

Concentración y método de aplicación de selenio en plántulas de pimiento

Concentration and application method of selenium in pepper seedlings

González-Chávez O¹, Alejo-Santiago G², Bugarín-Montoya R², Juárez-Rosete CR^{2*}, Arrieta-Ramos BG², Juárez-López P³

¹ Doctorado en Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit. Km 9, Carretera Tepic-Compostela, Xalisco, Nayarit, México.

² Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit. Km 9, Carretera Tepic-Compostela, Xalisco, Nayarit, México.

³ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Avenida Universidad 1001 Col. Chamilpa, CP 62209, Cuernavaca, Morelos, México.

RESUMEN

El selenio (Se) es considerado un elemento benéfico para las plantas; sin embargo, concentraciones elevadas pueden causar trastornos fisiológicos y morfológicos. El objetivo del estudio, fue identificar la concentración y método de aplicación de Se que permita la obtención de plántulas de calidad en cultivo de pimiento, por ello, se establecieron dos experimentos bajo condiciones de invernadero cultivados en solución nutritiva. En el experimento 1, para aplicación radical, se cultivaron plántulas en solución nutritiva enriquecida con Se en forma de Na_3SeO_4 en concentraciones de: 0.0, 1.0, 2.5, 5.0 y 10.0 μM . En el experimento 2, para aplicación foliar, las plántulas se asperjaron con Se en forma de Na_3SeO_4 en concentraciones de 0, 5, 10, 25 y 50 μM . En cada experimento se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones por tratamiento. El suministro de 1 y 5 μM de Se mediante aplicación radical y foliar respectivamente, estimularon el crecimiento de las plántulas de pimiento, asimismo, la presencia de Se en ambos métodos de aplicación, aumentó la concentración de pigmentos fotosintéticos en hojas. El Se mejoró la calidad de las plántulas, al inducir respuestas favorables en el crecimiento y concentración de pigmentos fotosintéticos.

Palabras clave: selenito de sodio; raíz; foliar; cultivo sin suelo.

ABSTRACT

Selenium (Se) is considered a beneficial element for plants; however, high concentrations can cause physiological and morphological disorders. The objective of the study was to identify the Se concentration and application method that allow obtaining quality seedlings in pepper cultivation, therefore, two experiments were established under greenhouse conditions cultivated in nutrient solution. In experiment 1, for root application, seedlings were grown in a nutrient solution enriched with Se in the form of Na_3SeO_4 at concentrations of: 0.0, 1.0, 2.5, 5.0 and 10.0 μM . In experiment 2, for foliar application, the seedlings were sprayed with Se in the form of Na_3SeO_4 at concentrations of 0, 5, 10, 25 and 50 μM . In each experiment, a completely randomized experimental design with five replications per treatment was used. The supply of 1 and 5 μM of Se through root and foliar application, respec-

tively, stimulated the growth of pepper seedlings, similarly, the presence of Se in both application methods increased the concentration of photosynthetic pigments in leaves. Se improved seedling quality by inducing favorable responses in growth and concentration of photosynthetic pigments.

Keywords: sodium selenite; root; foliar; soilless culture.

INTRODUCCIÓN

El uso de plántulas producidas en contenedores está aumentando como resultado de la creciente demanda de hortalizas en el mercado (Wang *et al.*, 2021). Los principales criterios morfológicos utilizados para describir la calidad de plántulas son: altura, crecimiento radical, diámetro de tallo, área foliar y acumulación de biomasa seca (Qin y Leskovar, 2020; Mendivil-Lugo *et al.*, 2020). Plántulas de baja calidad suelen ser el factor limitante del potencial de rendimiento de un cultivo (Simkin *et al.*, 2019); sin embargo, si la calidad es alta, tienen mayor tasa de supervivencia, mejor desarrollo en campo y uso eficiente de recursos, lo que eventualmente se traduce en mayor rendimiento y rentabilidad para los agricultores (Geshnizjani *et al.*, 2019).

Uno de los principales factores que influyen en la calidad de las plántulas es la composición de la solución nutritiva (Reyes-Pérez *et al.*, 2020). Elementos como silicio, lantano, vanadio y selenio se utilizan en la preparación de soluciones nutritivas como bioestimulantes en la producción de plántulas, debido que promueven el crecimiento y desarrollo, sin embargo, la información es escasa, por lo que es conveniente realizar más investigación para dilucidar la correcta aplicación y concentración de estos elementos (Trejo-Téllez *et al.*, 2020).

El Se es un elemento benéfico para las plantas en concentraciones bajas. Los beneficios fisiológicos que brinda son mayor resistencia contra el estrés oxidativo (Galić *et al.*, 2021); tolerancia contra estrés biótico y abiótico (Hasanuzzaman *et al.*, 2020); incremento en la síntesis de pigmentos fotosintéticos y actividad fotosintética (Lanza y Reis, 2021); mayor crecimiento en plantas y rendimiento de los cultivos (Luo *et al.*, 2020). Sin embargo, si las concentraciones de Se son altas, pueden provocar toxicidad debido al cambio de estructura y función de las proteínas, así como inducir estrés oxidativo, lo

que conduce a la alteración de varios procesos metabólicos (Hasanuzzaman *et al.*, 2020).

