

La biofortificación con selenio mejora la calidad nutracéutica y la capacidad antioxidante de la lechuga (*Lactuca sativa* L.)

Selenium biofortification improves nutraceutical quality and antioxidant capacity of lettuce (*Lactuca sativa* L.)

Alain Buendía-García¹ ,
Carlos Javier Lozano-Cavazos¹ ,
Juan Carlos Rodríguez-Ortiz⁴ ,
Fernando de Jesús Carballo-
Méndez³ ,
Alejandro Moreno-Reséndez¹ ,
María de los Ángeles Sariñana-
Navarrete² ,
Pablo Preciado-Rangel^{2*} 

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, Torreón, Coahuila, México.

²Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Torreón. Torreón, Coahuila, México.

³Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía. General Escobedo, Nuevo León, México

⁴Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía y Veterinaria. San Luis Potosí, México.

*Autor de correspondencia:
ppreciador@yahoo.com.mx

Nota científica

Recibida: 11 de Agosto 2021

Aceptada: 23 de septiembre 2021

Como citar: Buendía-García A, Lozano-Cavazos CJ, Rodríguez-Ortiz JC, Carballo-Méndez FJ, Moreno-Reséndez A, Sariñana-Navarrete MA, Preciado-Rangel P (2021) La biofortificación con selenio mejora la calidad nutracéutica y la capacidad antioxidante de la lechuga (*Lactuca sativa* L.). Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 8(3): e3104. DOI: 10.19136/era.a8n3.3104

RESUMEN. El Selenio (Se), es un micronutriente esencial para los humanos y su deficiencia afecta a un 15% de la población mundial. La biofortificación agronómica mejora la biosíntesis de compuestos bioactivos y propicia su bioacumulación. En el presente trabajo se evaluó el efecto de la aplicación foliar de Se sobre el rendimiento, biosíntesis de compuestos bioactivos y acumulación en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv "Parris Island cos". Cinco tratamientos fueron utilizados: 0, 10, 20, 40 y 60 μ M L⁻¹. La biofortificación con Se modificó positivamente la biosíntesis de compuestos fitoquímicos y su concentración en hojas de lechuga, sin afectar el rendimiento. La aspersión foliar de Se es una alternativa para incrementar la biosíntesis de compuestos fitoquímicos e incrementar la concentración de este elemento en lechuga con la posibilidad de mejorar la salud pública con su consumo.

Palabras clave: Selenato, rendimiento, compuestos fitoquímicos.

ABSTRACT. Selenium (Se) is an essential micronutrient for humans and its deficiency affects 15% of the world's population. Agronomic biofortification improves the biosynthesis of bioactive compounds and promotes their bioaccumulation. In the present work, the effect of foliar application of Se on yield, biosynthesis of bioactive compounds and accumulation in lettuce (*Lactuca sativa* L.) cv "Parris Island cos". was evaluated. Five treatments were used: 0, 10, 20, 40 and 60 μ M L⁻¹. Biofortification with the biosynthesis of phytochemical compounds and their concentration in lettuce leaves was positively modified, without affecting the yield. Se foliar spraying is an alternative to increase the biosynthesis of phytochemical compounds and increase the concentration of this element in lettuce with the possibility of improving public health with its consumption.

Key words: Selenate, yield, phytochemical compounds.

INTRODUCCIÓN

El Selenio (Se) es un oligoelemento esencial en la nutrición humana, participando en varias funciones dentro del organismo que mantienen el crecimiento y adecuado funcionamiento de las células (Schiavon *et al.* 2020). Este elemento es un cofactor de la enzima glutatión peroxidasa, la cual es un catalizador en la reducción de peróxidos que pueden dañar las células y tejidos, además puede actuar como antioxidante (Puccinelli *et al.* 2017). Las formas de Se que están biodisponibles para el ser humano son los selenoaminoácidos (Selenometionina SeMet y Selenocisteína SeCys), estos aminoácidos forman parte constituyente de las selenoproteínas, las cuales tienen un papel importante en sistemas antioxidantes, equilibrio hormonal, inmunidad, fertilidad masculina, resistencia a infecciones virales y prevención de cáncer (Rayman 2020). Las selenoproteínas necesitan varios cofactores para su síntesis y dependen principalmente de la ingesta del Se contenido en la carne o pescado (Willers *et al.* 2015), debido a que los alimentos de origen vegetal presentan un bajo contenido de este oligoelemento (Kleine-Kalmer *et al.* 2021), como un reflejo de la concentración de este elemento en el suelo (White 2016), lo anterior se manifiesta como una deficiencia de Se que afecta al 15% de la población mundial (Wu *et al.* 2015, García-Márquez *et al.* 2020). 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 (Gaucín-Delgado *et al.* 2020). La fertilización foliar y edáfica, son los principales métodos para la suplementación de Se a los cultivos; sin embargo, debido a la baja eficiencia de la aplicación al suelo, la aspersión foliar con Se, es considerado como el método más efectivo para el enriquecimiento de los cultivos con micronutrientes (Deng *et al.* 2019). Por otro lado, la lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una de las hortalizas de hoja más consumidas en el mundo, principalmente en fresco (Medina-Lozano *et al.* 2021), es rica en fibra, ácidos grasos, aminoácidos, proteínas y minerales (Kim *et*

