

La biofortificación con selenio mejora los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en chile jalapeño

Jazmín Monserrat Gaucin-Delgado¹

Pablo Preciado-Rangel^{1§}

Uriel González-Salas²

Ernesto Sifuentes-Ibarra³

Fidel Núñez-Ramírez⁴

Jorge Arnaldo Orozco Vidal¹

¹Posgrado en Agua y Suelo-Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón-San Pedro km 7.5, Torreón, Coahuila, México. CP. 27170. (jazmontse@hotmail.com; joorvi66@hotmail.com). ²Facultad de Agricultura y Zootecnia-Universidad Juárez del Estado de Durango. Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo km 32, Venecia, Gómez Palacio, Durango, México. CP. 35000 (u.gonzalez@ujed.mx). ³Campo Experimental Valle del Fuerte-INIFAP. Carretera internacional México-Nogales km 1609, Juan José Ríos, Sinaloa, México. CP. 81110. (eblnat68@gmail.com). ⁴Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California. Carretera a Delta s/n, ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México. CP. 21705. (fidel.nunez@uabc.edu.mx).

§Autor para correspondencia: ppreciador@yahoo.com.mx.

Resumen

El selenio (Se) es un oligoelemento esencial para la salud humana y en las plantas es considerado un elemento benéfico, al ser un promotor del crecimiento y un detonador de la respuesta antioxidante en las plantas. La biofortificación con Se, tiene como objetivo obtener alimentos ricos en este oligoelemento, de alta calidad nutricional que ayuden a combatir los problemas de desnutrición en la población. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la capacidad del selenato (Na_2SeO_4) sobre el rendimiento, biosíntesis de compuestos bioactivos y su acumulación en frutos de chile. Para ello cinco tratamientos fueron aplicados vía solución nutritiva: 0, 1.5, 3, 4.5 y 6 mg L⁻¹. En la cosecha, se cuantificó la calidad nutraceutica, la acumulación de Se en frutos, así como el rendimiento del cultivo. La biofortificación con Se modificó positivamente la biosíntesis de compuestos bioactivos y su concentración en fruto, sin disminución en el rendimiento. La incorporación de Se en la solución nutritiva es una opción para obtener alimentos funcionales con una calidad nutraceutica y con la posibilidad de mejorar la salud pública tras su consumo.

Palabras clave: *Capsicum annuum* L., alimento funcional, compuestos bioactivos.

Recibido: junio de 2021

Aceptado: septiembre de 2021

Introducción

El selenio (Se) es un oligoelemento importante en la nutrición humana, es esencial para formar proteínas y cofactor de enzimas antioxidantes como el glutatión peroxidasa (GPX), que protege el cuerpo humano al catalizar la reducción de las especies reactivas de oxígeno (ERO) (Schiavon *et al.*, 2020). Además, en los mamíferos, el Se forma al menos 25 selenoproteínas que cumplen funciones antioxidantes, catalíticas, antiinflamatorias, antivirales y antitumorales (Avery y Hoffmann, 2018).

Una deficiencia de este elemento provoca problemas de salud, incluida la enfermedad de Keshan (una miocardiopatía endémica), enfermedad de Kashin-Beck (osteoartritis deformante endémica) Ulloa *et al.* (2021), aceleración de procesos cancerígenos en la próstata (Sonkusre, 2020), problemas de fertilidad y debilitamiento del sistema inmunológico sistema de defensa contra enfermedades infecciosas virales como la influenza, virus de la inmunodeficiencia humana, distrofia muscular y fibrosis quística (Khurana *et al.*, 2019). De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, el consumo de Se en la dieta humana debe fluctuar entre 55 y 200 $\mu\text{g día}^{-1}$ en adultos (Górska *et al.*, 2021). La forma más común por la cual el organismo humano adquiere el Se es a través del consumo de alimentos, tales como la carne o el pescado (Sariñana-Navarrete *et al.*, 2021), que aportan un alto porcentaje de Se a la ingesta diaria requerida.

En el mundo, existen alrededor de mil millones de personas con deficiencias de Se, debido principalmente al consumo de dietas basadas en vegetales Błażewicz *et al.* (2020), las cuales contienen bajas concentraciones de Se, ya que este elemento se encuentra en pequeñas cantidades en el suelo (López *et al.*, 2021). Por otro lado, este elemento no se considera esencial para las plantas, pero podría ser considerado un elemento benéfico debido a que en bajas concentraciones él. Se aumenta el rendimiento, el contenido antioxidante y su concentración en la parte comestible (Preciado-Rangel *et al.*, 2021).

Una estrategia para aumentar el contenido de Se en los alimentos de origen vegetal es mediante la biofortificación que consiste en potenciar la bioactividad y el contenido de Se en las partes comestibles de las plantas Gaucin-Delgado *et al.* (2020). La fertilización foliar es la manera más práctica de para incorporar el Se a la cadena alimenticia (Lyons, 2018). Por otro lado, el chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.), una de las plantas más cultivadas en el mundo, debido a su importancia en la nutrición humana como en la industria farmacéutica (Espinosa-Palomeque *et al.*, 2020), los frutos de son una fuente de vitaminas. (A, E y C), carotenoides, capsaicinoides y compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes para la dieta humana (Natividad-Torres *et al.*, 2021).