El efecto benéfico o tóxico de Se dependerá de la concentración y método de aplicación (Yin *et al.*, 2019). Las concentraciones utilizadas mediante aplicación foliar suelen ser mayores, respecto a la vía radical, debido al menor tiempo de contacto y absorción de las soluciones a través de las hojas (Nawaz *et al.*, 2014). Así mismo, el margen entre los niveles benéficos y tóxicos es muy estrecho, y concentraciones fuera de este rango, pueden causar alteraciones en el crecimiento y fisiología de la planta (Dawood *et al.*, 2020).

En el caso de cultivo comercial del pimiento, la fase de plántula es la más crítica y un crecimiento inicial vigoroso, será fundamental para el establecimiento en campo (Qin y Leskovar, 2020); sin embargo, no existe información suficiente sobre el efecto del Se en la producción de plántulas de pimiento, por ello, la generación de nuevo conocimiento técnico y científico acerca de los efectos del Se en el crecimiento de pimiento, permitirá un uso adecuado en la horticultura en función de su concentración y método de aplicación (Wang *et al.*, 2021). En este contexto, el objetivo de esta investigación fue identificar la concentración y método de aplicación de Se que permita la obtención de plántulas de calidad en cultivo de pimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El estudio se realizó bajo condiciones de invernadero, en un sistema de cultivo en solución nutritiva, ubicado en la Unidad Académica de Agricultura, Xalisco estado de Nayarit, durante el periodo del 18 de junio al 16 de agosto del 2021.

Material vegetal y condiciones de crecimiento

Se emplearon semillas de pimiento variedad Prosperity y se germinaron en charolas de poliestireno de 200 cavidades utilizando turba vegetal (Sunshine® #3). A los 21 días posteriores a la emergencia, las plántulas se trasplantaron en placas flotantes de poliestireno en contenedores de 1.7 L con solución nutritiva de Steiner al 50 % modificada de acuerdo a González-Chávez *et al.* (2019) (Tabla 1). Después de un periodo de adaptación de siete días, se establecieron dos experimentos independientes, que consistieron cada uno en 50 plántulas distribuidas en 25 contenedores de 1.7 L y dos plántulas por contenedor, dando inicio con la aplicación de los tratamientos.

Tabla 1. Composición química de la solución nutritiva empleada.

Table 1. Chemical composition of the nutrient solution used.

NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	PO	C.E.	pH
meq·L ⁻¹							atm	dS·m ⁻¹	
6.750	0.405	2.840	3.235	4.160	1.850	0.750	-0.360	1 ± 0.1	6.0 ± 0.1

PO: presión osmótica; atm: atmósferas.

Tratamientos

Experimento 1. Aplicación de Se vía radical: las soluciones nutritivas se enriquecieron con Se como Na₂SeO₃ (Sigma-Aldrich) en concentraciones de 1.0, 2.5, 5.0 y 10.0 μM y un testigo sin Se. Las plántulas se cultivaron durante un periodo de 21 días.

Experimento 2. Aplicación de Se vía foliar: las plántulas se asperjaron con agua destilada enriquecida con Se como Na₂SeO₃ (Sigma-Aldrich) en concentraciones de 5, 10, 25 y 50 μM y un testigo sin Se. Las aplicaciones se realizaron a intervalos de 7 días durante un periodo de 21 días.

Las soluciones nutritivas para ambos experimentos se prepararon con agua destilada; se renovó cada siete días y cada 48 h se adicionó la solución perdida por evapotranspiración. La oxigenación de la solución se realizó mediante una bomba de aire ACQ-906 y se activó durante cinco minutos a intervalos de una hora, obteniéndose 4.3 ± 0.2 mg·L⁻¹ de oxígeno disuelto en solución. Se registró dentro del invernadero una temperatura media diaria de 26.53 °C.

Diseño experimental

En ambos experimentos el diseño experimental fue completamente al azar, con cinco repeticiones por tratamiento; la unidad experimental consistió en dos plántulas colocadas en un contenedor.

Variables respuesta

Veintiún días después de iniciados los tratamientos, se procedió con la determinación de las variables respuesta. La concentración de pigmentos fotosintéticos, correspondientes a clorofila *a* (Cl_a), *b* (Cl_b), total (Cl_{total}) y carotenoides (C_{x+c}), se realizó mediante la metodología de Lichtenthaler y Wellburn (1983). Se muestrearon hojas maduras jóvenes y se pesaron 25 mg de tejido foliar fresco provenientes del centro del limbo foliar, sin considerar la nervadura principal; se maceraron en 2 mL de acetona RA J.T. BAKER al 80 %, previamente refrigerada (4 °C). El extracto resultante se centrifugó a 2500 rpm durante 10 minutos en una centrifuga MC-CENTRIF6°. Se separó el sobrenadante y se ajustó a 2 mL. Se midió la absorbancia a 470, 646 y 663 nm en el espectrofotómetro UV-VIS HE170800°. Las concentraciones se calcularon mediante las siguientes fórmulas:

$$Cl_a = 12.21 A_{663} - 2.81 A_{646}$$

$$Cl_b = 20.13 A_{646} - 5.03 A_{663}$$

$$Cl_{total} = (Cl_a + Cl_b)$$

$$C_{x+c} = \frac{[1000 A_{470} - 3.27 (Cl_a) - 104 (Cl_b)]}{229}$$

Para el crecimiento de plántulas se consideró las siguientes variables: altura, se midió desde la base del tallo al ápice de crecimiento; diámetro de tallo, se midió a un cm de la base del tallo con un vernier digital; número de hojas,

se contabilizó la cantidad de hojas desarrolladas; longitud de raíz, se midió desde la base del tallo hasta el ápice de la raíz principal; volumen de raíz, se determinó mediante el desplazamiento del agua al sumergir la raíz dentro de una probeta graduada con volumen de agua conocido; área foliar, se determinó mediante un integrador de área foliar CI-202[®]; biomasa seca total acumulada, las muestras de raíz, hoja y tallos se secaron en una estufa de aire forzado Felisa FE293AD[®] a 70 °C hasta alcanzar peso constante y posteriormente se pesaron en una balanza digital Ek-200i[®].

