentración 50, 100 y 150 ppm/L se aplicó la fórmula de disolución ($C1 * V1 = C2 * V2$) (Martínez et al., 2020).

Selección de material biológico

Se realizaron pruebas de viabilidad de las semillas de pimiento de varias casas comerciales antes de iniciar con la investigación, empleando el híbrido Yolo Wonder de la Casa Comercial Agrosad distribuidas en La Agropecuaria “La Hacienda” de la Ciudad de Quevedo, ubicada en la 7 de octubre SL 9 y calle cuarta, la cual presentó una germinación del 85-95 %.

Evaluación del comportamiento agronómico a diferente concentración de las NPs

Para evaluar el comportamiento agronómico a los tratamientos con [NPs Cu y NPs Se] en plántulas de pimiento se preparó un semillero. Para esto, previamente se remojaron las semillas en agua destilada por 30 minutos. Posteriormente, se preparó el almácigo con sustrato en relación 3-1-1 (tierra, turba y perlita), se humectó las celdillas con agua destilada y se colocaron las semillas. Aproximadamente al mes después de la siembra, las plántulas desarrollaron dos hojas verdaderas fotosintéticas y se trasplantaron a vasos que contenían la misma formulación de sustrato.

Los vasos se colocaron sobre un cuadrante metálico de malla, consto de ocho tratamientos, incluyendo el testigo, conformado de 12 unidades experimentales por tratamiento (15 cm entre plántula- 20 cm entre hilera- 30 cm entre tratamiento), con un área total de 7.296 m². Los tratamientos se aplicaron en concentraciones 0, 50, 100 y 150 ppm/L de [NPs Cu y NPs Se], tomando como referencia las investigaciones realizadas por López-Vargas et al. (2018) que emplearon NPs Cu a concentraciones de (50, 125, 250, 500 mg/L) y González-García et al. (2021), quienes señalaron la utilización de NPs Se a concentración de (10 y 50 mg/L).

La aplicación consistió en pulverizar las plántulas tras el trasplante (Alhaithloul et al., 2023), empleando un atomizador calibrado para cada tratamiento, a razón de cinco mililitros por plántula, en tres ocasiones, con intervalos de 15 días. Tomando en cuenta, que las plántulas sin aplicación de NPs fueron rociadas solo con agua destilada. El ensayo en campo duro 72 días desde la germinación, tras el cual cada 7 días se realizaron las evaluaciones.

Las variables evaluadas fueron: altura de planta, número de hojas, número de flores y en la última recopilación de datos se añadió la longitud radicular, peso de raíz, peso seco de plántula.

Análisis estadístico de datos

Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial AxB. La investigación consto con ocho tratamientos y tres réplicas un total de doce plántulas por tratamiento, en donde cada plántula fue una repetición. Los tratamientos se establecieron en: T1 NPs Cu 0 ppm; T2= NPs Cu 50 ppm; T3= NPs Cu 100 ppm; T4= NPs Cu 150 ppm; T5= NPs Se 0 ppm; T6= NPs Se 50 ppm; T7= NPs Se 100 ppm; T8= NPs Se 150 ppm. Los datos recopilados se procesaron a través del Paquete Estadístico (InfoStat versión 2020) y el análisis de variables agronómicas se realizó mediante (ANOVA) y prueba de rangos múltiples Tukey para comparar las diferencias entre medias, en ($p \leq 0.05$).

