



EFFECTO DEL SELENIO EN EL CRECIMIENTO DE PLANTAS Y CALIDAD NUTRACÉUTICA DE FRUTOS DE BERENJENA

EFFECT OF SELENIUM ON PLANT GROWTH AND NUTRACEUTICAL QUALITY OF EGGPLANT FRUITS

Ana Y. Lara-Izaguirre¹, Angel N. Rojas-Velázquez^{2*},
Jorge A. Alcalá-Jáuregui² e Irán Alia-Tejacal³

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental San Luis, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. ²Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México. ³Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cuernavaca, Morelos, México.

*Autor de correspondencia (angel.rojas@uaslp.mx)

RESUMEN

El selenio (Se) se considera un elemento benéfico en las plantas, ya que como antioxidante ayuda a mejorar la tolerancia a diversos tipos de factores abióticos. El selenio ejerce efectos en el crecimiento de las plantas, en la calidad organoléptica y en los compuestos nutraceuticos de los cultivos. El objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta al Se en el cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.) sobre las variables de crecimiento, rendimiento y calidad nutraceutica de los frutos. Se cultivaron plantas de berenjena con cinco dosis de Se: 0, 10, 30, 60 y 90 µM en un diseño completamente al azar con 11 repeticiones. Los resultados a la cosecha mostraron que las dosis de Se no tuvieron efecto en el peso seco de las plantas, acidez titulable, fenoles y flavonoides en frutos. Las dosis de 30, 60 y 90 µM provocaron disminución del área foliar en 27 %; en frutos, la dosis de 60 µM disminuyó el rendimiento y peso fresco en 36 %, mientras que la dosis de 10 µM disminuyó en 62 % las antocianinas y aumentó en 19 % la vitamina C y en 12 % la actividad antioxidante, y la de 30 µM mostró un contenido de sólidos solubles totales 22 % menor. La aplicación de dosis altas de Se en el cultivo de berenjena afectó negativamente el crecimiento y el rendimiento de las plantas; en cambio, las dosis bajas fueron benéficas en la calidad nutraceutica de los frutos, demostrado con el aumento de la actividad antioxidante y vitamina C.

Palabras clave: *Solanum melongena* L., calidad organoléptica, compuestos nutraceuticos, frutos, selenato, selenito.

SUMMARY

Selenium (Se) is considered a beneficial element in plants, as an antioxidant, it helps to improve tolerance to various types of abiotic factors. Selenium has effects on plant growth, organoleptic quality and nutraceutical compounds of crops. The objective of this study was to evaluate the response to Se in eggplant (*Solanum melongena* L.) on growth traits, yield and nutraceutical quality of fruits. Eggplant plants were grown with five doses of Se: 0, 10, 30, 60 and 90 µM in a completely randomized design with 11 replications. Results at harvest showed that the doses of Se had no effect on plant dry weight, titratable acidity, phenols and flavonoids in fruits. The doses of 30, 60 and 90 µM caused a decrease in leaf area by 27 %; in fruits, the dose of 60 µM decreased yield and fresh weight by 36 %, while the dose of 10 µM decreased anthocyanins by 62 % and increased vitamin C by 19 % and antioxidant activity by 12 %, and the dose of 30 µM showed a content of total soluble solids 22 % lower. The application of high doses of Se in eggplant negatively affected plant growth and yield; on the other hand, low doses were beneficial in the nutraceutical quality of eggplant fruits, demonstrated by the increase in

antioxidant activity and vitamin C.

Index words: *Solanum melongena* L., fruits, nutraceutical compounds, organoleptic quality, selenate, selenite.

INTRODUCCIÓN

El selenio (Se) es un nutriente esencial para humanos y animales (Mimmo *et al.*, 2017), en plantas es benéfico y tiene dos formas de absorción inorgánicas, como selenito (SeO₃) y como selenato (SeO₄) en suelos (Longchamp *et al.*, 2013). La forma química de este elemento influye en la toxicidad, concentraciones más bajas de selenito que de selenato provocan efectos adversos en las plantas (Trippe III y Pilon-Smits, 2021).

Las plantas están expuestas constantemente a los efectos de las especies reactivas de oxígeno (ERO), las cuales producen estrés oxidativo al acumular peróxido de hidrógeno (H₂O₂) que provoca una oxidación de proteínas, lípidos de membrana o daños al ADN (Mora *et al.*, 2015). El Se tiene un efecto positivo a bajas concentraciones debido a su acción antioxidante (Puccinelli *et al.*, 2017), mejora la tolerancia a diversos estreses abióticos (Farman *et al.*, 2021) y aumenta el crecimiento de las plantas (Schiavon *et al.*, 2020), siendo útil solo cuando la planta se encuentra bajo estrés oxidativo (Hossain *et al.*, 2021).