Análisis estadístico

Para cada experimento, los datos obtenidos de las variables respuesta consideradas en los tratamientos experimentales se sometieron a un análisis de varianza y prueba de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el programa estadístico SAS[®].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables de crecimiento

En el experimento 1, con aplicación de Se vía radical, se observaron diferencias en la mayoría de las variables de crecimiento, excepto altura y número de hojas, mientras que, para el experimento 2, con aplicación foliar de Se, únicamente mostró diferencias para longitud de raíz, área foliar y biomasa seca de tallos y hojas.

Diámetro de tallo. El suministro de Se mediante aplicación radical, no afectó el diámetro de tallo en concentraciones inferiores de 5 μM , mientras que 10 μM causaron reducción en 18.18 % respecto al testigo. No obstante, las distintas concentraciones de Se mediante aplicación foliar, no mostraron diferencias significativas para esta variable (Figura 1).

Esto concuerdan con lo reportado por Sabatino *et al.* (2019) en cultivo de endivia rizada (*Cichorium endivia* L. var. Crispum Hegi), donde el suministro de 8 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de Se mediante aplicación radical, redujo el diámetro de tallo. Ślusarczyk *et al.* (2015) reportaron que el suministro de altas concentraciones de Se aunado a un tiempo prolongado de exposición, pueden causar disminución en la división celular, lo que contribuye a una reducción en el diámetro de tallo.

Longitud de raíz. La longitud de raíz obtuvo el valor más alto con el suministro de 2.5 μM de Se mediante aplicación radical, con un incremento del 22.98 % respecto al testigo. Mientras que, para aplicación foliar, la concentración que favoreció la longitud de raíz fue con 5 μM (Figura 2). Resultados similares reportaron Shekari *et al.* (2016), en cultivo de chile picante (*Capsicum annum* L. cv. Kenya), donde el suministro de 5 μM de Se mediante aplicación radical, aumentó el crecimiento de las raíces. Sin embargo, en cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) la aplicación foliar de 0.5 μM de Se favoreció la longitud de raíz (Lei *et al.*, 2018).

Volumen de raíz. El volumen de raíz aumentó con las concentraciones de Se en aplicación radical hasta 2.5 μM , mientras que concentraciones más altas la disminuyeron.

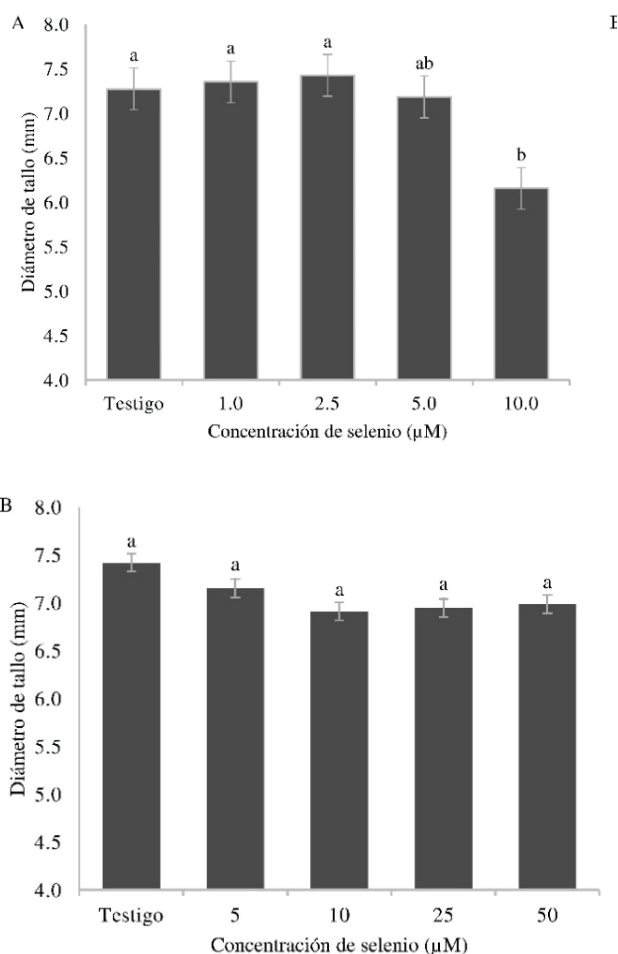


Figura 1. Diámetro de tallo en función del método de aplicación y concentración de selenio. (A) radical; (B) foliar. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figure 1. Stem diameter as a function of application method and selenium concentration. (A) root; (B) foliar. Means with different letters indicate statistically significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$).

El volumen de raíz no se modificó por la aplicación foliar de Se (Figura 3). Resultados similares reportaron Mozafariyan *et al.* (2017) en plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* L. cv. Foria), donde el suministro de 3 μM de Se mediante aplicación radical aumentó el volumen de raíz. Sun *et al.* (2010) afirmaron que el Se en concentraciones bajas, mejora la meiosis de los meristemos celulares de las raíces, lo que resulta en un aumento de la longitud y volumen de raíz.