Resultados y Discusión

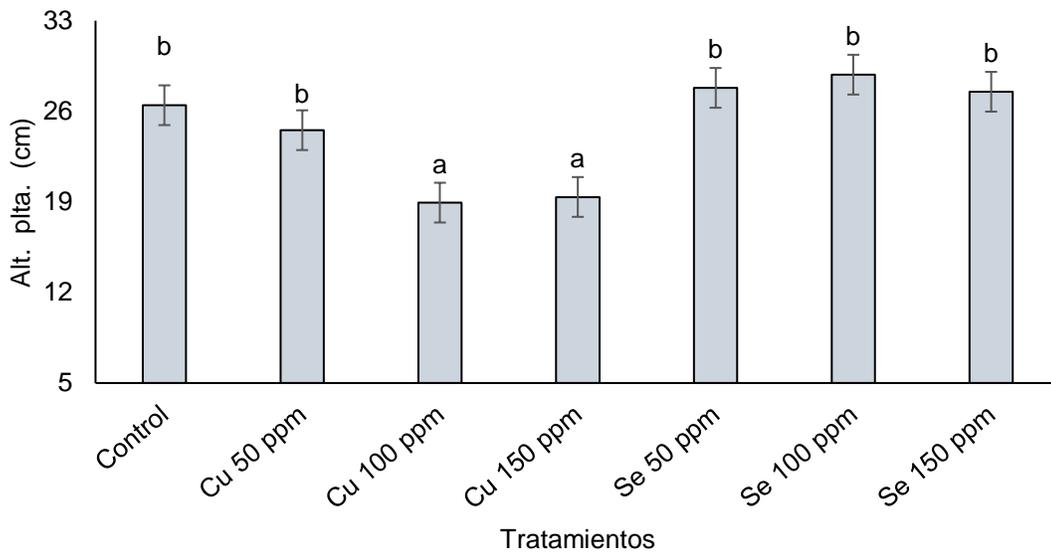
Altura en plántulas

Como se observa en la Figura 1, el crecimiento de las plántulas inoculadas con nanopartículas de cobre y selenio a los 42 días posteriores a la primera aplicación de los tratamientos revela tolerancia y fitotoxicidad hacia las concentraciones evaluadas. Las concentraciones crecientes de cobre infieren en el decrecimiento de la plántula, evidenciando un achaparramiento en comparación con el tratamiento control, el cual

presentó 26.47 cm, corroborando con lo manifestado por Baker et al. (2017), quienes enfatizan que a menor concentración el Cu favorece el crecimiento de las plantas.

Figura 1

Interacción de las nanopartículas y su concentración [NPs Cu y NPs Se]/ 0, 50, 100, 150 ppm sobre la altura de plántula (cm) de C. annuum L., a los 42 días.



NOTA. NPs-nanopartículas; Alt-altura; plta-plántula; ppm-partes por millón; cm-centímetros. Las barras de error indican \pm Error estándar; diferentes letras indican diferencias significativas entre promedios (Tukey $p > 0.05$).

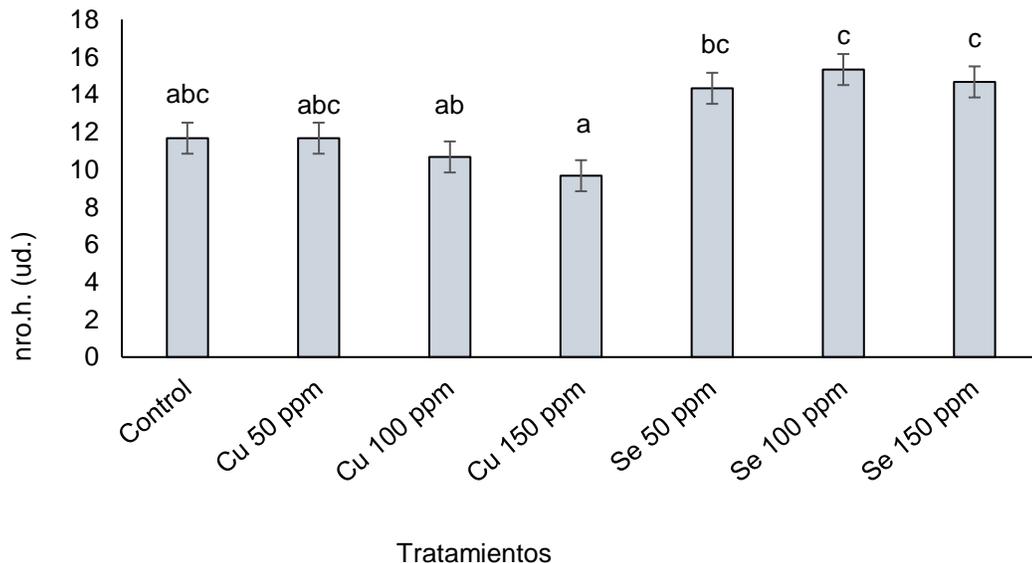
En contraste, el selenio presentó un efecto favorable, observándose mayor desempeño a concentración media con 28.83 cm. Esta concentración presenta un efecto positivo en el crecimiento de la plántula a los 42 días de evaluación, sin embargo, no superó estadísticamente al tratamiento control 26.47 cm. Así pues, los resultados expuestos concuerdan con Jampílek y Králová (2017), al mencionar que los metaloides como el Se también muestra efectos positivos sobre el crecimiento de las plantas. Del mismo modo, Gudkov et al. (2020) y Khaliq et al. (2015) refieren que las nanopartículas de Se a concentraciones bajas mejoran el crecimiento de las plantas.