El Se afecta la calidad de las plantas; sin embargo, es importante la capacidad de algunos cultivos de acumular este ion para la nutrición (Puccinelli *et al.*, 2017). Estudios demuestran que el Se ejerce diferentes efectos en el crecimiento, calidad organoléptica y compuestos nutraceuticos de los cultivos, según la dosis y forma de aplicación, como lo demuestran diferentes autores. Saeedi *et al.* (2021) mencionaron que la aplicación de selenato en coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) con dosis de 5

a 20 mg L⁻¹ no mostraron efectos en área foliar y 10 mg L⁻¹ aumentó el peso seco de hojas y rendimiento de los floretes. Hawrylak-Nowak *et al.* (2013) reportaron que con la aplicación de 20 µM de selenato y selenito en lechuga disminuyó el área foliar y biomasa seca de los brotes. Mimmo *et al.* (2017) encontraron que en fresa la aplicación de 10 y 100 µM de selenato no afectó el rendimiento, y dosis de 100 µM aumentó el área foliar, y en los frutos aumentaron los sólidos solubles totales, índice de sabor y antocianinas. Zahedi *et al.* (2019) en frutos de granada (*Punica granatum*) encontraron que la aplicación de 1 y 2 µM disminuyeron la acidez titulable y aumentaron el índice de sabor, compuestos fenólicos, antocianinas y la actividad antioxidante.

La berenjena (*Solanum melongena* L.) es un cultivo que está en aumento debido al interés por sus altos valores nutricionales (Karimi *et al.*, 2021), contiene compuestos fenólicos identificados como los principales compuestos bioactivos responsables de sus efectos antioxidantes (Sharma y Kaushik, 2021). Los follajes, frutas y verduras son una fuente importante de compuestos antioxidantes, y el Se está asociado con tales propiedades antioxidantes (Sotek *et al.*, 2019), lo cual puede aumentar la calidad de los frutos con beneficios de estos compuestos en la dieta. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta fisiológica, productiva y nutracéutica en la aplicación de Se en el cultivo de berenjena cultivado bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El experimento se estableció en el ciclo verano-invierno de 2021-2022 en la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, en San Luis Potosí, México, ubicada en las coordenadas geográficas 22° 14' 00.3" N y 100° 51' 46.7" W, a 1840 msnm, en un invernadero tipo túnel con plástico blanco de polietileno con 30 % de sombra con dimensiones de 5 × 9 m, donde se registró una temperatura media de 17.91 °C y una luminosidad media de 232.48 µmol m⁻² s⁻¹, medido con un registrador HOBO (Onset UA-002-08 Pendant Temperature/Light Data Logger, Bourne, Massachusetts, EUA).

Condiciones de crecimiento

Se sembraron semillas de berenjena variedad Black Beauty (Caloro®, Jalisco. México), en charolas de poliestireno de 220 cavidades, se utilizó un sustrato comercial a base de turba ácida BM2 Berger®. Cuando las plántulas alcanzaron las cuatro hojas verdaderas, a los 84

días después de la siembra, se trasplantaron a macetas de plástico negro de 10 L de capacidad, llenas de tezontle rojo con granulometría de 5 a 6 mm, bajo un sistema de riego por goteo.

Para el riego se utilizó la solución universal de Steiner (1984), en meq L⁻¹ 12 NO₃⁻, 7 SO₄⁻², 1 H₂PO₄⁻¹, 9 Ca⁺², 7 K⁺ y 4 Mg⁺², con los fertilizantes Ca⁺²(NO₃⁻)₂ 4H₂O, K⁺ NO₃⁻, Mg⁺² SO₄⁻² 7H₂O, K₂⁺ SO₄⁻² y H₃⁺ PO₄⁻ y micronutrientes Carboxy® Micro, con Fe 5 %, Zn 2.5 %, Mn 1 %, Mg 0.5 % y B 0.5 % en forma quelatada EDDHA, el pH de la solución se ajustó a 5.5 con H₃PO₄.

Tratamientos

Se aplicaron cinco dosis de selenio (Na₂SeO₃, Golden Bell^{MR}, México) a la solución nutritiva Steiner en la etapa de floración (63 días después del trasplante) y hasta la cosecha. Las dosis fueron: 0 (testigo), 10, 30, 60 y 90 µM de Na₂SeO₃.

Diseño y unidad experimental

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con cinco tratamientos que consistieron en las dosis arriba descritas. La unidad experimental fue una planta individual y se establecieron 11 repeticiones.

Variables evaluadas

Altura, área foliar y peso seco aéreo

Al momento de la cosecha se midió la altura de las plantas con una cinta métrica y se reportó en cm. El área foliar se midió con un medidor laser de área foliar (CI-202 CID Bio-Science, Camas, Washington, EUA) y se reportó en cm². Para determinar el peso seco se colocó la parte aérea (tallos y hojas) en una estufa de secado de aire forzado (Omron, Kyoto, Japón) a 70 °C durante 72 h hasta obtener peso constante, y registrado en una balanza digital (Ohaus® PAJ4102N Gold series, Parsippany, New Jersey, EUA), reportado en g.