Área foliar. El suministro de 1 μM de Se mediante aplicación radical, obtuvo el valor más alto; sin embargo, conforme aumentó la concentración, disminuyó hasta 25.20 %. La aplicación foliar de 5 μM de Se incrementó 13.81 % el área foliar respecto al testigo; mientras que, aplicaciones más altas causaron que disminuyera (Figura 4). Las hojas son muy sensibles a condiciones de estrés, como el provocado por altas concentraciones de Se, lo cual causa disminución en la expansión foliar (Hatamian *et al.*, 2020).

Biomasa seca. Para la acumulación de biomasa seca, el suministro de Se mediante aplicación radical promovió

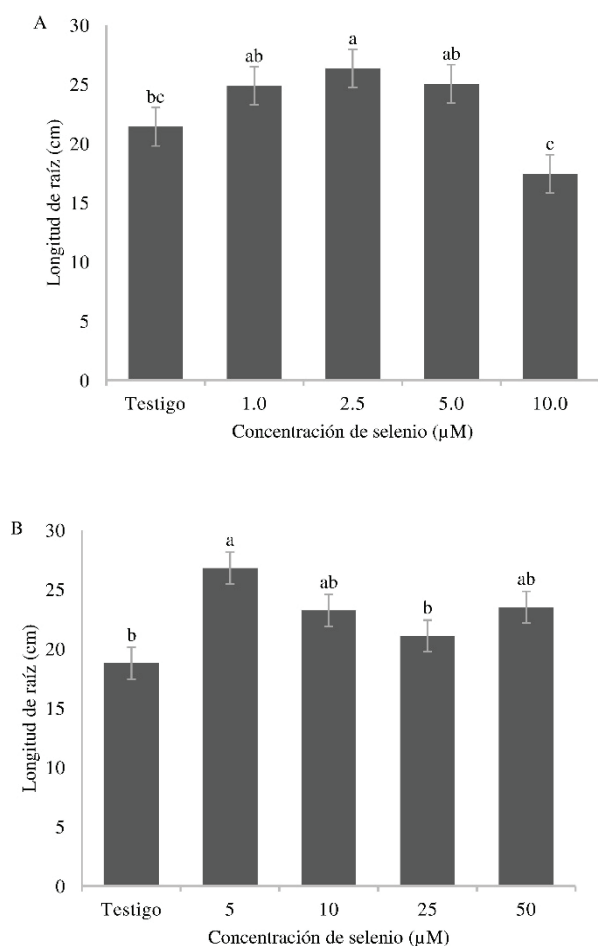


Figura 2. Longitud de raíz en función del método de aplicación y concentración de selenio. (A) radical; (B) foliar. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figure 2. Root length as a function of application method and selenium concentration. (A) root; (B) foliar. Means with different letters indicate statistically significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$).

diferencias en todos los órganos estudiados. Los valores más altos se obtuvieron con la concentración de 1.0 μM , con un incremento de 15.44, 16.10 y 27.50 % para raíces, tallos y hojas, respectivamente, comparado con el testigo. Lo que evidenció la mayor acumulación de biomasa seca total (Figura 5).

La estimulación del crecimiento podría deberse a un aumento en el contenido de almidón en los cloroplastos, así como la protección de las membranas celulares contra la peroxidación lipídica (Sun *et al.*, 2010). Además, Borbély *et al.* (2021) mencionaron que la promoción del crecimiento podría deberse al aumento en el nivel y señalización del ácido indol-3-acético, que se incrementa en respuesta al tratamiento con Se.

La aplicación foliar de Se no mostró diferencias para biomasa seca radical y total; sin embargo, sí modificó la biomasa seca en tallos y hojas. La concentración que favoreció la mayor acumulación de biomasa seca para tallo fue 5 μM con aumento del 42.97 % respecto al testigo, mientras que

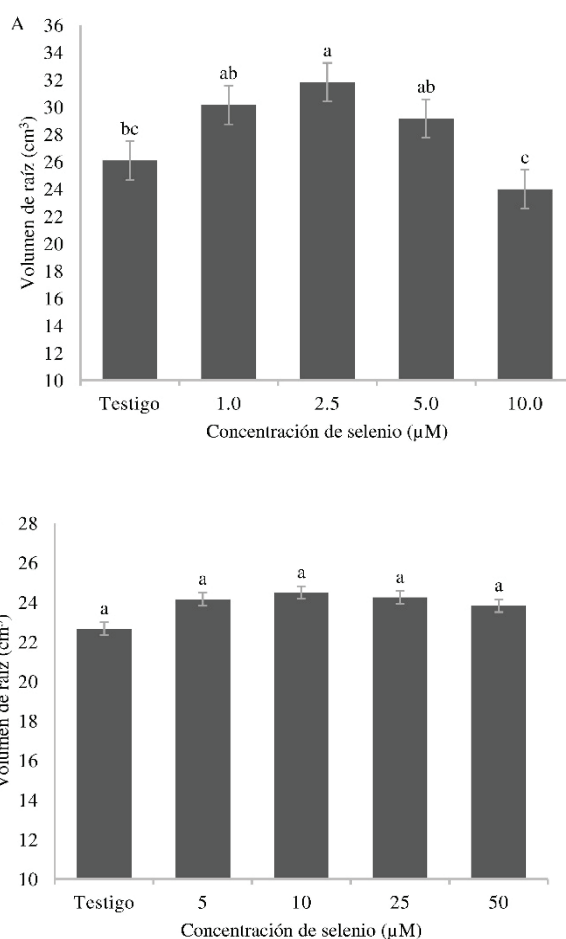


Figura 3. Volumen de raíz en función del método de aplicación y concentración de selenio. (A) radical; (B) foliar. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figure 3. Root volume as a function of application method and selenium concentration. (A) root; (B) foliar. Means with different letters indicate statistically significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$).