Número de hojas

En la Figura 2, los resultados exhibieron influencia favorable de las concentraciones de selenio sobre las plántulas, incrementando la cantidad de hojas sobre el tratamiento control y el cobre. La concentración 100 ppm de selenio presentó mayor número de hojas por plántula con 15 unidades, coincidiendo con Taha et al. (2023) quienes señalan en su investigación un incremento en el peso y número de hojas sobre *Phaseolus vulgaris* L. al emplear NPs Se. En cambio, en otra investigación proponen el empleo de 40 mg/L de Se debido a que obtuvo mejores características de desarrollo y un incremento en el número de hojas en plántulas tratadas de *C. annuum* (Hassan et al., 2023).

Figura 2

Interacción de las nanopartículas y su concentración [NPs Cu y NPs Se]/ 0, 50, 100, 150 ppm sobre el número de hojas (ud.) de C. annuum L., a los 42 días.



NOTA. NPs-nanopartícula; ppm- partes por millón; nro.h.-número de hojas; ud.- unidad. Las barras de error indican \pm Error estándar; diferentes letras indican diferencias significativas entre promedios (Tukey $p > 0.05$).

Por otro lado, las concentraciones crecientes del cobre desencadenaron inhibición en la aparición de nuevas hojas, mientras que la concentración más baja presentó una cantidad de hojas igual al tratamiento control con 12 unidades. Lo expuesto concuerda con Adhikari et al. (2012) y Alhaithloul et al. (2023), quienes ostentan que las plantas pueden manifestar efectos subletales al emplear concentraciones altas de Cu o Se lo que incide en la reducción del número de hojas.

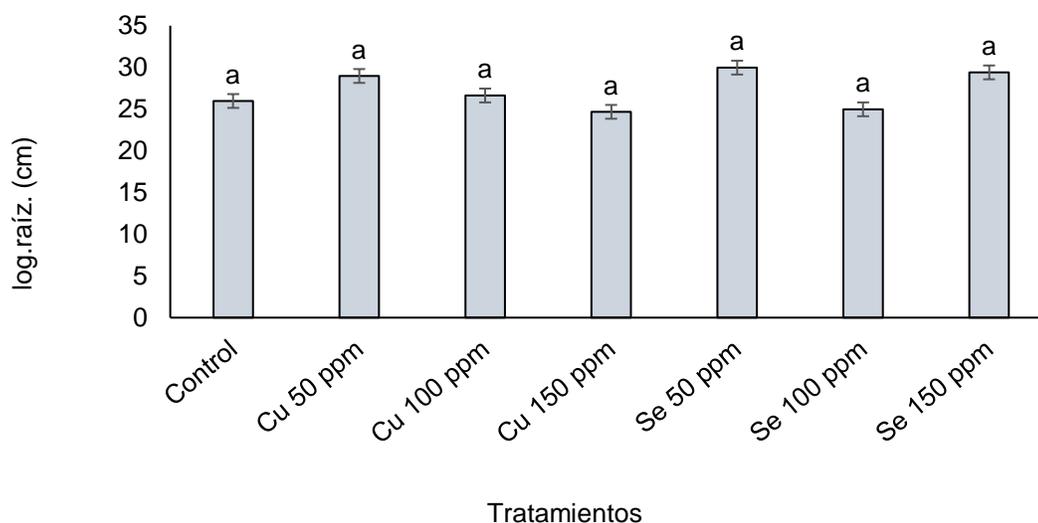
Longitud radicular

Los resultados presentados en la Figura 3, exhiben un efecto favorable de la concentración de 50 ppm de Se en el desarrollo radicular, presentando una longitud de 29.97 cm. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por González-Chávez et al. (2022), quienes sostienen que la aplicación foliar de NPs Se en plántulas de pimiento favorece el desarrollo radicular. Por otro lado, Shekari et al. (2016) encontraron que la aplicación de 5 μ M de Se promovió un desarrollo significativo. Asimismo, González et al. (2020) expusieron efectos positivos en el cultivo de pasto *Festuca arundinacea* al aplicar 4.5 mg de Se, evidenciando mejoras en el crecimiento de las raíces.