La aplicación de micronutrientes a través de la biofortificación de cultivos es una herramienta muy útil no solo para incrementar la cantidad de los micronutrientes esenciales sino, además mejorar la biosíntesis de compuestos bioactivos (Gaucin-Delgado *et al.*, 2020). El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la biofortificación foliar con Selenio sobre el rendimiento, la calidad nutracéutica y la capacidad antioxidante del cultivo de chile jalapeño.

Materiales y métodos

Material vegetal y condiciones de crecimiento

La investigación se realizó en un invernadero con un sistema de enfriamiento automático ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Antonio Agraria Antonio Narro (UAAAN) en la Ciudad de Torreón, Coahuila, México (25° 33' 26" latitud norte, 103° 22' 31" longitud oeste, a una altitud de 1 230 m). El cultivo de estudio fue el chile jalapeño cv. Hijo de Mitla germinó en bandejas de poliestireno con 200 huecos rellenos de turba (Premier®, México) como sustrato. Estas bandejas de plantas se cubrieron con plástico negro durante 72 h y se regaron cada 24 h. El trasplante se realizó a los 45 días de la siembra de la semilla cuando las plantas presentaron una altura promedio de 150 mm, cada planta por maceta. Las macetas eran bolsas negras de polietileno de 500 de espesor y 18 L de capacidad, rellenas con diferentes proporciones de arena:perlita (80:20 vv). La arena del río se lavó y desinfectó con una solución de hipoclorito de sodio al 5%. Las bolsas se colocaron en doble hilera a 30 cm de centro a centro entre bolsas y 1.6 m entre hileras, para obtener una densidad de plantas de 4.2 plantas m⁻².

Los requerimientos de agua del cultivo fueron proporcionados por riego manual para proporcionar tres riegos por día, y cada planta recibió 0.6 L en cada riego, desde el trasplante hasta el inicio de la floración y de 2.5 a 3.5 L desde la floración hasta la cosecha. La polinización se realizó con cepillo eléctrico diariamente, desde el inicio de la floración hasta el cuajado. La temperatura mínima y máxima dentro del invernadero fluctuó entre 17.7 y 31.6 °C, respectivamente, mientras que la humedad relativa mínima y máxima osciló entre 30 y 70%.

Tratamientos y diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado, aplicando cinco dosis: 0, 1.5, 3, 4.5 y 6 mg L⁻¹ de Na₂SeO₃ (Sigma Aldrich) (León-Morales *et al.*, 2019). Los tratamientos con Se fueron aplicados cada 15 días con un total de seis aplicaciones a través de fertilización foliar. Se regó con solución nutritiva (Steiner, 1984), el pH y la conductividad eléctrica se mantuvieron en 5.5 y 2 dS m⁻¹ respectivamente. Se determinó el rendimiento, la calidad nutraceutica del fruto y la acumulación de selenio en frutos. Se utilizaron diez plantas por tratamiento.

Rendimiento del cultivo

En cada unidad experimental, el rendimiento se estimó considerando el número y el peso de la fruta individual por planta, registrando los rasgos individuales de la fruta como el peso con una balanza (Ohaus 3729®, México).

Calidad nutraceutica

Extracto de preparación: para la determinación de la calidad nutraceutica (compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidante), se mezclaron muestras de 2 g de fruto fresco con 10 ml de etanol en tubos plásticos se cerraron con tapón de rosca. Se uso un agitador tipo 'Stuart' para mantener la mezcla en agitación durante 24 h. Después se centrifugaron los tubos a 3 000 rpm durante 5 min (Cardeño, 2007). Los sobrenadantes se extrajeron para su análisis físico-químico.

Contenido fenólico total

Se determinó mediante una modificación del método de Folin-Ciocalteu (Singleton, 1999). Se tomaron 50 μl de extracto etanólico, se diluyeron en 3 ml de agua mQ, se agregaron 250 μl de Folin-Ciocalteu (1N), se agitó y se dejó reaccionar durante 3 min. Posteriormente, se agregaron 750 μl de Na_2CO_3 (20%) y 950 μl de agua mQ. La solución se dejó reposar durante 2 h y las muestras se midieron en un espectrofotómetro UV-Vis (CGoldenwall, rango de longitud de onda 340-1 000 nm y un ancho de banda espectral: 5 a 760 nm. La solución estándar se preparó con ácido gálico. Los resultados fueron expresados en $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco.