la mayor acumulación de biomasa seca en hoja se obtuvo con 25 μM (Figura 6). Borbély *et al.* (2021) afirmaron que la aplicación foliar de Se no induce crecimiento general de la planta, sino un cambio de distribución de biomasa, como se observa en los resultados de la presente investigación. La aplicación foliar de Se aumenta la concentración de este elemento en hojas y se redistribuye a los tallos a través del floema, por esta razón, los efectos variables en la biomasa se reflejan mayormente en órganos aéreos comparados con la raíz (Xia *et al.*, 2020).

En general, la mayor respuesta en las variables de estudio se obtuvieron con el suministro de Se mediante aplicación radical comparado con aplicación foliar, esto pudiera deberse a que las gotas generadas por aspersión se evaporan en minutos o segundos después de ser depositadas sobre la superficie de las hojas, reduciendo así el tiempo de contacto y absorción de Se en la planta (Tredenick *et al.*, 2021), mientras que, mediante aplicación a la raíz, el tiempo de contacto y acumulación de Se es mayor (Sabatino *et al.*, 2019).

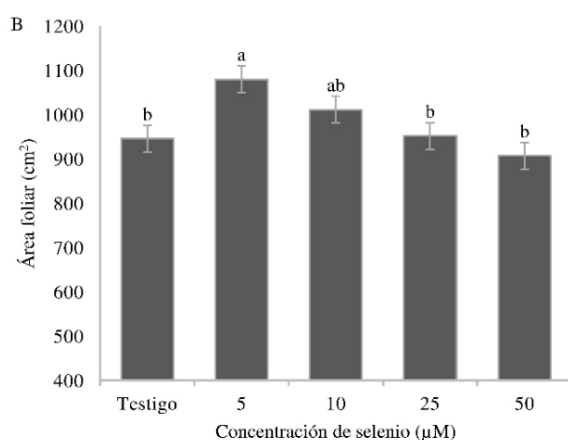
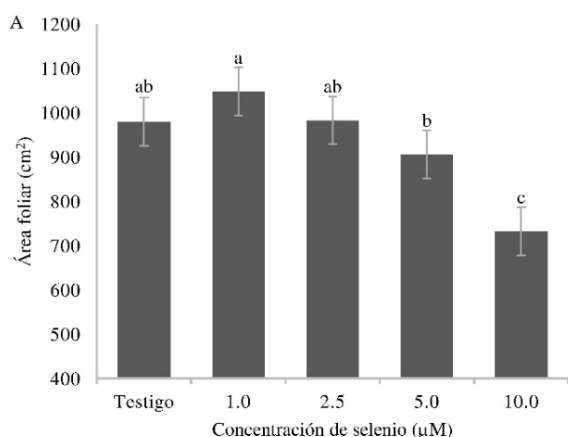


Figura 4. Área foliar en función del método de aplicación y concentración de selenio. (A) radical; (B) foliar. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figure 4. Leaf area as a function of application method and selenium concentration. (A) root; (B) foliar. Means with different letters indicate statistically significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$).

El aumento en el crecimiento de las plántulas de pimiento, con las concentraciones bajas de Se mediante ambos métodos de aplicación, sugieren un aumento en el potencial de rendimiento en etapa de producción. Esto es congruente con Qin y Leskovar (2020) en cultivo de pimiento (*Capsicum annum* cv. Hunter) y tomate bola (*Solanum lycopersicum* cv. HM1823) quienes obtuvieron mayores rendimientos cuando se utilizaron plántulas con mayor crecimiento radical y biomasa seca en raíz, tallos y hojas, comparada con aquellas con menor desarrollo. Esto sugiere el potencial del Se para mejorar la calidad de plántulas y rendimiento postrasplante de pimiento.

Pigmentos fotosintéticos

El suministro de 10 µM de Se mediante aplicación radical aumentó la concentración de clorofila *a* y *b* en 11.15 y 21.34 % respectivamente comparadas con el testigo. De igual manera, la mayor concentración de clorofila total, se obtuvo con el suministro de 10 µM. Para la concentración de carotenoides, no hubo diferencia entre los niveles crecientes de Se, pero sí respecto al testigo, el cual aumentó 60.46 %

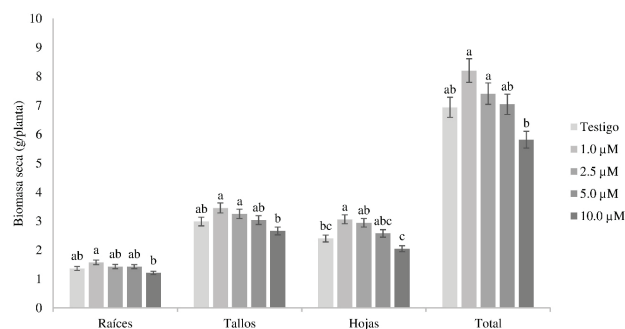


Figura 5. Biomasa seca en función de la concentración de selenio mediante aplicación radical. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figure 5. Dry biomass as a function of selenium concentration by root application. Means with different letters indicate statistically significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$).