Rendimiento y características físicas del fruto

Los frutos maduros se cosecharon a partir de los 65 días después de la aplicación de Na₂SeO₃ en los tratamientos, se pesaron en una balanza digital (Ohaus® PAJ4102N Gold series, Parsippany, NJ, EUA), y reportado en g.

Calidad nutracéutica en los frutos

Para evaluar el contenido de compuestos bioactivos

y organolépticos, se tomaron ocho frutos maduros por tratamiento, se lavaron con agua destilada y se guardaron en un congelador a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis. Debido a que las dosis de 60 y 90 μM de Na_2SeO_3 afectaron el crecimiento y la floración de las plantas de berenjena, no se obtuvieron frutos suficientes para su análisis en estos dos tratamientos, lo cual se explica en el apartado de Resultados y Discusión.

Sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) e índice de sabor (IS)

Los extractos se realizaron con 1 g de pulpa del fruto de berenjena en 10 mL de agua destilada, en un homogeneizador T 25 digital (Ultra-Turrax®, IKA, Wilmington, North Carolina, EUA) y posteriormente se filtraron. Los SST se determinaron con dos gotas de muestra colocadas en un refractómetro digital de bolsillo (PAL-1, Atago®, Tokio, Japón) y los resultados se reportaron en °Brix. La AT se determinó de acuerdo con la AOAC (1990), se usó fenolftaleína como indicador y los resultados se expresaron como porcentaje de ácido cítrico. El índice de sabor se determinó como el cociente entre SST y AT.

Antocianinas

Las antocianinas se evaluaron por el método de pH diferencial de la AOAC (Lee *et al.*, 2005). Se utilizaron 2 g de cáscara del fruto en 8 mL de buffer pH 1 y pH 4.5 en un homogeneizador T 25 digital (Ultra-Turrax®, IKA, Wilmington, North Carolina, EUA) y se centrifugaron a 6000 rpm por 10 min. Se midió la absorbancia a 520 y 700 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Genesys 10S, Thermo Scientific™, Waltham, Massachusetts, EUA). Los resultados se reportan como equivalentes de delfinidina-3-rutinósido en mg L^{-1} .

Vitamina C

Se preparó extracto para el análisis de vitamina C al utilizar 2.0 g de pulpa del fruto de berenjena en 8 mL de ácido tricloroacético (TCA) y 2.0 g de cáscara en 8 mL de TCA en un homogeneizador T 25 digital (Ultra-Turrax®, IKA, Wilmington, North Carolina, USA) y se centrifugó a 12,000 rpm por 10 min a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. El ácido ascórbico se determinó de acuerdo con el método colorimétrico descrito por Jagota y Dani (1982) con algunas modificaciones. Se midió la absorbancia a 760 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (GENESYS 10S, Thermo Scientific™, Waltham, Massachusetts, EUA). La curva de calibración se elaboró con el uso de ácido ascórbico (AA) y los resultados se reportan en $\mu\text{g AA } 100\text{ g}^{-1}$ de peso fresco.

Flavonoides

El contenido total de flavonoides se determinó con el método de tricloruro de aluminio de acuerdo con Arvouet-Grand *et al.* (1994). Para el extracto, se homogeneizaron 2 g de pulpa del fruto de berenjena en 10 mL de metanol absoluto y 0.2 g de cáscara en 10 mL de metanol absoluto en un homogeneizador T 25 digital y se filtró. La absorbancia de las muestras se midió a 415 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Genesys 10S, Thermo Scientific™, Waltham, Massachusetts, EUA) y se realizó una curva estándar de quercetina. Los resultados se expresaron en mg de quercetina (EQ) 100 g^{-1} de peso fresco.

Fenoles

Se preparó el extracto con 1 g de pulpa del fruto en 10 mL de agua desionizada y 1 g de cáscara en 10 mL de agua desionizada en un homogeneizador T 25 digital y posteriormente se filtró. Los fenoles totales se determinaron con el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu, como lo describieron Waterman y Mole (1994), con algunas modificaciones. Se midió la absorbancia a 760 nm. La curva estándar se realizó con el uso de ácido gálico y los resultados se expresaron en mg de ácido gálico (EAG) equivalentes por 100 g^{-1} de peso fresco.

Actividad antioxidante

La actividad antioxidante se determinó mediante el método de ABTS, de acuerdo con Re *et al.* (1999) con algunas modificaciones. Se midió la absorbancia a 734 nm. La curva de calibración se realizó con ácido ascórbico y los resultados se expresaron en mg de ácido ascórbico (AA) 100 g^{-1} de peso fresco.

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza y pruebas de comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$) mediante el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento de las plantas de berenjena

Con la aplicación de las dosis 30 y 60 μM las plantas de berenjena no tuvieron diferencias entre tratamientos; sin embargo, la dosis 90 μM disminuyó en 23 % la altura al compararla con las dosis de 0 y 10 μM (Cuadro 1). Por su parte, Ghazi (2018) reportó que la dosis de 5 mg L^{-1} de selenito foliar en el cultivo de berenjena aumentó en 17

Cuadro 1. Crecimiento de las plantas de berenjena bajo diferentes dosis de Na₂SeO₃.