En contraste, la concentración 150 ppm de Cu presentó efectos negativos en el desarrollo radicular, registrando una longitud de 24.67 cm. decrecimiento en la longitud de raíz dando apertura al crecimiento de las raíces secundarias, sin embargo, la fitotoxicidad es evidente al observar un decrecimiento en la plántula. Resultados que concuerdan con Hong et al. (2014) quienes manifiestan en su investigación que emplear concentraciones altas de NPs Cu exhibieron decrecimiento en la longitud de raíz de las plántulas de *Lactuca sativa*.

Figura 3

Interacción de las nanopartículas y su concentración [NPs Cu y NPs Se]/ 0, 50, 100, 150 ppm sobre la longitud de raíz (cm) de *C. annuum* L. a los 42 días terminado el ensayo.



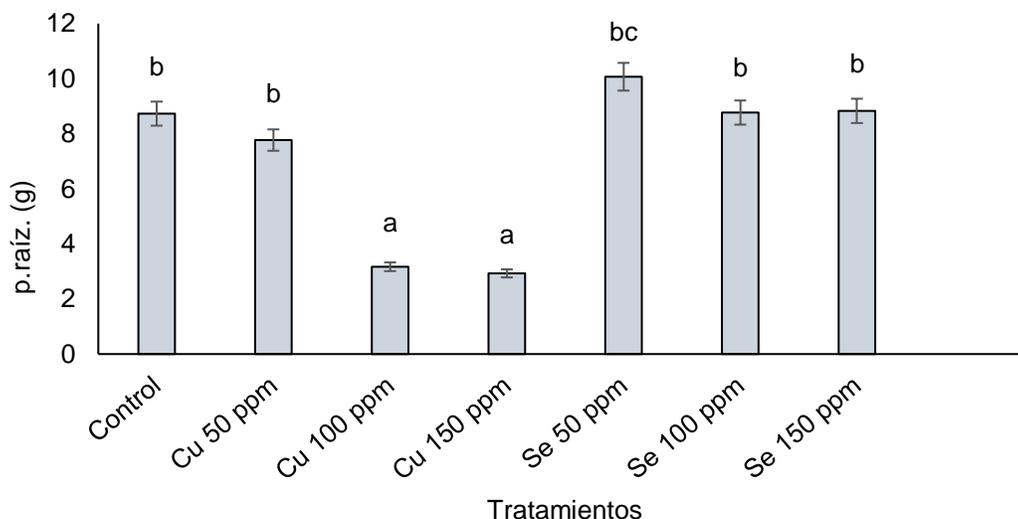
NOTA. NPs- nanopartículas; g- gramo; log- longitud; cm- centímetros; Las barras de error indican \pm Error estándar; diferentes letras indican diferencias significativas entre promedios (Tukey $p > 0.05$).

Peso radicular

La Figura 4, muestra el efecto de las NPs Cu y NPs Se sobre el peso radicular en plántulas de pimiento. El mayor valor se registró con la aplicación de 50 ppm de Se, alcanzando 10.07 g, mientras que el Cu presentó valores inferiores, lo que se atribuye a la reducción en el desarrollo radicular a concentraciones crecientes. Estos resultados coinciden con lo reportado por Geraldo-León et al. (2022), quienes indican que las plantas poseen una capacidad adaptativa a concentraciones moderadas de Cu y Se, activando mecanismos de defensa antioxidante y de detoxificación que atenúan los efectos adversos y permiten optimizar su desarrollo.

Figura 4

Interacción de las concentraciones y tipo de nanopartícula [NPs Cu y NPs Se]/ 0, 50, 100, 150 ppm sobre el peso de raíz (g) de C. annuum L. a los 42 días terminado el ensayo.



NOTA. NPs- nanopartículas; p.- peso; g- gramos; ppm- partes por millón; g- gramos. Las barras de error indican \pm Error estándar; diferentes letras indican diferencias significativas entre promedios (Tukey $p > 0.05$).