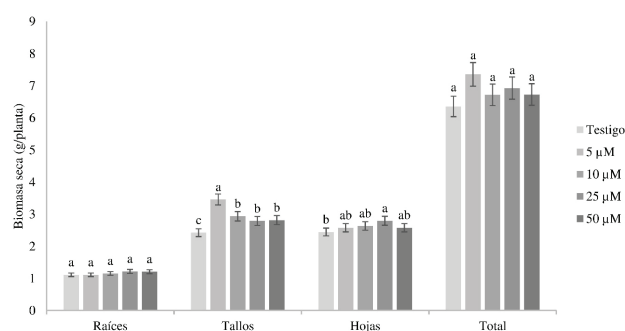


Figura 6. Biomasa seca en función de la concentración de selenio mediante aplicación foliar. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figure 6. Dry biomass as a function of selenium concentration by foliar application. Means with different letters indicate statistically significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$).

con 1.0 µM (Figura 7).

De manera similar, Mozafariyan *et al.* (2017) reportaron un aumento en la concentración de clorofila *a*, *b* y total en hojas de plántula de tomate (*Lycopersicon esculentum* L. cv. Foria) con el suministro de 7 µM de Se mediante aplicación radical y aumento en el contenido de carotenoides con 3 µM. Por otra parte, en plántulas de chile picante (*Capsicum annum* L. cv. Kenya), el suministro superior a 5 µM de Se, causaron un decremento en la concentración de clorofilas *a*, *b* y total, mientras que la concentración de carotenoides, no se modificó por la presencia de Se (Shekari *et al.*, 2016).

El aumento en la concentración de pigmentos con la concentración más alta de Se, pudiera deberse al estrés provocado en las células por la disminución en el contenido de agua. Liang *et al.* (2019) reportaron un menor contenido relativo de agua en plántulas de trigo (*Oryza sativa* L.) sometidas a concentraciones altas de Se, lo cual, provoca déficit hídrico en las células y como consecuencia un aumento en el contenido de clorofila debido a la generación de mayor número de tilacoides como mecanismo de defensa (García-Valenzuela *et al.*, 2005).

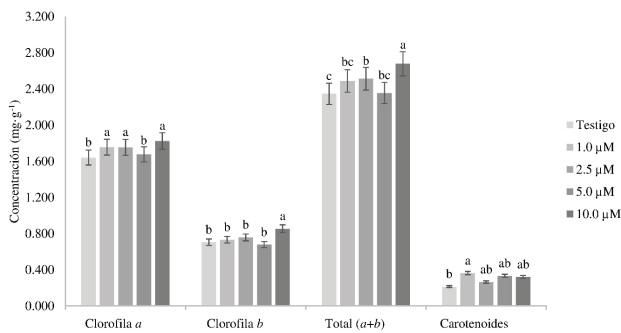


Figura 7. Concentración de pigmentos fotosintéticos en hojas de plántulas de pimienta en función de la concentración de selenio mediante aplicación radical. Medias con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figure 7. Photosynthetic pigments concentration in leaves of pepper seedlings as a function of selenium concentration by root application. Means with different letters indicate statistically significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$).

Para el caso de la aplicación foliar de Se, la concentración de clorofila *a* y *b*, fue mayor con 10 μM , pero disminuyó conforme aumentó la concentración de Se. De igual manera, el mayor valor de clorofila total se obtuvo con la aplicación de 10 μM , mientras que la más baja se obtuvo en el testigo. La concentración de carotenoides obtuvo su valor más alto con la aplicación de 5 μM , superando en 26.44 % al testigo (Figura 8). Resultados similares reportaron Huang *et al.* (2020) en plántulas de camote (*Ipomoea batatas* L.), donde el contenido de clorofila total aumentó con la aplicación foliar de 1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de Se.

En general, la concentración de pigmentos fotosintéticos aumentó en presencia de Se en ambos métodos de aplicación, esto pudiera deberse a que el Se actúa como cofactor en reacciones enzimáticas implicadas en la biosíntesis del cloroplasto, lo que provoca un aumento de pigmentos fotosintéticos (Feng *et al.*, 2013). Además, el Se estimula el metabolismo de enzimas responsables de la eliminación de especies reactivas de oxígeno, como superóxido dismutasa, catalasa y ascorbato peroxidasa (Gutiérrez-Martínez *et al.*, 2020), lo que reduce el daño a los cloroplastos y disminuye la degradación de pigmentos fotosintéticos (Lanza y Reis, 2021).

Las clorofilas son los pigmentos predominantes en el proceso fotosintético; mientras mayor sea su concentración, mayor será la tasa de fijación de CO_2 y, por tanto, mayor será la acumulación de biomasa en la planta (Waraich *et al.*, 2020). No obstante, esto difiere con la presente investigación. La mayor acumulación de clorofilas se obtuvo con la concentración de 10 μM de Se mediante ambos métodos de aplicación, mientras que la mayor acumulación de biomasa se obtuvo con las concentraciones más bajas de Se.