Flavonoides totales

Se determinaron mediante espectrofotometría Lamaison (1990). Se tomaron 250 μl de extracto etanólico y se mezcló con 1.25 ml de agua mQ y 75 μl de NaNO_2 (5%), se dejó 5 min y se agregaron 150 μl de AlCl_3 (10%). Posteriormente, se añadieron 500 μl de NaOH (1 M) y 275 μl de agua mQ. Se agitó vigorosamente y las muestras se cuantificaron en un espectrofotómetro UV-Vis (CGoldenwall, rango de longitud de onda 340-1 000 nm y ancho de banda espectral: 5 a 510 nm. El estándar se preparó con quercetina disuelta en etanol absoluto ($y = 0.0122x - 0.0067$; $r^2 = 0.965$). Los resultados se expresaron en $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de peso fresco.

Capacidad antioxidante total

Se midió por el método DPPH + *in vitro* (Brand-Williams, 1995). Se preparó una solución de DPPH + (Aldrich) en etanol, a una concentración de 0.025 mg ml^{-1} . Se mezclaron 50 μl del extracto etanólico con 1.95 μl de solución DPPH +, luego de 30 min las muestras se cuantificaron en un espectrofotómetro UV-Vis (CGoldenwall, rango de longitud de onda a 340-1 000 nm y un ancho de banda espectral: 5 a 517 nm. Los resultados se expresaron en equivalente a $\mu\text{M equiv Trolox } 100 \text{ g m}^{-1}$ peso fresco.

Capsaicina

El contenido de capsaicina se midió mediante una adaptación del método propuesto por Cisneros-Pineda *et al.* (2007). La absorbancia del extracto filtrado se obtuvo luego en un espectrofotómetro UV/Vis (Goldenwall, rango de longitud de onda a 340-1000 nm) previamente calibrado con acetonitrilo como blanco a una longitud de onda de 273 nm. El contenido de capsaicina se calculó mediante una curva estándar utilizando capsaicina (Sigma, St. Louis, Missouri, EE. UU.) Como estándar y los resultados se expresan en mg g^{-1} en peso fresco de capsaicina. Los análisis se realizaron por triplicado.

Acumulación de selenio en el cultivo

Las muestras de chile seco se molieron en un mortero de porcelana y se digirieron con ácido nítrico y perclórico (3: 1), utilizando una placa calefactora a $100 \text{ }^\circ\text{C}$. La solución se filtró y se hirvió para obtener 100 ml de solución de trabajo con agua desionizada. La concentración de selenio en frutos de tomate se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica (Hsieh y Ganther, 1975) los resultados se expresaron en $\mu\text{g kg}^{-1}$ de peso seco de frutos.

Análisis estadístico

La normalidad y homogeneidad de las varianzas de los datos obtenidos se verificaron mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Bartlett, respectivamente. Posteriormente, se realizó análisis de varianza de clasificación simple y comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey a una probabilidad del 5% ($p \leq 0.05$), con la ayuda del paquete de análisis estadístico SAS v 9.0 (SAS Institute, 2004).

Resultados y discusión

Rendimiento

La adición de Se, no afectó significativamente el rendimiento (Figura 1), debido a que el Se, no se considera elemento esencial para el metabolismo de las plantas, no se esperaría que la suplementación con Se cause cambios en el crecimiento y rendimiento de los cultivos Hernández-Hernández *et al.* (2019); Sin embargo, se ha reportado que al aplicar dosis altas de Se reduce el rendimiento de los cultivos, debido a que causa un estrés oxidativo en la planta, lo que puede incrementar la producción de radicales libre al defenderse del efecto tóxico provocado por las ERO (Hibaturrehman *et al.*, 2020), al contrario, al utilizar bajas dosis, se incrementa el rendimiento (Rady *et al.*, 2020) y evita la oxidación al regular la captación y redistribución de elementos esenciales en los sistemas antioxidantes o manteniendo el equilibrio iónico y la integridad estructural de la célula (Pannico *et al.*, 2019), permitiéndole a la planta adaptarse metabólicamente como fisiológicamente como respuesta al ataque del estrés oxidativo causado por el incremento de radicales libres bajo condiciones de estrés (Hasanuzzaman *et al.*, 2020).

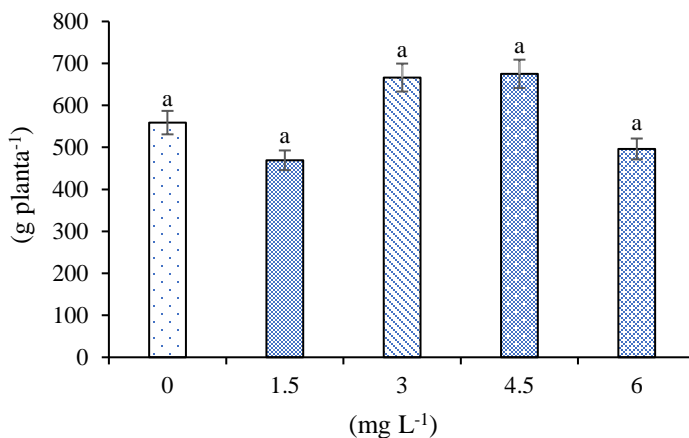


Figura 1. Efecto del Se sobre el rendimiento de frutos de chile. Los datos se muestran como media \pm desviación estándar (DE) ($n = 50$). Columnas con letras diferentes son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

La planta presenta respuesta diferencial al Se dependiendo de la dosis utilizada, tiene un impacto tanto positivo como negativo en las plantas, ya que en concentraciones bajas, el Se acumula como estimulante al promover el crecimiento, la fisiología de las plantas, aumentan el rendimiento (Gaucin-Delgado *et al.*, 2020) y en dosis altas se ejerce efectos negativos en el crecimiento y la fisiología de la planta (Silva *et al.*, 2020) e incluso muerte celular (Shahid *et al.*, 2018).