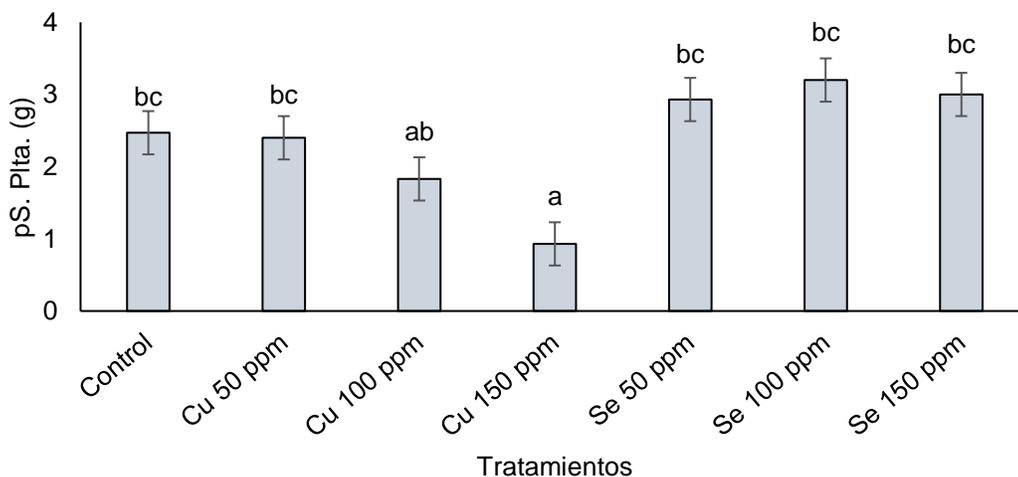
Peso seco de plántula

La Figura 5, expone la tolerancia de las plántulas a las concentraciones aplicadas esto debido a que el achaparramiento de las plántulas y el decrecimiento de la raíz inciden en menor peso seco. El Cu evidenció resultados desfavorables a concentraciones crecientes presentó el promedio más bajo con 0.93 g. en contraste el Se mejoró en el peso seco de plántula, exhibiendo un promedio superior al control con 3.2 g al inocular una concentración de 100 ppm. Estos resultados evidenciaron un efecto positivo en el desarrollo de la plántula de pimiento y una tolerancia a las concentraciones aplicadas. Borbély et al. (2021) manifiestan en su investigación que la aplicación de Se a plántulas de Stevia no generó cambios significativos en el peso fresco de los brotes,

sin embargo, el peso seco se redujo en todos los tratamientos en comparación con el tratamiento sin aplicación. Por el contrario, en esta investigación el peso seco de la plántula de pimienta no se redujo drásticamente después del secado en comparación con el control.

Figura 5

*Interacción de las nanopartículas y su concentración [NPs Cu y NPs Se]/ 0, 50, 100, 150 ppm sobre el peso de raíz (g) de *C. annuum* L. a los 42 días terminado el ensayo.*



NOTA. NPs- nanopartículas; p.S- peso seco; g- gramos; Plta- plántula; g- gramos. Las barras de error indican \pm Error estándar; diferentes letras indican diferencias significativas entre promedios (Tukey $p > 0.05$).

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio indican que las nanopartículas de cobre y selenio tienen efectos diferenciados sobre el desarrollo vegetativo de plántulas de pimienta en etapa de vivero. En particular, el cobre mostró un efecto fitotóxico significativo, afectando negativamente la mayoría de los parámetros de crecimiento evaluados, lo que sugiere una posible limitación o reducción de la concentración para su aplicación en esta fase del cultivo. En contraste, el selenio presentó un

comportamiento más neutro en comparación con el tratamiento control, con algunas mejoras en ciertos parámetros a concentraciones intermedias. No obstante, su efectividad no fue suficiente para promover un desarrollo agronómico óptimo en las plántulas. Aunque estos hallazgos pueden contribuir a una mejor comprensión de los efectos de las nanopartículas aplicadas como una alternativa a la reducción de agroquímicos, requieren futuras investigaciones que permitan comprender mejor el comportamiento agronómico de las plántulas sometidas a la inoculación de nanopartículas de cobre y selenio. Asimismo, es primordial realizar estudios que abarquen todo el ciclo vegetativo, desde la germinación hasta la producción, evaluando su impacto en la formación de frutos y semillas. Además, es crucial analizar la bioacumulación y distribución de las nanopartículas en los tejidos vegetales para determinar posibles efectos secundarios y establecer parámetros seguros para su aplicación en la agricultura.