Esto pudiera explicarse debido a que el Se influye en la absorción, distribución y utilización de la energía durante el proceso fotosintético (Borbély *et al.*, 2021). Concentraciones altas de Se causan un aumento en la fluorescencia mínima o inhibición en la fluorescencia máxima, lo que implica una

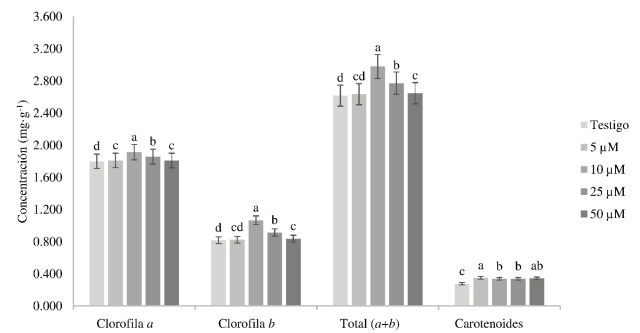


Figura 8. Concentración de pigmentos fotosintéticos en hojas de plántulas de pimienta en función de la concentración de selenio mediante aplicación foliar. Medias con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figure 8. Photosynthetic pigments concentration in leaves of pepper seedlings as a function of selenium concentration by foliar application. Means with different letters indicate statistically significant differences (Tukey, $p \leq 0.05$).

reducción del rendimiento cuántico del fotosistema II, causando fotoinhibición y por consiguiente la fijación de CO_2 y acumulación de biomasa disminuyen independientemente de la concentración de clorofilas (Kacjan Maršič *et al.*, 2019). Asimismo, las plantas cierran sus estomas como respuesta a condiciones de estrés por altas concentraciones de Se, por tanto, la fijación de CO_2 y generación de biomasa se inhiben a pesar de tener una mayor concentración de pigmentos fotosintéticos (Jiménez-Suanca *et al.*, 2015).

CONCLUSIÓN

El suministro de 1 μM de selenio mediante aplicación radical y 5 μM de selenio mediante aplicación foliar, estimularon el crecimiento en las plántulas de pimienta, no obstante, se observó un efecto negativo en concentraciones más altas. La concentración de pigmentos fotosintéticos en hojas de pimienta, aumentaron en respuesta a la presencia de selenio mediante ambos métodos de aplicación. Este estudio demuestra que el selenio tiene un uso potencial en la horticultura como bioestimulante, al inducir respuestas favorables en la producción y generación de plántulas de calidad de pimienta.

REFERENCIAS

- Borbély, P., Molnár, Á., Valyon, E., Ördög, A., Horváth-Boros, K., Csupor, D., Fehér, A. y 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.
- Dawood, M.G., Sadak, M.S., Bakry, B.A. y Kheder, H.H. 2020. Effect of glutathione and/or selenium levels on growth, yield, and some biochemical constituents of some wheat cultivars grown under sandy soil conditions. *Bulletin of the National Research Centre*. 44(1): 1-11.
- Feng, R., Wei, C., y Tu, S. 2013. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. *Environmental and experimental botany*. 87: 58-68.