Dosis de Se (µM)	Altura (cm)	Área foliar (cm ²)	Peso seco aéreo (g)	Rendimiento (g/planta)	Peso del fruto (g)
0	128.87 a	3261.0 a	77.50 a	17.44 a	191.80 a
10	130.25 a	3002.0 a	83.57 a	16.99 ab	186.87 ab
30	116.55 ab	2189.0 b	70.50 a	14.20 ab	156.23 ab
60	110.70 ab	1978.3 b	73.17 a	11.20 b	123.23 b
90	100.15 b	1867.7 b	56.47 a	+	+
CV (%)	8.24	14.30	17.47	32.22	32.22
DSH	21.12	768.37	27.56	6.15	67.73

Medias con letras iguales en las columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, P ≤ 0.05). ns: no significativo, CV: coeficiente de variación, DSH: diferencia significativa honesta, +: Con dosis de 90 µM no se obtuvieron frutos.

% la altura de las plantas y en 21 % el número de hojas con respecto al testigo sin aplicación. Hasanuzzaman *et al.* (2020) encontraron que la reducción del crecimiento inducida por Se es consecuencia de alteraciones en el equilibrio de la nutrición mineral, ya que afecta reacciones bioquímicas y procesos fisiológicos como crecimiento, fotosíntesis, respiración, intercambio de gases y captación de agua.

Las dosis aplicadas de 30, 60 y 90 µM de Se mostraron 27 % menor área foliar con respecto a las dosis de 0 y 10 µM (Cuadro 1). En plantas de lechuga, al aplicar 20 µM de selenito, disminuyó en 47 % el área foliar y dosis menores de 2 a 10 µM de selenato disminuyeron entre 12 y 27 % con respecto al testigo (Hawrylak-Nowak *et al.*, 2013). La toxicidad por Se se presenta por dos mecanismos, malformación de selenoproteínas e inducción de estrés oxidativo, provocado por dosis altas de Se que actúa como pro-oxidante y genera ERO (Gupta y Gupta, 2017). La aplicación de Se muestra efectos diferentes en los cultivos, de acuerdo con la especie y dosis aplicada; en este estudio, el cultivo de berenjena mostró que las dosis mayores de 30 µM generan toxicidad en las plantas y reducen el área foliar.

La aplicación de Se no modificó el peso seco de las plantas de berenjena, puesto que no se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Cuadro 1). Ghazi (2018) reportó que la aplicación foliar de 5 mg L⁻¹ de selenito en el cultivo de berenjena aumentó en 23 % el peso seco de las hojas en relación con respecto al testigo sin aplicación. En cultivares de coliflor con dosis de 10 mg L⁻¹ de selenato se indujo un aumento de 25 a 33 % en el peso seco de las hojas (Saeedi *et al.*, 2021).

Características de frutos de berenjena

La dosis de 60 µM de Se aplicada a las plantas de berenjena disminuyó el rendimiento en 36 % respecto a la dosis 0 µM, y no mostró diferencias con las dosis de 10 y 30 µM. Además, dosis de 0, 10 y 30 µM no mostraron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 1). Mimmo *et al.* (2017) reportaron que la adición de Se en la solución nutritiva no influye negativamente en la fertilidad de las fresas, no reduce el rendimiento, peso ni número de frutos. En plantas de granada, la aplicación foliar de 1 µM de selenato aumentó entre 7 y 11 % el rendimiento y la dosis de 2 µM aumentó en 5 % respecto al testigo (Zahedi *et al.*, 2019).

La aplicación de la dosis de 60 µM de Se disminuyó el peso de los frutos de berenjena en 36 %, esta dosis no mostró diferencias con las de 10 y 30 µM. Dosis de 0, 10 y 30 µM no mostraron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 1). De acuerdo con los resultados reportados por Zahedi *et al.* (2019), en plantas de granada la aplicación foliar de 1 y 2 µM de selenato aumentó en 3 a 4 % el peso de los frutos con respecto al testigo.

Las dosis de 60 y 90 µM de Se afectaron en la producción del cultivo, ya que después del primer mes de aplicación las plantas presentaron una respuesta negativa en el aborto floral y caída de flores; además, se encontró que con dosis de 90 µM de Se no se logró obtener ningún fruto y con dosis de 60 µM se logró una producción del 15 % de frutos superior comparada con la del testigo sin aplicación de Se (datos no mostrados), los cuales tenían una calidad inferior a los demás tratamientos, con un menor peso, lo cual afectó el rendimiento (Cuadro 1; Figura 1 D).



Figura 1. Frutos de berenjena con distintas dosis de selenio: A) 0 μ M, B) 10 μ M, C) 30 μ M y D) 60 μ M. Con dosis de 90 μ M no se obtuvieron frutos.