al. 2016). Además, posee compuestos fitoquímicos (Lee *et al.* 2021), que aportan propiedades antioxidantes (Zapata-Vahos *et al.* 2020). La aplicación de micronutrientes a través de la biofortificación de cultivos es una herramienta útil no solo para incrementar la cantidad de minerales sino, además, se mejora considerablemente la producción de compuestos bioactivos. Por tanto, 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 en el cultivo de lechuga.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y tratamientos

El estudio se realizó en un invernadero circular ubicado en el Instituto Tecnológico de Torreón, Coahuila, México, localizado geográficamente a 24° 30' de latitud norte, 102° 00' de longitud oeste y altitud de 1 120 metros sobre el nivel del mar. Semilla de lechuga (*Lactuca sativa* L.) "Parris Island cos" de Heirloom Seeds[®] fueron germinadas en placas de foamy agrícola. Treinta días después de la siembra las plántulas se trasplantaron a un sistema hidropónico NFT y la nutrición del cultivo se realizó utilizando la solución nutritiva Steiner (Steiner 1961). Los tratamientos evaluados consistieron en la aplicación foliar de selenato de sodio (Na₂SeO₄. 95% de pureza, Sigma-Aldrich[®]): 0, 10, 20, 40 y 60 μ M L⁻¹, utilizando agua destilada como diluyente y un surfactante comercial no tóxico (INEX-A[®]), 2 mL L⁻¹). Las aplicaciones foliares se realizaron con aspersores manuales durante las primeras horas de la mañana, en total se realizaron tres aspersiones cada 15 días después del trasplante.

Muestreo

Las lechugas se cosecharon 60 días después del trasplante, se midieron y se pesaron para determinar las variables respuesta del rendimiento y bioquímicas, así como el contenido de Se en hojas de lechuga, obteniendo seis muestras por cada tratamiento.

Rendimiento

Para determinar el peso fresco (rendimiento del cultivo), las cabezas de lechuga se cosecharon y se pesaron en una balanza analítica (Ohaus Corporation, Pine Brook, Nueva Jersey, EE. UU).

Análisis proximal de lechuga

El contenido de proteína se determinó con el método Dumas (Calvo *et al.* 2008), el contenido de fibra cruda se determinó de acuerdo a la NOM-F-90-S-1978, el contenido de grasa se determinó con el método Goldfish de acuerdo a la NMX-F-427-1982.

Determinación de selenio

Las muestras secas se trituraron en un mortero de porcelana y se digirieron con ácido nítrico y perclórico (3:1), utilizando una placa calefactora a 100 °C. La solución se filtró y se hirvió para obtener 100 mL de solución de trabajo con agua desionizada. La concentración de selenio en hojas de lechuga se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica (Helrich 1990), los resultados se expresaron en $\mu\text{g kg}^{-1}$ de peso seco de hojas de lechuga.

Compuestos bioactivos

Para los extractos etanólicos, se molieron 100 g de pulpa de lechuga fresca por tratamiento y se utilizaron para determinar la calidad nutracéutica de la lechuga. Se colocó 1 g de muestra en un tubo Falcon de 15 mL y se agregaron 10 mL de etanol grado reactivo. Después de 1 min de agitación en Vortex, se dejaron reposar durante 24 h. Los extractos etanólicos se decantaron posteriormente a 3500 x g y el sobrenadante se transfirió a un tubo Falcon y se almacenó a -20 °C hasta su uso.