Referencias Bibliográficas

- Adhikari, T., Kundu, S., Biswas, A., Tarafdar, J. & Rao, A. (2012). Effect of Copper Oxide Nano Particle on Seed Germination of Selected Crops. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2, 815-823.
- Alhaithloul, H., Ali, B., Alghanem, S., Zulfiqar, F., Al-Robai, S., Ercisli, S., Yong, J., Moosa, A., Irfan, E., Ali, Q., Irshad, M. & Abeed, A. (2023). Effect of green-synthesized copper oxide nanoparticles on growth, physiology, nutrient uptake, and cadmium accumulation in *Triticum aestivum* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 268, 115701.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115701>

- Baker, S., Volova, T., Prudnikova, S., Satish, S. & Prasad M. (2017). Nanoagroparticles emerging trends and future prospect in modern agriculture system. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 53, 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2017.04.012>
- Bernal Cabrera, A., Leiva Mora, M., Freile Almeida, J., Soria Re, S., Castro Alban, H., Nazareno Ortiz, R., Lazo Roger, Y. & Rojas Rojas, A. (2023). Agro-productive response of pepper hybrids in a tropical sheltered production system. *Bionatura*, 8(3), 1-10. <https://doi.org/10.21931/RB/2023.08.03.47>
- Bhagat, M., Anand, R., Sharma, P., Rajput, P., Sharma, N. & Singh, K. (2021). Review—Multifunctional Copper Nanoparticles: Synthesis and Applications. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 10(6), 063011. <https://doi.org/10.1149/2162-8777/ac07f8>
- Borbély, P., Molnár, Á., Valyon, E., Ördög, A., Horváth-Boros, K., Csupor, D., Fehér, A. & Kolbert, Z. (2021). The Effect of Foliar Selenium (Se) Treatment on Growth, Photosynthesis, and Oxidative-Nitrosative Signalling of *Stevia rebaudiana* Leaves. *Antioxidants*, 10(1), 72. <https://doi.org/10.3390/antiox10010072>
- Castillo, B., Ruiz, J., Manrique, M. & Pozo, C. (2020). Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete. *Revista Espacios*, 41(10),11. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n10/20411011.html>
- Corozo, L., Chirinos, D., Rezabala, L. & Monteros-Altamirano, A. (2024). Can *Capsicum* spp. genotypes resist simultaneous damage by both *Phytophthora capsici* and *Bemisia tabaci*? Can natural enemies of *Bemisia* complement plant

resistance? *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1275953.
<https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1275953>

Feigl, G. (2023). The impact of copper oxide nanoparticles on plant growth: A comprehensive review. *Journal of Plant Interactions*, 18(1), 2243098.
<https://doi.org/10.1080/17429145.2023.2243098>

García González, C. & Silvar, C. (2020). Phytochemical Assessment of Native Ecuadorian Peppers (*Capsicum* spp.) and Correlation Analysis to Fruit Phenomics. *Plants*, 9(8), 986. <https://doi.org/10.3390/plants9080986>

Geraldo-León, J., Vázquez-Duhalt, R. & Juárez-Moreno, K. (2022). Desbalance del sistema antioxidante causado por la exposición a nanopartículas de óxido de zinc y óxido de cobre. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 15(29), 1-13.
<https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2022.29.69701>

González, U., Pérez, S., Medina, G., Franco, M., Almaraz, I. & Campos, R. (2020). Efecto de la incorporación foliar de Nanopartículas de selenio en el crecimiento y desarrollo de pasto *Festuca arundinacea* variedad Cajun II. Memorias del Congreso Internacional de Investigación *Academia Journals Celaya 2020*, 12(8), 1-173.
<https://static1.squarespace.com/static/55564587e4b0d1d3fb1eda6b/t/5fadd991844f9e409e3ed7b9/1605228987410/Tomo+06+-+Memorias+del+Congreso+Academia+Journals+Celaya+2020.pdf>