Compuestos bioactivos

La biosíntesis de compuestos fenólicos, flavonoides y capacidad antioxidante fue influenciada positivamente por la aplicación de Se (Figura 2a-2c), obteniéndose los mayores valores con 6 mg L⁻¹. Diversas investigaciones han demostrado que la aplicación de Se, puede incrementar la producción de compuestos bioactivos (Moteszarezhadeh *et al.*, 2020). Resultados similares a los del presente estudio fueron obtenidos en *Capsicum annuum* L., donde la aplicación de Se incrementó diversos compuestos bioactivos como fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante (Natividad-Torres *et al.*, 2021).

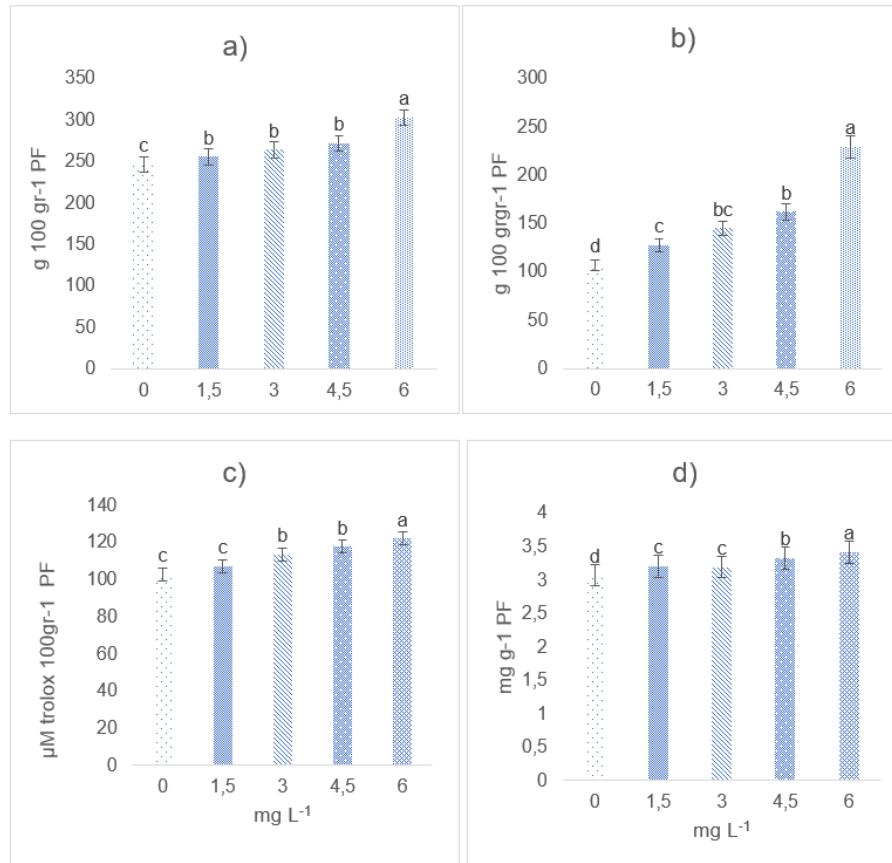


Figura 2. Efecto del Se sobre el contenido de fenólico (a); flavonoides totales (b); capacidad antioxidante (c); y capsaicina (d) en frutos de chile. Los datos se muestran como media \pm desviación estándar (DE) (n= 50). Columnas con letras diferentes son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Esta capacidad bioactiva posiblemente sea atribuida a la acción sinérgica que tiene el Se al poder actuar como un elemento vital al alterar varios procesos fisiológicos y bioquímicos D'Amato *et al.* (2018), además el Se afecta directamente el sistema de defensa antioxidante al aumenta el potencial de las plantas para sobreponerse a las condiciones de estrés biótico y abiótico (Hachmann *et al.*, 2019). Los resultados obtenidos en nuestro estudio se respaldan por (Hibaturrahman *et al.*, 2020), quienes encontraron que la suplementación en solución nutritiva con Na₂SeO₄ eleva la actividad antioxidante protegiendo así a las plantas del estrés oxidativo.

La producción de alimentos ricos en compuestos bioactivos, influye directamente en las actividades celulares y fisiológicas Sabatino *et al.* (2019), obteniendo, tras su ingesta, un aporte beneficioso para la salud humana (Shahid *et al.*, 2018) por sus diversas características, de protección en enfermedades de tipo coronario (Groth *et al.*, 2020) y tras evitar el envejecimiento celular (Hernández-Hernández *et al.*, 2019), además de ser usado como una alternativa para la prevención del cáncer (Vinceti *et al.*, 2018).