El contenido fenólico total se determinó mediante una modificación del método de Folin-Ciocalteu (García-Nava, 2009). Se tomaron 150 μL de extracto etanólico, se diluyeron en 3 mL de agua (milli-Q), se agregaron 250 μL de reactivo de Folin-Ciocalteu (1N), se agitó y se dejó reaccionar durante 3 min. Posteriormente se añadieron 750 μL de Na_2CO_3 (20%) y 950 μL de agua (milli-Q). Se dejó reposar la solución durante 2 h y se cuantificaron las muestras en un espectrofotómetro UV-Vis a 760 nm.

El patrón se preparó con ácido gálico. Los resultados se expresaron en $\text{mg GAE } 100\text{ g}^{-1}$ de peso fresco.

Los flavonoides totales se determinaron por colorimetría (García-Nava, 2009). Se tomaron 200 μL de extracto etanólico, se mezclaron con 1,25 mL de agua (milli-Q) y 75 μL de NaNO_2 (5%). Después de 5 min de reposo, se agregaron 150 μL de AlCl_3 . Posteriormente, se añadieron 500 μL de NaOH (1 M) y 275 μL de agua (milli-Q). Se agitó vigorosamente y las muestras se cuantificaron en un espectrofotómetro UV-Vis 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 $\text{mg QE } 100\text{ g}^{-1}$ de peso fresco.

La capacidad antioxidante total se midió mediante el método DPPH + *in vitro* (Brand-Williams *et al.* 1995). Se preparó una solución de DPPH^+ (Aldrich, St. Louis, Missouri, EE. UU.) en etanol, a una concentración de 0,025 mg mL^{-1} . Se mezclaron 700 μL de extracto etanólico con 1.300 μL de solución DPPH^+ , después de 30 min las muestras se cuantificaron en un espectrofotómetro UV-Vis a 517 nm. Los resultados se expresaron en μM equivalente en Trolox 100 g^{-1} de peso fresco.

Análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar con seis repeticiones por tratamiento, considerándose una planta como unidad experimental. Las variables respuesta fueron analizadas mediante un análisis de varianza para determinar las diferencias entre los tratamientos y donde se detectó diferencia significativa, se utilizó la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento

La aspersión foliar de Se en las dosis utilizadas no afectó el peso fresco de la lechuga (Tabla 1). Debido a que el Se no es considerado 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 (Hossain *et*

Tabla 1. Efecto de la aplicación foliar de Na_2SeO_4 sobre el peso fresco y composición proximal de lechuga.

Na_2SeO_4 $\mu\text{M L}^{-1}$	Peso fresco g	Grasa cruda	Proteína cruda %	Fibra cruda
Control	568.2	3,14 ^c	14.55 ^e	16.63 ^d
10	769.7	3,44 ^{bc}	17.44 ^b	16.04 ^e
20	771.7	5.15 ^a	18.28 ^a	17.61 ^a
40	667.7	3.69 ^b	16.36 ^c	17.05 ^c
60	656.9	4.8 ^a	15.05 ^d	17.21 ^b

* Letras diferentes indican una diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

al. 2021). Sin embargo, existen reportes contradictorios al respecto, ya que él Se en dosis bajas afecta positivamente el rendimiento (Zhu *et al.* 2017) y altas dosis causan toxicidad en las plantas debido a la alta producción de especies reactivas de oxígeno, que inhiben el crecimiento y el rendimiento (Lapaz *et al.* 2019). Los resultados son consistentes con los trabajos reportados por Wang *et al.* (2020) en *Triticum aestivum* L y Rahim *et al.* (2020) en *Solanum lycopersicon* L, quienes tampoco encontraron cambios en el rendimiento. En general la respuesta de la planta al Se depende de la concentración utilizada (Gaucín-Delgado *et al.* 2020); la sensibilidad de la especie (El-Ramady *et al.* 2020), la especie química utilizada y el método de aplicación, por lo que no existe una dosis única para todos los cultivos (Oliveira *et al.* 2018).