- González-Chávez, O., Alejo-Santiago, G., Bugarín-Montoya, R., Juárez-Rosete, C., Arrieta-Ramos, B. & Juárez-López, P. (2022). Concentración y método de aplicación de selenio en plántulas de pimiento. *Biotecnia*, 24(2), 112-119. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i2.1675>
- González-García, Y., Cárdenas-Álvarez, C., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., Cabrera-de-la-Fuente, M., Sandoval-Rangel, A., Valdés-Reyna, J. & Juárez-Maldonado, A. (2021). Effect of Three Nanoparticles (Se, Si and Cu) on the Bioactive Compounds of Bell Pepper Fruits under Saline Stress. *Plants*, 10(2), 217. <https://doi.org/10.3390/plants10020217>
- Gudkov, S., Shafeev, G., Glinushkin, A., Shkirin, A., Barmina, E., Rakov, I., Simakin, A., Kislov, A., Astashev, M., Vodeneev, V. & Kalinitchenko, V. (2020). Production and Use of Selenium Nanoparticles as Fertilizers. *ACS Omega*, 5(28), 17767-17774. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c02448>
- Hassan, M., Belal, H., Abou-Sreea, A. & Rady, M. (2023). Exogenous application of selenium or iodine improves the growth, yield and antioxidant status of *Capsicum annuum* L. *Labyrinth: Fayoum Journal of Science and Interdisciplinary Studies*, 1(1), 76-83. <https://doi.org/10.21608/ifjsis.2023.302841>
- Holguín Burgos, B., Alvarado Aguayo, A., Delgado Delgado, D. & Munzón Quintana, M. (2022). Análisis del comportamiento de tres híbridos de pimiento bajo 2 diferentes sistemas de riego. *Agronomía Costarricense*. <https://doi.org/10.15517/rac.v46i2.52054>

- Hong, J., Rico, C., Zhao, L., Adeleye, A., Keller, A., peralta-vidya, J. & Gardea-Torresdey, J. (2014). Toxic Effects of Copper-based Nanoparticles or Compounds to Lettuce (*Lactuca sativa*) and Alfalfa (*Medicago sativa*). *Environmental science. Processes & impacts*, 17(1), 177-185. <https://doi.org/10.1039/c4em00551a>
- Jampílek, J. & Kráľová, K. (2017). Nanomaterials for Delivery of Nutrients and Growth-Promoting Compounds to Plants. *Nanotechnology: An Agricultural Paradigm*, 177-226. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4573-8_9
- Jhilita, P., Dipta, B. & Rana, A. (2021). *Phytoremediation of Heavy Metals and Radionuclides: Sustainable Approach to Environmental Management* (pp. 83-111). Springer Nature Singapore Pte. https://doi.org/10.1007/978-981-16-5621-7_5
- Juárez-Maldonado, A., Ortega-Ortíz, H., Morales-Díaz, A., González-Morales, S., Morelos-Moreno, Á., Cabrera-De la Fuente, M., Sandoval-Rangel, A., Cadenas-Pliego, G. & Benavides-Mendoza, A. (2019). Nanoparticles and Nanomaterials as Plant Biostimulants. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(1),162. <https://doi.org/10.3390/ijms20010162>
- Khaliq, A., Aslam, F., Matloob, A., Hussain, S., Geng, M., Wahid, A. & ur Rehman, H. (2015). Seed Priming with Selenium: Consequences for Emergence, Seedling Growth, and Biochemical Attributes of Rice. *Biological Trace Element Research*, 166(2), 236-244. <https://doi.org/10.1007/s12011-015-0260-4>

- Lira Saldivar, R., Méndez Argüello, B., Santos Villarreal, G. y Vera Reyes, I. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta universitaria*, 28(2), 9-24. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1575>
- López-Vargas, E., Ortega-Ortiz, H., Cadenas-Pliego, G., De Alba Romenus, K., De la Fuente, M., Benavides-Mendoza, A. & Juárez-Maldonado, A. (2018). Foliar Application of Copper Nanoparticles Increases the Fruit Quality and the Content of Bioactive Compounds in Tomatoes. *Applied Sciences*, 8(7), 1020. <https://doi.org/10.3390/app8071020>
- Martínez, G., Merinero de Los Santos, M., Pérez-Aranda Redondo, M., Perez-Soriano, E., Ortiz, T., Begines, B. & Alcudia, A. (2020). Environmental Impact of Nanoparticles' Application as an Emerging Technology: A Review. *Materials*, 14(1), 166. <https://doi.org/10.3390/ma14010166>
- Mitra, B., Chowdhury, A., Dey, P., Hazra, K., Sinha, A., Hossain, A. & Meena, R. (2021). Use of Agrochemicals in Agriculture: Alarming Issues and Solutions. En R. Bhatt, R. S. Meena, & A. Hossain (Eds.), *Input Use Efficiency for Food and Environmental Security* (pp. 85-122). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-16-5199-1_4
- Olivarez-Rodríguez, J., Apáez-Barrios, P., Raya-Montaño, Y. & Apáez-Barrios, M. (2024). Producción de tomate bajo condiciones protegidas con aplicaciones foliares de nanopartículas metálicas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 15(3). <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i3.3667>