Características organolépticas en frutos

Las plantas donde se aplicaron dosis altas de Se no pudieron participar en la comparación debido a que tales dosis provocaron aborto de todas las flores y con ello la planta no logro producir ningún fruto, mientras que en la dosis de 60 μ M la muestra de frutos no fue suficiente para realizar los análisis de variables organolépticas.

Las dosis de Se aplicadas no mostraron diferencias estadísticas significativas en la variable de acidez titulable ni en el índice de sabor de los frutos (Figuras 2B, C). En plantas de granada la aplicación foliar de 1 y 2 μ M de selenato disminuyó en 12 % la AT y aumentó el IS en los frutos de 10 a 13 % respecto al testigo, esto muestra que el Se ejerce una influencia positiva en el sabor de los frutos (Zahedi *et al.*, 2019). En el cultivo de fresa la aplicación de 100 μ M de selenato provocó un incremento de 23 % en el IS de los frutos respecto al testigo, y la dosis 10 μ M no presentó respuesta en la variable AT (Mimmo *et al.*, 2017).

En la variable de sólidos solubles totales se observó que la dosis de 30 μ M provocó disminución del 22 % en los frutos de berenjena con respecto a las dosis 0 y 10 μ M (Figura 2A). No obstante, Mimmo *et al.* (2017) encontraron un incremento de 24 % en los SST en frutos de fresa con la aplicación de 100 μ M de selenato con respecto a la dosis 10 μ M y al testigo sin aplicación. En plantas de granada la aplicación foliar de 1 μ M de selenato aumentó entre 5 y 7 % los SST en los frutos, y con dosis de 2 μ M no se mostraron diferencias con respecto al testigo (Zahedi *et al.*, 2019).

Calidad nutracéutica de frutos de berenjena

En la variable de fenoles y flavonoides totales en frutos de berenjena no se encontraron diferencias estadísticas

significativas entre dosis (Figuras 3A y B). Mimmo *et al.* (2017) encontraron que en plantas de fresa la aplicación de 10 y 100 μ M de selenato no mostró efecto respecto al testigo en el contenido fenólico total y de flavonoides en los frutos. En plantas de granada la aplicación de 1 y 2 μ M de selenato foliar aumentó entre 4 y 5 % los compuestos fenólicos totales en los frutos con respecto al testigo, lo cual mejoró la tolerancia al estrés abiótico al aumentar la capacidad antioxidante (Zahedi *et al.*, 2019). El contenido de flavonoides es diferente entre cultivares, la forma química del Se y varía con las dosis aplicadas, debido a la distinta capacidad de cada genotipo para generar compuestos fenólicos, además del estrés ambiental y los factores bióticos (Tian *et al.*, 2016).

La dosis de 10 μ M de Se aplicada a las plantas de berenjena mostró 19 % mayor concentración de vitamina C en los frutos (Figura 3C). En cultivares de germinados de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) con 100 μ M de selenato y selenito no se mostraron efectos en el contenido de ácido ascórbico en comparación con el testigo, la concentración de ácido ascórbico y las enzimas del estrés oxidativo están relacionadas con factores como temperatura, luz, salinidad y sequía (Tian *et al.*, 2016).

Dosis de 10 μ M de Se aplicada a las plantas mostró 62 % menor contenido de antocianinas en la cáscara de los frutos (Figura 3D). En plantas de fresa, al aplicar dosis de 10 y 100 μ M de selenato se acumularon diferentes tipos de antocianinas en los frutos (Mimmo *et al.*, 2017). En plantas de granada la aplicación foliar de 1 y 2 μ M de selenato aumentó en 9 a 17 % las antocianinas en los frutos respecto al testigo (Zahedi *et al.*, 2019). La aplicación de 0.126 mM de selenato y selenito en el cultivo de colirrábano (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*) no mostró efecto en antocianinas respecto al testigo sin aplicación de Se (Golob *et al.*, 2020).