Composición proximal

Los resultados obtenidos muestran que la aspersión foliar con Se causó cambios significativos ($P \leq 0.05$), en el contenido de grasa, proteína y fibra cruda (Tabla 1). Se aprecia que los mayores valores de estos parámetros fueron obtenidos con la aspersión foliar de $20 \mu\text{M L}^{-1}$. Los incrementos de este tratamiento con relación al testigo fueron de 20.4, 5.6 y 39% para el contenido de grasa, proteínas y fibra cruda, respectivamente. La utilización de Se en los programas de biofortificación es una buena estrategia agronómica; debido a que además de incrementar el contenido de oligoelementos esenciales para la nutrición humana, mejora sustancialmente la calidad proximal de los vegetales ya que la adecuada proporción de fibra, proteína y grasa en algunos vegetales de hoja verde sugieren su potencial como agentes

anabólicos y como fuentes alternativas de energía (Moussa *et al.* 2020). Las proteínas consumidas en la dieta humana proveen un aminoácido que el cuerpo no es capaz de producir (Khan *et al.* 2019). La grasa cruda determina los grasos lípidos libres y puede modificar el sabor de los alimentos (Emelike *et al.* 2020). Adicionalmente, un alto contenido de fibra en la dieta diaria reduce los niveles de colesterol en el cuerpo, resultando en la baja incidencia de enfermedades cardiovasculares (Chatepa y Masamba 2020). El incremento de las proteínas probablemente sea debido a una mayor síntesis de las selenoproteínas (selenometionina (SeMet) y la selenocisteína (SeCys), las cuales dependen principalmente del Se (Gupta y Gupta 2017).

Calidad nutracéutica

La calidad nutracéutica de lechuga determinada por los compuestos fenólicos, flavonoides totales y la capacidad antioxidante, fue afectada significativamente ($P \leq 0.05$) por la aspersión foliar de Se. Los mayores valores se lograron con la aspersión foliar de $60 \mu\text{M L}^{-1}$, superando 21.68, 105.11 y 8.6% en la cuantificación de fenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante en las plantas del tratamiento testigo (Figura 1a, 1b, 1c). Una dieta rica en vegetales con un alto contenido de compuestos fitoquímicos es recomendable para la prevención de algunas enfermedades y el cáncer (Preciado-Rangel *et al.* 2021), de ahí la importancia de incrementar la biosíntesis de estos compuestos antes de su cosecha y su posterior consumo. La mayor calidad nutracéutica y actividad antioxidante en las lechugas tratadas con Se, puede estar relacionado con una mayor actividad enzimática antioxidante del glutatión peroxi-