Ortega, J., Cajape, E., Velázquez, R., Campana, W. & Piguave, C. C. (2022). Selección de tres híbridos de pimiento (*Capsicum annuum* L.) para Puerto La Boca, Ecuador : *UNESUM - Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 6(2), 63-72. <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v6.n2.2022.628>

Pérez-Hernández, H., López-Valdez, F., Juárez-Maldonado, A., Méndez-López, A., Sarabia-Castillo, C., García-Mayagoitia, S., Torres-Gómez, A., Valle-García, J. D., Pérez-Moreno. (2024). Implicaciones de los nanomateriales utilizados en la agricultura: Una revisión de literatura de los beneficios y riesgos para la sustentabilidad. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 17(32). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2024.32.69720>

Pulgarín, M., Sánchez, M. & Luna-Romero, A. (2024). Efecto de los microorganismos en el cultivo de *Capsicum annuum* L. bajo acolchado plástico (Original). *Roca. Revista científico-educacional de la provincia Granma*, 20(4), 380-401.

Roy, S. & Hossain, A. (2024). *The Nanotechnology Driven Agriculture: The Future Ahead* (CRC Press). <https://doi.org/10.1201/9781003376446>

Samynathan, R., Venkidasamy, B., Ramya, K., Muthuramalingam, P., Shin, H., Kumari, P., Thangavel, S. & Sivanesan, I. (2023). A Recent Update on the Impact of Nano-Selenium on Plant Growth, Metabolism, and Stress Tolerance. *Plants*, 12(4), 853. <https://doi.org/10.3390/plants12040853>

Shekari, L., Kamelmanesh, M., Mozafarian, M. & Sadeghi, F. (2016). Beneficial Effects of Selenium on Some Morphological and Physiological Trait of Hot Pepper

(*Capsicum annuum*). *Journal Of Horticultural Science*, 29(4), 594-600.
<https://doi.org/10.22067/jhorts4.v29i4.32110>

Shende, S., Bhagat, R., Raut, R., Rai, M. & Gade, A. (2021). Myco-Fabrication of Copper Nanoparticles and Its Effect on Crop Pathogenic Fungi. *IEEE Transactions on NanoBioscience*, 20(2), 146-153. *IEEE Transactions on NanoBioscience*. <https://doi.org/10.1109/TNB.2021.3056100>

Taco-Huancara, D., Mena, L. & Zegarra-Aymara, L. (2024). Comportamiento agronómico y rentabilidad de híbridos de *Capsicum annuum* L. cv. Ancho San Luis cultivados en campo abierto en Perú. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 40, 23-32. <https://doi.org/10.29393/CHJAAS40-3CADL30003>

Taha, N., Hamden, S., Bayoumi, Y., Elsakhawy, T., El-Ramady, H. & Solberg, S. (2023). Nanofungicides with Selenium and Silicon Can Boost the Growth and Yield of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and Control Alternaria Leaf Spot Disease. *Microorganisms*, 11(3), 728. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11030728>

Yeboah, S., Hong, S., Park, Y., Choi, J. & Eum, H. (2023). Postharvest Quality Improvement of Bell Pepper (*Capsicum annuum* L. cv Nagano) with Forced-Air Precooling and Modified Atmosphere Packaging. *Foods*, 12(21), 3961. <https://doi.org/10.3390/foods12213961>

Zainab, R., Hasnain, M., Ali, F., Abideen, Z., Siddiqui, Z. S., Jamil, F., Hussain, M. & Park, Y. (2024). Prospects and challenges of nanopesticides in advancing pest management for sustainable agricultural and environmental service.

Environmental Research, 261, 119722.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119722>