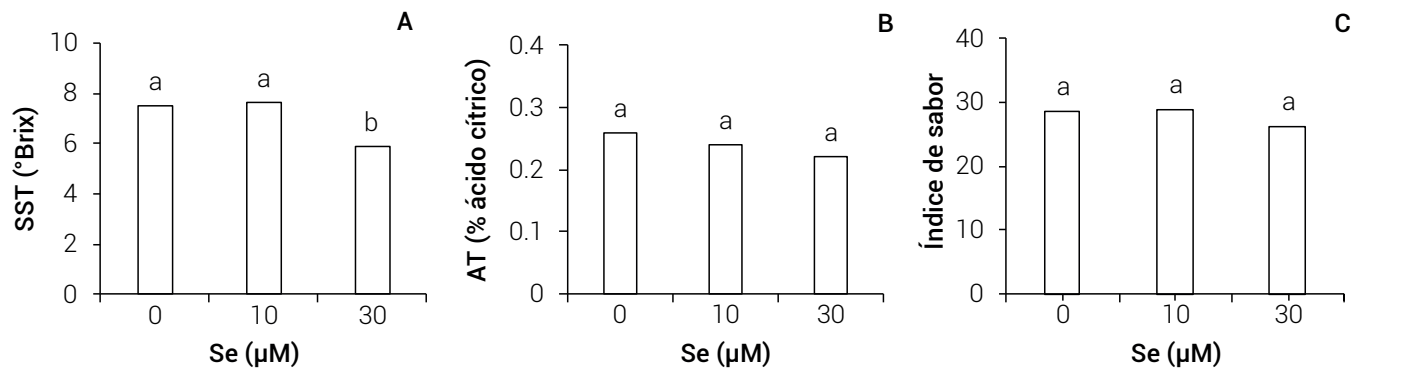


Figura 2. Efecto de diferentes dosis de selenio en: A) sólidos solubles totales, B) acidez titulable y C) índice de sabor en frutos de berenjena. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). Con dosis de 60 y 90 µM no se obtuvieron muestras de frutos en cantidad suficiente.

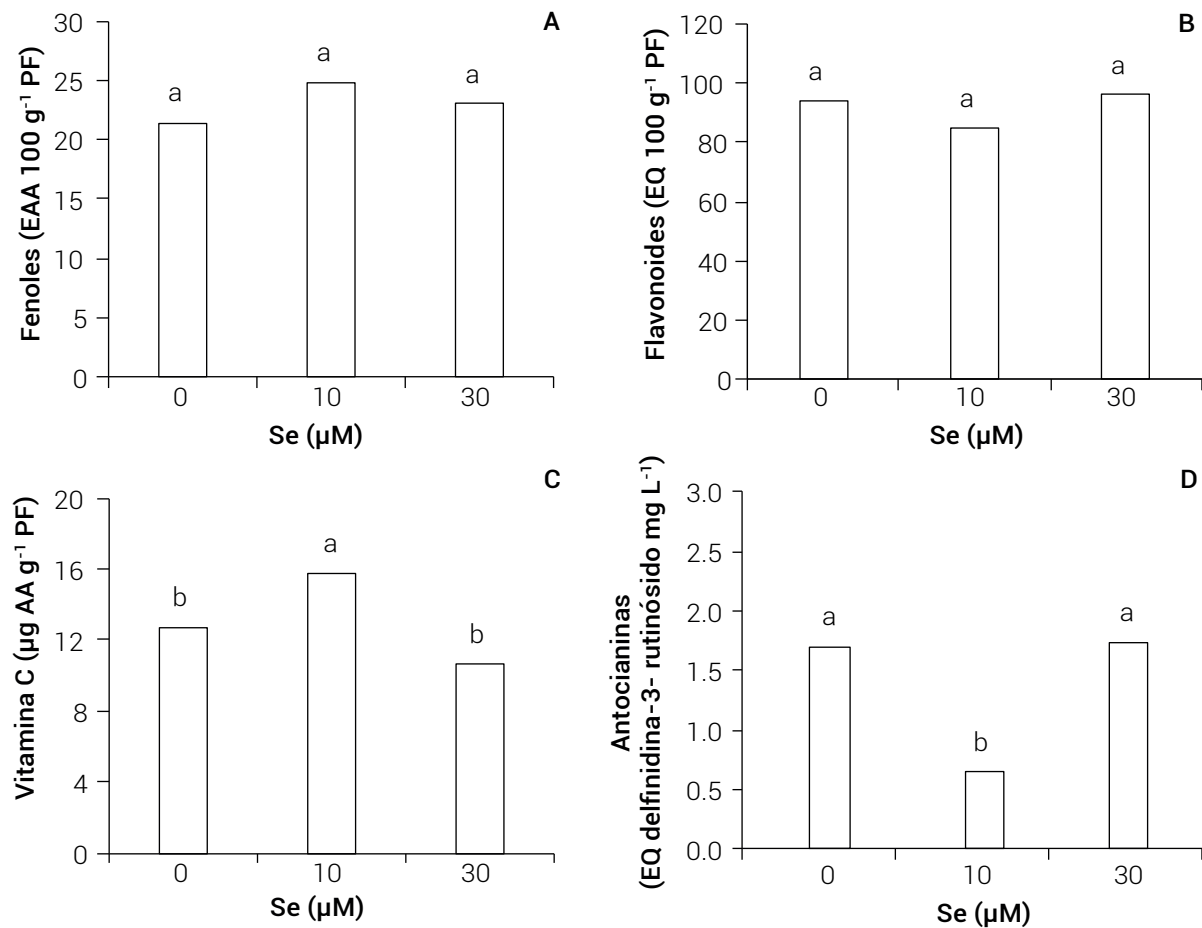


Figura 3. Efecto de diferentes dosis de selenio en: A) fenoles, B) flavonoides, C) vitamina C, y D) antocianinas en frutos de berenjena. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). Con dosis de 60 y 90 µM no se obtuvieron muestras de frutos en cantidad suficiente.