Capsaicina

La capsaicina es una oleorresina, componente activo de los pimientos picantes (Friedman *et al.* (2019). La capsaicina fue afectada positivamente por las dosis de Se evaluadas (Figura 2d). La concentración de capsaicina, estuvo en concordancia con las dosis de Se empleadas, el aumento en la pungencia del chile mejora su calidad, ya que esta característica es apreciada por los consumidores (Uarrota *et al.*, 2021). Los resultados indican una respuesta al contenido de capsaicina en los frutos de chile jalapeño al Se, aunque el mecanismo de acción en este proceso no se ha definido. La biosíntesis está influenciada por las interacciones genotipo-ambiente en frutos de *Capsicum* (Naves *et al.*, 2019), fenilpropanoídeos (Aza-González *et al.*, 2011) y los transportadores ABC, las subfamilias ABCC y ABCG, que pueden estar desempeñando papeles en el transporte de metabolitos secundarios como la capsaicina y dihidrocapsaicina a las vacuolas de placentas, afectando su contenido en frutos (Lopez-Ortiz *et al.*, 2019).

Probablemente a la interacción del Se en la planta al ocasionarle efectos estresantes Avery y Hoffmann (2018) que pudieran estar relacionados con un aumento la actividad de PAL y capsaicina sintasa aumentando la acumulación de capsaicinoides en el chile (Ulloa *et al.*, 2021), al regular negativamente la actividad de peroxidasa a niveles apropiados (Hernández-Pérez *et al.*, 2020).

Aunque la biosíntesis es un rasgo genético controlado, el medio ambiente también juega un papel importante dependiendo del genotipo Scossa *et al.* (2019) además, esta característica también está regulada desde el punto de vista del desarrollo y del medio ambiente Naves *et al.* (2019). Por otro lado, la capsaicina proporciona la sensación oral picante en la mayoría de los chiles (Scossa *et al.*, 2019); sin embargo, sus propiedades biológicas más importantes es su capacidad para actuar como antioxidantes para reducir el estrés oxidativo que conduce a la prevención de varias enfermedades degenerativas (Friedman *et al.*, 2019).

Contenido de Selenio en el cultivo

La adición de 6 mg L⁻¹ aumento el contenido de Se en los frutos de chile, existe una correlación positiva entre el Selenio en frutos y su disponibilidad ($r^2= 0.98$) (Figura 3). La absorción del Se dependen de la edad de la planta, especie vegetal y la forma química del elemento que se aplica, su concentración y el método de aplicación (Yin *et al.*, 2019). Los vegetales acumulan mayores cantidades de Se (Dai *et al.*, 2019).

Estudios previos muestran que la biofortificación aumenta significativamente la cantidad de elementos esenciales en la parte comestible de las plantas Silva *et al.* (2020), la cual puede aumentar en los cultivos biofortificados con Se hasta 30% con respecto a los no tratados (Zhu *et al.*, 2017). El Se en las plantas se metaboliza junto con el azufre dentro de los tejidos vegetales, transformándose en selenoproteínas que permiten almacenarse como Se-Met (Zhang *et al.*, 2019), acelerando el transporte, la acumulación, la volatilización y la tolerancia al Se (Raina *et al.*, 2020).

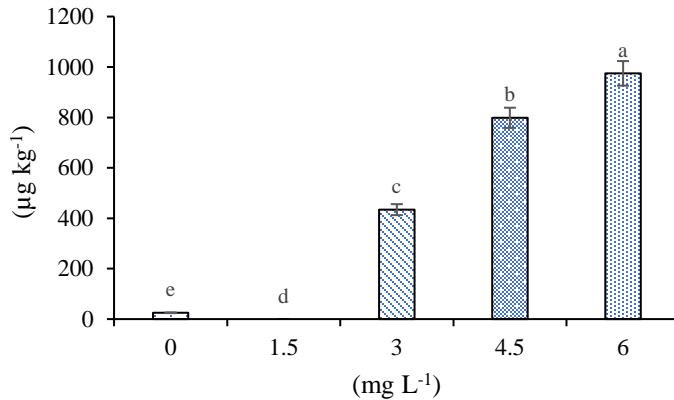


Figura 3. Concentración de Se en frutos de chile. Los datos se muestran como media \pm desviación estándar (DE) (n= 50). Las columnas con letras diferentes son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Actuando como un potente antioxidante, al permitir menores niveles de peroxidación lipídica y mayor actividad de enzimas antioxidantes, así como una mejor resistencia al estrés oxidativo (Skrypnik *et al.* (2019). Según la guía alimentaria para los estadounidenses, se debe obtener la mayoría de los nutrientes requeridos con la ingesta de alimentos (Padilla-Samaniego *et al.*, 2020). En este sentido el consumo de 0.74 g de chile jalapeño biofortificado con selenio, suple las necesidades diarias de este oligoelemento que es de 55 mg por día en adulto (Chomchan *et al.*, 2017; León-Morales *et al.*, 2019).