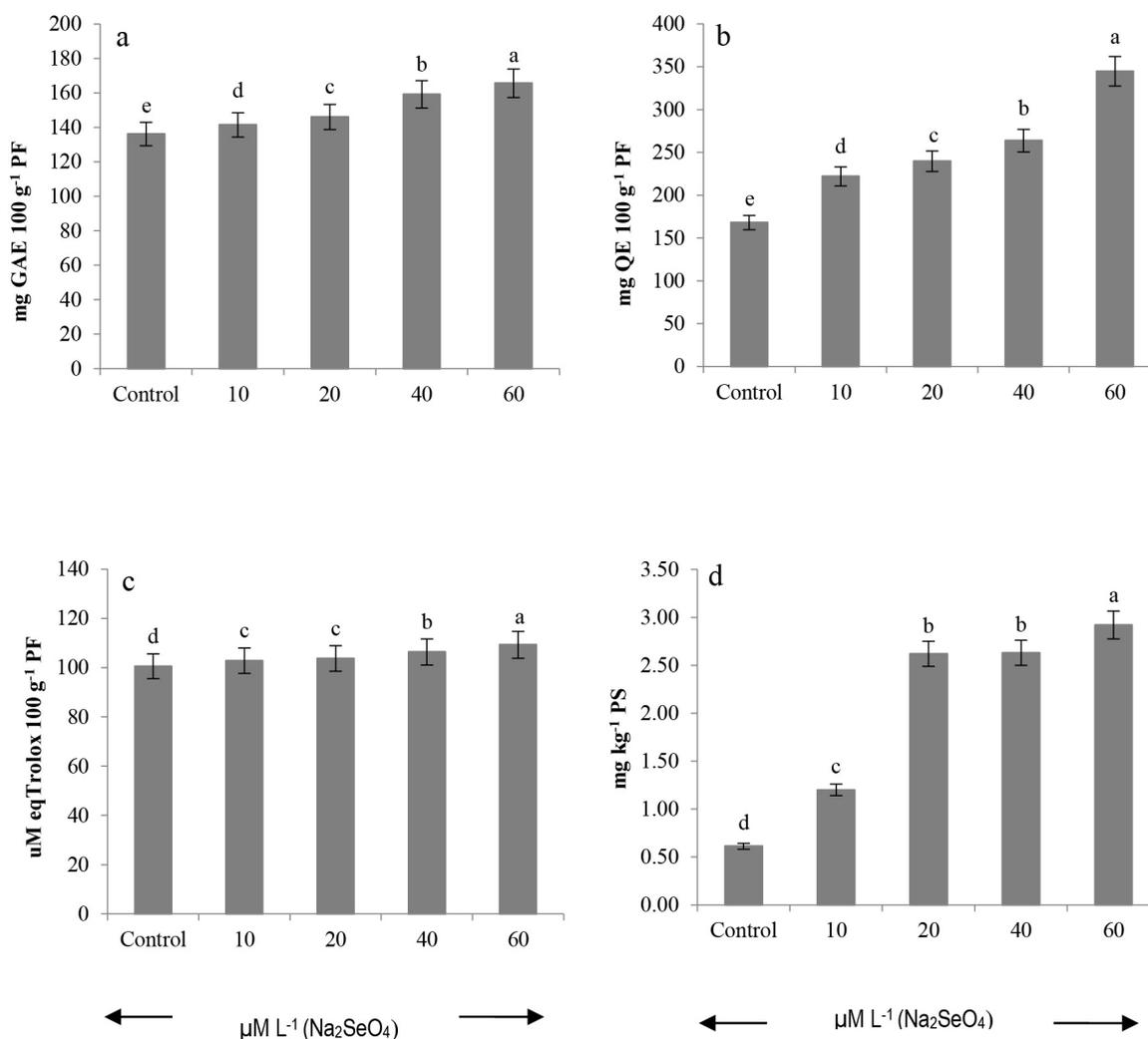


Figura 1. Efecto del Se sobre el contenido de compuestos fenólicos (a), flavonoides (b), capacidad antioxidante (c) y concentración de selenio (d) en plantas de lechuga. *Las columnas con letras diferentes difieren estadísticamente entre ellas (Tukey $P \leq 0.05$).

dasa ya que él Se forma parte de sus cuatro centros catalíticos (Hawrylak-Nowak *et al.* 2018). Además, se ha demostrado que este elemento regula la ruta biosintética de los fenilpropanoides, que conduce a una mayor biosíntesis de metabolitos secundarios, los cuales determinan las características organolépticas y la capacidad antioxidante (Mimmo *et al.* 2017). Esta respuesta también se ha reportado en investigaciones desarrolladas en diversos cultivos, con diferentes fuentes de Se y formas de aplicación (Zahedi *et al.* 2019, Groth *et al.* 2020).

Contenido de Se en lechuga

La bioacumulación de Se en las hojas de lechuga se incrementó de manera proporcional a la dosis asperjada (Figura 1d). La mayor acumulación de este elemento correspondió a la mayor dosis utilizada ($60 \mu\text{M L}^{-1}$), superando un 79% al tratamiento testigo. Desde su descubrimiento en 1817, muchos estudios han confirmado la esencialidad del Se para la salud humana, y su rol en la prevención de enfermedades crónicas, cardiovasculares, y como componente esencial de más de 25 enzimas (El-Ramady *et al.* 2020). No obstante, el aporte de Se que se

obtiene de los alimentos de origen vegetal, en algunas regiones del mundo, no es el suficiente para suplir la ingesta diaria que fluctúa entre 55-400 μg día⁻¹ por adulto (Stefani *et al.* 2020). Debido a la baja eficiencia de la fertilización edáfica, la aspersión foliar con Se, es considerado como el método más efectivo para la biofortificación de los cultivos (Deng *et al.* 2019), incluido los sistemas hidropónicos los cuales son muy eficientes (Smoleń *et al.* 2014). Estudios previos muestran que la biofortificación aumenta significativamente la cantidad de elementos esenciales en la parte comestible de la planta (da Silva *et al.* 2020), la cual puede aumentar en los cultivos biofortificados con Se hasta 30% con respecto a los

cultivos no tratados (Zhu *et al.* 2017). Nuestros resultados sugieren que el consumo de lechuga biofortificadas con 10 μM de Se ($\sim 100\text{ g}$) aportan la cantidad promedio de Se de 120 μg día⁻¹, y el consumo de lechugas biofortificadas con 60 μM de Se ($\sim 100\text{ g}$), aportan la cantidad media recomendada en la ingesta diaria ($\sim 250\text{ }\mu\text{g}$ día⁻¹). Con lo anterior, la aspersión foliar con Se en lechuga, surge como una alternativa para mejorar la calidad nutracéutica de un cultivo de periodo corto, de rápido crecimiento, y con la capacidad de acumular Se en sus tejidos, dejándola como una opción más para disminuir la deficiencia de Se en humanos.