Actividad antioxidante en frutos de berenjena

Las dosis de Se aplicadas a las plantas de berenjena mostraron diferencias estadísticas significativas en la actividad antioxidante de los frutos, la dosis de 10 μM aumentó en 12 % (Figura 4). El contenido de Se en el suelo está correlacionado con la actividad antioxidante en plantas medicinales, al aumentar entre 40 y 90 % (Sotek *et al.*, 2019). Con dosis de 1 y 2 μM de selenato por aspersión foliar en plantas de granada, la actividad antioxidante en frutos aumentaron entre 11 y 17 % respecto al testigo (Zahedi *et al.*, 2019). En coliflor, dosis de entre 5 y 10 mg L^{-1} de selenato aumentaron en 14 y 51 % la capacidad antioxidante respecto al testigo (Saeedi *et al.*, 2021). La regulación del sistema antioxidante inducido por el Se reduce las ERO, a niveles bajos se activan las respuestas de defensa de células bajo estrés y a niveles altos se dañan los componentes celulares (Schiavon *et al.*, 2020). Las antocianinas de la berenjena están asociadas con propiedades biológicas como la capacidad antioxidante (Karimi *et al.*, 2021). En este estudio se redujo el contenido de antocianinas con la dosis 10 μM , misma que aumentó la actividad antioxidante, por lo que la aplicación de Se muestra respuestas distintas, en el caso de plantas de berenjena con dosis de 10 μM disminuye el estrés abiótico al aumentar la actividad antioxidante a expensas de la coloración en los frutos, disminuyendo el color púrpura oscuro conferido por las antocianinas.

CONCLUSIONES

El crecimiento de las plantas de berenjena es afectado negativamente por el selenio en diferentes dosis, con 30 μM el área foliar, con 60 μM el rendimiento y el peso de los

frutos. Con 90 μM no se formaron frutos. Dosis bajas de selenio en plantas de berenjena puede resultar benéficas para la calidad nutracéutica de los frutos sin afectar el crecimiento, con dosis de 10 μM disminuye el estrés abiótico al aumentar la actividad antioxidante y vitamina C en los frutos, a expensas de la coloración de los frutos, al disminuir las antocianinas en la cáscara.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC, Association of Official Analytical Chemists (1990) Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. K. Helrich (ed.). Arlington, Virginia, USA. 1298 p.
- Arvouet-Grand A., B. Vennat, A. Pourrat et P. Legret (1994) Standardisation d'un extrait de propolis et identification des principaux constituants. *Journal de Pharmacie de Belgique* 49:462-468.
- Farman M., F. Nawaz, S. Majeed, K. S. Ahmad, R. Rafeeq, M. A. Shehzad, ... and M. M. Usmani (2021) Interplay between selenium and mineral elements to improve plant growth and development. In: Handbook of Bioremediation. Physiological, Molecular and Biotechnological Interventions. M. Hasanuzzaman and M. N. V. Prasad (eds.). Academic Press. San Diego, California, USA. pp:221-236, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819382-2.00013-2>
- Ghazi D. (2018) Effect of iron and selenium on growth, yield and quality of eggplant under different mineral fertilization levels. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering* 9:525-532, <https://doi.org/10.21608/jssae.2018.36456>
- Golob A., T. Novak, N. K. Maršić, H. Šircelj, V. Stibilj, A. Jerše, ... and M. Germ (2020) Biofortification with selenium and iodine changes morphological properties of *Brassica oleracea* L. var. *gongylodes* and increases their contents in tubers. *Plant Physiology and Biochemistry* 150:234-243, <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.02.044>
- Gupta M. and S. Gupta (2017) An overview of selenium uptake, metabolism, and toxicity in plants. *Frontiers in Plant Science* 7:2074, <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02074>
- Hasanuzzaman M., M. B. Bhuyan, A. Raza, B. Hawrylak-Nowak, R. Matraszek-Gawron, K. Nahar and M. Fujita (2020) Selenium toxicity in plants and environment: biogeochemistry and remediation possibilities. *Plants* 9:1711, <https://doi.org/10.3390/plants9121711>
- Hawrylak-Nowak B. (2013) Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under

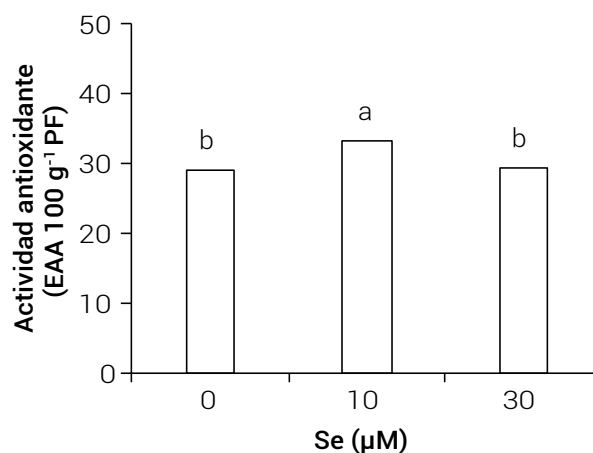


Figura 4. Efecto de dosis de selenio en la actividad antioxidante en frutos de berenjena. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). Con dosis de 60 y 90 μM no se obtuvieron muestras suficientes de frutos.