Conclusiones

La biofortificación agronómica con selenio mejora la calidad nutracéutica y la concentración de Se, sin afectar el rendimiento del cultivo de chile jalapeño, la utilización de Se es una alternativa para obtener alimentos funcionales y aumentar la acumulación del oligoelemento en los frutos de chile jalapeño, con la posibilidad de proteger la salud humana con su consumo.

Literatura citada

- Avery, J. C. and Hoffmann, P. R. 2018. Selenium, selenoproteins, and immunity. *Nutrients*. 10(9):1203-1223.
- Aza-González, C.; Núñez-Palenius, H. G. and Ochoa-Alejo, N. 2011. Molecular biology of capsaicinoid biosynthesis in chili pepper (*Capsicum* spp.). *Plant Cell Reports*. 30(5):695-706.
- Błażewicz, A.; Szymańska, I.; Dolliver, W.; Suchocki, P.; Turło, J.; Makarewicz, A. and Skórzyńska-Dziduszko, K. 2020. Are obese patients with autism spectrum disorder more likely to be selenium deficient?. *Research findings on pre-and post-pubertal children*. *Nutrients*. 12(11):3581.
- Brand-Williams, W.; Cuvelier, M. E. and Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science Technology*. 28(1):25-30
- Cardeño, Á.V.; Molina, M. C.; Miranda, I.; García, G. T.; Morales, J. M. and Stashenko, E. E. 2007. Actividad antioxidante y contenido total de fenoles de los extractos etanólicos de *Salvia aratocensis*, *Salvia Sochensis*, *Bidens reptans* y *Montanoa ovalifolia*. *Scientia et Technica*. 13(33):205-207.

- Chomchan, R.; Siripongvutikorn, S. and Puttarak, P. J. 2017. Selenium bio-fortification: an alternative to improve phytochemicals and bioactivities of plant foods. *Functional Foods in Health Disease*. 7(3):263-279.
- D'Amato, R.; Fontanella, M. C.; Falcinelli, B.; Beone, G. M.; Bravi, E.; Marconi, O.; Benincasa, P. and Businelli, D. J. 2018. Selenium biofortification in rice (*Oryza sativa* L.) sprouting: effects on Se yield and nutritional traits with focus on phenolic acid profile. *J. of Agric. Food Chem.* 66(16):4082-4090.
- Dai, H.; Wei, S.; Skuza, L. and Jia, G. 2019. Selenium spiked in soil promoted zinc accumulation of Chinese cabbage and improved its antioxidant system and lipid peroxidation. *Ecotoxicol. Environ. Safety*. 180(19):179-184.
- Espinosa-Palomeque, B.; Cano-Ríos, P.; Salas-Pérez, L.; González-Rodríguez, G.; Reyes-González, A.; Ayala-Garay, A. V. and Preciado-Rangel, P. J. 2020. Vermicompost on the production and nutraceutical quality of jalapeño pepper fruits (*Capsicum annuum* L.). *Terra Latinoam.* 38(4):795-803.
- Friedman, J. R.; Richbart, S. D.; Merritt, J. C.; Brown, K. C.; Denning, K. L.; Tirona, M. T.; Valentovic, M. A.; Miles, S. L. and Dasgupta, P. 2019. Capsaicinoids: multiple effects on angiogenesis, invasion and metastasis in human cancers. *Biomedicine Pharmacotherapy*. 118(109317):2-9.
- Gaucin-Delgado, J. M.; Hernandez-Montiel, L. G.; Sanchez-Chavez, E.; Ortega-Ortiz, H.; Fortis-Hernandez, M.; Reyes-Pérez, J. J. and Preciado-Rangel, P. 2020. Agronomic biofortification with selenium improves the yield and nutraceutical quality in tomato under soilless conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 48(3):1221-1232.
- Górska, S.; Maksymiuk, A. and Turło, J. 2021. Selenium-containing polysaccharides structural diversity, biosynthesis, chemical modifications and biological activity. *Appl. Sci.* 11(8):3717.
- Groth, S.; Budke, C.; Neugart, S.; Ackermann, S.; Kappenstein, F. S.; Daum, D. and Rohn, S. 2020. Influence of a selenium biofortification on antioxidant properties and phenolic compounds of apples (*Malus domestica*). *Antioxidants*. 9(2):187-209.
- Hachmann, T. L.; Rezende, R.; Matumoto-Pintro, P. T.; Saath, R.; Anjo, F. A. and Menezes, C. S. L. 2019. Yield, antioxidant activity and shelf-life of cauliflower inflorescences under drought stress and foliar spraying of selenium. *Ciência e Agrotecnologia*. 43 p.
- Hasanuzzaman, M.; Bhuyan, M. B.; Raza, A.; Hawrylak-Nowak, B.; Matraszek-Gawron, R.; Al Mahmud, J.; Nahar, K. and Fujita, M. 2020. Selenium in plants: boon or bane? *Environ. Exp. Bot.* 178(10):104170.
- Hernández-Hernández, M.; León-Morales, J.; López-Bibiano, Y.; Saldaña-Sánchez, W. D. and García-Morales, S. 2019. Efecto comparativo del selenito y selenato en el crecimiento y contenido de pigmentos fotosintéticos en plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) *Biotecnología y Sustentabilidad*. 3(2):12-12.
- Hernández-Pérez, T.; Gómez-García, M. D. R.; Valverde, M. E. and Paredes-López, O. J. 2020. *Capsicum annuum* (hot pepper): An ancient Latin-American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential. A review. *Comprehensive Reviews in Food Science Food Safety*. 19(6):2972-2993.
- Hibaturrahman, S. N.; Koyama, H.; Kameo, S.; Waspodo, P.; Wardana, A. A. and Surono, I. S. 2020. Effect of cocoyam modified starch (*Xanthosoma sagittifolium*), beetroot juice, cocoyam modified starch adsorbing beetroot on plasma selenium and glutathione peroxidase of pre-diabetic rat. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing. 426(1):012184.