- Galić, L., Vinković, T., Ravnjak, B., y Lončarić, Z. 2021. Agronomic biofortification of significant cereal crops with selenium—A review. *Agronomy*. 11(5): 1015.
- García-Valenzuela, X., García-Moya, E., Rascón-Cruz, Q., Herrera-Estrella, L., y Aguado-Santacruz, G.A. 2005. Chlorophyll accumulation is enhanced by osmotic stress in graminaceous chlorophyll cells. *Journal of plant physiology*. 162(6): 650-661.
- Geshnizjani, N., Sarikhani Khorami, S., Willems, L.A., Snoek, B.L., Hillhorst, H.W., y Ligterink, W. 2019. The interaction between genotype and maternal nutritional environments affects tomato seed and seedling quality. *Journal of experimental botany*. 70(10): 2905-2918.
- González-Chávez O., Bugarín-Montoya R., Alejo-Santiago G., y Juárez-Rosete C.R., 2019. Relación $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ en plantas de pimiento morrón con despunte temprano. *Revista Bio Ciencias*. 6, e548.
- Gutiérrez-Martínez, P.B., Torres-Morán, M.I., Romero-Puertas, M.C., Casas-Solís, J., Zarazúa-Villaseñor, P., Sandoval-Pinto, E., y Ramírez-Hernández, B.C. 2020. Assessment of antioxidant enzymes in leaves and roots of *Phaseolus vulgaris* plants under cadmium stress. *Biotecnia*. 22(2): 110-118.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M.H.M., Raza, A., Hawrylak-Nowak, B., Matraszek-Gawron, R., Nahar, K. y Fujita, M. 2020. Selenium toxicity in plants and environment: biogeochemistry and remediation possibilities. *Plants*. 9(12): 1711.
- Hatamian, M., Nejad, A.R., Kafi, M., Souri, M.K. y Shahbazi, K., 2020. Interaction of lead and cadmium on growth and leaf morphophysiological characteristics of European hackberry (*Celtis australis*) seedlings. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 7(1): 1-8.
- Huang, C., Yu, M., Sun, L., Qin, N. y Wei, L., 2020. Physiological responses of sweet potato seedlings under drought-stress conditions with selenium applications. *Journal of Agricultural and Crop Research*. 8(5): 98-112.
- Jiménez-Suancha, S.C., Alvarado, O.H., y Balaguera-López, H.E. 2015. Fluorescence as an indicator of stress in *Helianthus annuus* L. A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 9(1): 149-160.
- Kacjan Maršič, N., Golob, A., Šircelj, H., Mihorič, M., Kroflič, A., Stibilj, V., y Germ, M. 2019. Effects of exogenous selenium in different concentrations and forms on selenium accumulation and growth of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology*. 21(7): 1905-1917.
- Lanza, M.G.B.D. y Dos Reis, A.R. 2021. Roles of selenium in mineral plant nutrition: ROS scavenging responses against abiotic stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*. 164: 27-43.
- Lei, B., Bian, Z., Yang, Q., Wang, J., Cheng, R., Li, K. y Tong, Y. 2018. The positive function of selenium supplementation on reducing nitrate accumulation in hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Integrative Agriculture*. 17(4): 837-846.
- Liang, Y., Su, Y., Li, L., Huang, X., Panhwar, F.H., Zheng, T., y Zhu, J. 2019. Quick selenium accumulation in the selenium-rich rice and its physiological responses in changing selenium environments. *BMC plant biology*. 19(1): 1-11.
- Lichtenthaler, H.K. y A.R. Wellburn. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*. 11: 591-592.
- Luo, H., He, L., Du, B., Pan, S., Mo, Z., Duan, M., Tian, H. y Tang, X. 2020. Biofortification with chelating selenium in fragrant rice: Effects on photosynthetic rates, aroma, grain quality and yield formation. *Field Crops Research*. 255: 107909.
- Mendivil-Lugo, C., Nava-Pérez, E., Armenta-Bojórquez, A.D., Ruelas-Ayala, R.D., y Félix-Herrán, J.A. 2020. Elaboración de un abono orgánico tipo bocashi y su evaluación en la germinación y crecimiento del rábano. *Biotecnia*. 22(1): 17-23.
- Mozafariyan, M., Pessarakli, M. y Saghafi, K. 2017. Effects of selenium on some morphological and physiological traits of tomato plants grown under hydroponic condition. *Journal of Plant Nutrition*. 40(2): 139-144.
- Nawaz, F., Ashraf, M.Y., Ahmad, R., Waraich, E.A., y Shabbir, R.N. (2014). Selenium (Se) regulates seedling growth in wheat under drought stress. *Advances in Chemistry*. 2014, 143567.
- Qin, K., y Leskovar, D.I. 2020. Humic substances improve vegetable seedling quality and post-transplant yield performance under stress conditions. *Agriculture*. 10(7): 254.
- Reyes-Pérez, J.J., Rivero-Herrada, M., García-Bustamante, E.L., Beltran-Morales, F.A., y Ruiz-Espinoza, F.H. 2020. Aplicación de quitosano incrementa la emergencia, crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero. *Biotecnia*. 22(3): 156-163.
- Sabatino, L., Ntatsi, G., Iapichino, G., D'Anna, F., y De Pasquale, C. 2019. Effect of selenium enrichment and type of application on yield, functional quality and mineral composition of curly endive grown in a hydroponic System. *Agronomy*. 9(4): 207.
- Shekari, L., Kamelmanesh, M.M., Mozafarian, M. y Sadeghi, F. 2016. Beneficial effects of selenium on some morphological and physiological trait of hot pepper (*Capsicum annum*). *Journal Of Horticultural Science*. 29(4): 594-600.
- Simkin, A.J., López-Calcano, P.E., y Raines, C.A. 2019. Feeding the world: improving photosynthetic efficiency for sustainable crop production. *Journal of Experimental Botany*. 70(4): 1119-1140.
- Ślusarczyk, J., Wierzbicka, M., Suchocki, P. y Kuraś, M., 2015. Ultrastructural changes in onion (*Allium cepa* L.) root tip meristem cells treated with Selol and sodium selenate (IV). *Caryologia*. 68(4): 306-316.
- Sun, H.W., Ha, J., Liang, S.X., y Kang, W.J. 2010. Protective role of selenium on garlic growth under cadmium stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 41(10): 1195-1204.
- Tredenick, E.C., Forster, W.A., Pethiyagoda, R., van Leeuwen, R.M., y McCue, S.W. 2021. Evaporating droplets on inclined plant leaves and synthetic surfaces: Experiments and mathematical models. *Journal of Colloid and Interface Science*. 592: 329-341.
- Trejo-Téllez, L.I., García-Jiménez, A., Escobar-Sepúlveda, H.F., Ramírez-Olvera, S.M., Bello-Bello, J.J., y Gómez-Merino, F.C. 2020. Silicon induces hormetic dose-response effects on growth and concentrations of chlorophylls, amino acids and sugars in pepper plants during the early developmental stage. *PeerJ*. 8, e9224.
- Wang, Y., Chu, Y., Wan, Z., Zhang, G., Liu, L., y Yan, Z. 2021. Root Architecture, Growth and Photon Yield of Cucumber Seedlings as Influenced by Daily Light Integral at Different Stages in the Closed Transplant Production System. *Horticulturae*, 7(9): 328.

- Waraich, E.A., Rashid, F., Ahmad, Z., Ahmad, R., y Ahmad, M. 2020. Foliar applied potassium stimulate drought tolerance in canola under water deficit conditions. *Journal of Plant Nutrition*. 43(13): 1923-1934
- Xia, Q., Yang, Z., Shui, Y., Liu, X., Chen, J., Khan, S., y Gao, Z. 2020. Methods of Selenium Application Differentially Modulate Plant Growth, Selenium Accumulation and Speciation, Protein, Anthocyanins and Concentrations of Mineral Elements in Purple-Grained Wheat. *Frontiers in Plant Science*. 11: 1114.
- Yin, H., Qi, Z., Li, M., Ahammed, G.J., Chu, X. y Zhou, J. 2019. Selenium forms and methods of application differentially modulate plant growth, photosynthesis, stress tolerance, selenium content and speciation in *Oryza sativa* L. *Ecotoxicology and environmental safety*. 169: 911-917.