- hydroponic conditions. *Plant Growth Regulation* 70:149-157, <https://doi.org/10.1007/s10725-013-9788-5>
- Hossain A., M. Skalicky, M. Brestic, S. Maitra, S. Sarkar, Z. Ahmad, ... and A. M. Laing (2021) Selenium biofortification: roles, mechanisms, responses and prospects. *Molecules* 26:881, <https://doi.org/10.3390/molecules26040881>
- Jagota S. K. and H. M. Dani (1982) A new colorimetric technique for the estimation of vitamin C using Folin phenol reagent. *Analytical Biochemistry* 127:178-182, [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(82\)90162-2](https://doi.org/10.1016/0003-2697(82)90162-2)
- Karimi A., M. Kazemi, S. A. Samani and J. Simal-Gandara (2021) Bioactive compounds from by-products of eggplant: functional properties, potential applications and advances in valorization methods. *Trends in Food Science & Technology* 112:518-531, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.027>
- Lee J., R. W. Durst and R. E. Wrolstad (2005) Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *Journal of AOAC International* 88:1269-1278, <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.5.1269>
- Longchamp M., N. Angeli and M. Castrec-Rouelle (2013) Selenium uptake in *Zea mays* supplied with selenate or selenite under hydroponic conditions. *Plant and Soil* 362:107-117, <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1259-7>
- Mimmo T., R. Tiziani, F. Valentinuzzi, L. Lucini, C. Nicoletto, P. Sambo, ... and S. Cesco (2017) Selenium biofortification in *Fragaria × ananassa*: implications on strawberry fruits quality, content of bioactive health beneficial compounds and metabolomic profile. *Frontiers in Plant Science* 8:1887, <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01887>
- Mora M. L., P. Durán, J. Acuña, P. Cartes, R. Demanet and L. Gianfreda (2015) Improving selenium status in plant nutrition and quality. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 15:486-503, <https://doi.org/10.4067/S0718-95162015005000041>
- Puccinelli M., F. Malorgio and B. Pezzarossa (2017) Selenium enrichment of horticultural crops. *Molecules* 22:933, <https://doi.org/10.3390/molecules22060933>
- Re R., N. Pellegrini, A. Progettente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice-Evans (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine* 26:1231-1337, [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Saeedi M., F. Soltani, M. Babalar, F. Izadpanah, M. Wiesner-Reinhold and S. Baldermann (2021) Selenium fortification alters the growth, antioxidant characteristics and secondary metabolite profiles of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) cultivars in hydroponic culture. *Plants* 10:1537, <https://doi.org/10.3390/plants10081537>
- Schiavon M., S. Nardi, F. Dalla Vecchia and A. Ertani (2020) Selenium biofortification in the 21st century: status and challenges for healthy human nutrition. *Plant and Soil* 453:245-270, <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04635-9>
- Sharma M. and P. Kaushik (2021) Biochemical composition of eggplant fruits: a review. *Applied Sciences* 11:7078, <https://doi.org/10.3390/app11157078>
- Sotek Z., B. Bialecka, B. Pilarczyk, R. Drozd, R. Pilarczyk, A. Tomza-Marciniak, ... and S. Vovk (2019) Antioxidant activity and selenium and polyphenols content from selected medicinal plants natives from various areas abundant in selenium (Poland, Lithuania, and Western Ukraine). *Processes* 7:878, <https://doi.org/10.3390/pr7120878>
- Steiner A. A. (1984) The universal nutrient solution. Proceedings of IWOSC 6th International Congress on Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands. pp:633-650.
- Tian M., X. Xu, Y. Liu, L. Xie and S. Pan (2016) Effect of Se treatment on glucosinolate metabolism and health-promoting compounds in the broccoli sprouts of three cultivars. *Food Chemistry* 190:374-380, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.098>
- Trippe III R. C. and E. A. Pilon-Smits (2021) Selenium transport and metabolism in plants: phytoremediation and biofortification implications. *Journal of Hazardous Materials* 404:124178, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124178>
- Waterman P. G. and S. Mole (1994) Analysis of Phenolic Plant Metabolites. Blackwell Scientific Publications. Oxford, England. 235 p.
- Zahedi S. M., M. S. Hosseini, N. D. H. Meybodyi and J. A. T. da Silva (2019) Foliar application of selenium and nano-selenium affects pomegranate (*Punica granatum* cv. Malase Saveh) fruit yield and quality. *South African Journal of Botany* 124:350-358, <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.05.019>