- Hsieh, H. S. and Ganther, H. E. 1975. Acid-volatile selenium formation catalyzed by glutathione reductase. *Biochemistry*. 14(8):1632-1636.
- Khurana, A.; Tekula, S.; Saifi, M. A.; Venkatesh, P. and Godugu, C. 2019. Therapeutic applications of selenium nanoparticles. *Biomedicine Pharmacotherapy*. 111(12):802-812.
- Lamaison, J. and Carnet, A. 1990. The levels of the main flavonoids completing of the flower of *Craaegeus monogyna* Jawq and *Crataegeus laevigata* (poiret) as a function of the vegetation. *Pharm Acta Helv*. 65(1):315-320.
- León-Morales, J.; Panamá-Raymundo, W.; Langarica-Velázquez, E. and García-Morales, S. 2019. Selenio y vanadio en la germinación y el crecimiento de plántulas de chile (*Capsicum annuum* L.) y rábano (*Raphanus sativus*). *Rev. Bio Ciencias*. 6(10): e425-e441.
- Lopez-Ortiz, C.; Dutta, S. K.; Natarajan, P.; Peña-García, Y.; Abburi, V.; Saminathan, T.; Nimmakayala, P. and Reddy, U. K. 2019. Genome-wide identification and gene expression pattern of ABC transporter gene family in *Capsicum* spp. *PLoS One*. 14(4): e0215901-e0215924.
- López, E. A. T.; Sandoval-Rangel, A.; Mendoza, A. B.; Ortiz, H. O.; Pliego, G. C. and de la Fuente, M. C. 2021. Nanopartículas de selenio absorbidas en hidrogeles de quitosán-polivinil alcohol en la producción de pepino injertado. *Rev. Mex. Cienc. Agríc*. 6(26):159-169.
- Lyons, G. 2018. Biofortification of cereals with foliar selenium and iodine could reduce hypothyroidism. *Front. Plant Sci*. 9(730):2-8.
- Motesharezadeh, B.; Ghorbani, S. and Alikhani, H. A. 2020. The effect of selenium biofortification in alfalfa (*Medicago sativa*). *J. Plant Nutr*. 43(2):240-250.
- Natividad-Torres, E. A.; Guevara-Aguilar, A.; Sánchez, E.; Sida-Arreola, J. P.; Muñoz-Márquez, E. and Chávez-Mendoza, C. J. 2021. Effect of the processing on the antioxidant capacity and bioactive compounds content of jalapeno pepper for chipotle and commercial sauces. *Acta Agríc. Pec*. 7(1):E00710007-E00710009.
- Naves, E. R.; de Ávila Silva, L.; Sulpice, R.; Araújo, W. L.; Nunes-Nesi, A.; Peres, L. E. and Zsögön, A. 2019. Capsaicinoids: pungency beyond *Capsicum*. *Trends Plant Sci*. 24(2):109-120.
- Padilla-Samaniego, M. V.; Naranjo-Rodríguez, C. E.; Ramírez-Anormaliza, R. I.; Lozada-Meza, M. L.; Solís-Manzano, A. M. and Calderón-Vallejo, C. V. 2020. Tamaño y porciones del consumo de alimentos de la población: disponibilidad de información actualizada. *Rev. Eugenio Espejo*. 14(2):30-50.
- Pannico, A.; El-Nakhel, C.; Kyriacou, M. C.; Giordano, M.; Stazi, S. R.; De Pascale, S. and Roupheal, Y. 2019. Combating micronutrient deficiency and enhancing food functional quality through selenium fortification of select lettuce genotypes grown in a closed soilless system. *Front. Plant Sci*. 10(19):1495-1534.
- Preciado-Rangel, P.; Hernández-Montiel, L. G.; Valdez-Cepeda, R. D.; Cruz-Lázaro, E. D. L.; Lara-Capistrán, L.; Morales-Morales, B. and Gaucin-Delgado, J. M. 2021. Biofortification with selenium increases bioactive compounds and antioxidant capacity in tomato fruits. *Terra Latinoam*. 39(e979):1-10.
- Rady, M. M.; Belal, H. E.; Gadallah, F. M. and Semida, W. M. 2020. Selenium application in two methods promotes drought tolerance in *Solanum lycopersicum* plant by inducing the antioxidant defense system. *Scientia Hort*. 9(34):113-128.
- Raina, M.; Sharma, A.; Nazir, M.; Kumari, P.; Rustagi, A.; Hami, A.; Bhau, B. S.; Zargar, S. M. and Kumar, D. 2020. Exploring the new dimensions of selenium research to understand the underlying mechanism of its uptake, translocation, and accumulation. *Physiol. Plantarum*. 171(4):882-895.

- Sabatino, L.; Ntatsi, G.; Iapichino, G.; D'Anna, F. and 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):207-222.
- Sariñana-Navarrete, M. D. Á.; Hernández-Montiel, L. G.; Sánchez-Chavez, E.; Reyes-Perez, J. J.; Murillo-Amador, B.; Reyes-González, A. and Preciado-Rangel, P. 2021. Foliar fertilization of sodium selenite and its effects on yield and nutraceutical quality in grapevine. *Rev. Fac. Agron.* 38(4):806-824.
- Schiavon, M.; Nardi, S.; Dalla, V. F. and Ertani, A. 2020. Selenium biofortification in the 21st century: status and challenges for healthy human nutrition. *Plant Soil*. 453(1):1-26.
- Scossa, F.; Roda, F.; Tohge, T.; Georgiev, M. I. and Fernie, A. R. 2019. The hot and the colorful: understanding the metabolism, genetics and evolution of consumer preferred metabolic traits in pepper and related species. *Critical Rev. Plant Sci.* 38(6):339-381.
- Shahid, M.; Niazi, N. K.; Khalid, S.; Murtaza, B.; Bibi, I. and Rashid, M. I. 2018. A critical review of selenium biogeochemical behavior in soil-plant system with an inference to human health. *Environ. Pollut.* 234(17):915-934.
- Singleton, V. L.; Orthofer, R. and Lamuela-Raventós, R. M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. 299(14):152-178.
- Silva, D. F.; Cipriano, P. E.; de Souza, R. R.; Júnior, M. S.; Faquin, V.; de Souza Silva, M. L. and Guilherme, L. R. G. 2020. Biofortification with selenium and implications in the absorption of macronutrients in *Raphanus sativus* L. *J. Food Comp. Analysis*. 86(18):103382-103409.
- Skrypnik, L.; Kurkova, T. and Chupakhina, G. 2019. Accumulation of selenium in rye plants (*Secale cereale* L.) at different stages of development and grain quality due to selenate soil supplementation. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 17(2):2385-2421.
- Sonkusre, P. 2020. Specificity of biogenic selenium nanoparticles for prostate cancer therapy with reduced risk of toxicity: an *in vitro* and *in vivo* study. *Front. Oncol.* 9(1):1541-1559.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *International Congress on Soilless ISOSC*. 1:25.
- Uarrota, V. G.; Maraschin, M.; de Bairoos, Â. D. F. M. and Pedreschi, R. 2021. Factors affecting the capsaicinoid profile of hot peppers and biological activity of their non-pungent analogs (*Capsinoids*) present in sweet peppers. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 61(4):649-665.
- Ulloa, J.; Muñoz, J. S. C.; Barrios, A. V. F.; Van Uden, E. and Tafur, S. 2021. Importancia y beneficios del consumo de huevo de gallina enriquecido con selenio: revisión narrativa. *Rev. Nutrición Clínica y Metabolismo*. 4(3):124-129.
- Vinceti, M.; Filippini, T.; Del Giovane, C.; Dennert, G.; Zwahlen, M.; Brinkman, M.; Zeegers, M. P.; Horneber, M.; D'Amico, R. and Crespi, C. M. 2018. Selenium for preventing cancer. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 1(1):1465-1858.
- Yin, H.; Qi, Z.; Li, M.; Ahammed, G. J.; Chu, X. and Zhou, J. J. 2019. Selenium forms and methods of application differentially modulate plant growth, photosynthesis, stress tolerance, selenium content and speciation in *Oryza sativa* L. *Ecotoxicol. Environ. Safety*. 169(19):911-917.
- Zhang, L.; Hu, B.; Deng, K.; Gao, X.; Sun, G.; Zhang, Z.; Li, P.; Wang, W.; Li, H. and Zhang, Z. J. 2019. NRT1. 1B improves selenium concentrations in rice grains by facilitating selenomethionine translocation. *Plant Biotechnol. J.* 17(16): 1058-1068.
- Zhu, Z.; Chen, Y.; Shi, G. and Zhang, X. 2017. Selenium delays tomato fruit ripening by inhibiting ethylene biosynthesis and enhancing the antioxidant defense system. *Food Chem.* 219(1):179-184.