LITERATURA CITADA

- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C (1995) Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology* 28: 25-30.
- Calvo NIR, Echeverría HE, Rozas HS (2008) Comparación de métodos de determinación de nitrógeno y azufre en planta: Implicancia en el diagnóstico de azufre en trigo. *Ciencia del Suelo* 26: 161-167.
- Chatepa LEC, Masamba KG (2020) Proximate and phytochemical composition of selected indigenous leafy vegetables consumed in Malawi. *African Journal of Food Science* 14: 265-273.
- da Silva DF, Cipriano PE, de Souza RR, Siueia M, Faquin V, de Souza-Silva ML, Guilherme LRG (2020) Biofortification with selenium and implications in the absorption of macronutrients in *Raphanus sativus* L. *Journal of Food Composition and Analysis* 86: 103382. DOI: 10.1016/j.jfca.2019.103382.
- Deng XF, Zhao ZQ, Han ZY, Huang LQ, Lv CH, Zhang ZH, Liu XW (2019) Selenium uptake and fruit quality of pear (*Pyrus communis* L.) treated with foliar Se application. *Journal of Plant Nutrition Soil Science* 182: 637-646.
- El-Ramady H, Faizy S ED, Abdalla N, Taha, H, Domokos-Szabolcsy É, Fari M, Brevik EC (2020) Selenium and Nano-Selenium Biofortification for Human Health: Opportunities and Challenges. *Soil Systems* 4: 57. DOI: 10.3390/soilsystems4030057.
- Emelike N, Ujong A, Achinewhu SI (2020) Proximate composition, mineral bioavailability and functional properties of defatted and undefatted avocado pear (*Persia americana*) seed flours. *Asian Food Science Journal* 17: 1-10.
- García-Márquez V, Morelos-Moreno Á, Benavides-Mendoza A, Medrano-Macías J (2020) Ionic selenium and nanoselenium as biofortifiers and stimulators of plant metabolism. *Agronomy* 10: 1399. DOI: 10.3390/agronomy10091399.
- García-Nava MA (2009) Cuantificación de fenoles y flavonoides totales en extractos naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. *Revista Academica* 1: 1-4.
- Gaucin-Delgado JM, Hernandez-Montiel LG, Sanchez-Chavez E, Ortega-Ortiz H, Fortis-Hernandez M, Reyes-Pérez JJ, Preciado-Rangel P (2020) Agronomic biofortification with selenium improves the yield and nu-

- traceutical quality in tomato under soilless conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoc* 48: 1221-1232.
- Groth S, Budke C, Neugart S, Ackermann S, Kappenstein FS Daum D, Rohn S (2020) Influence of a Selenium Biofortification on Antioxidant Properties and Phenolic Compounds of Apples (*Malus domestica*). *Antioxidants* 9: 187. DOI: 10.3390/antiox9020187.
- Gupta M, Gupta S (2017) An overview of selenium uptake, metabolism, and toxicity in plants. *Frontiers in Plant Science* 7: 2074. DOI: 10.3389/fpls.2016.02074.
- Hawrylak-Nowak B, Dresler, S, Rubinowska K, Matraszek-Gawron R, Woch W, Hasanuzzaman M (2018) Selenium biofortification enhances the growth and alters the physiological response of lamb's lettuce grown under high temperature stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 127: 446-456.
- Helrich K (1990) *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*, 15th ed. AOAC. Arlington, VA, USA. 1059p.
- Hossain A, Skalicky M, Brestic M, Maitra S, Sarkar S, Ahmad Z, Laing AM (2021) Selenium Biofortification: Roles, Mechanisms, Responses and Prospects. *Molecules* 26: 881. DOI: 10.3390/molecules26040881.
- Khan N, Ahmed MJ, Shah SZA (2019) Comparative analysis of mineral content and proximate composition from chilli pepper (*Capsicum annuum* L.) germplasm. *Pure Applied Biology* 8: 1338-1347.
- Kim M J, Moon Y, Tou JC, Mou B, Waterland NL (2016) Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis* 49: 19-34.
- Kleine-Kalmer R, Profeta A, Daum D, Enneking U (2021) Willingness to purchase selenium-and iodine-biofortified apples-a discrete choice analysis with German consumers. *Nutrients* 13: 1625. DOI: 10.20944/preprints202103.0371.v1.
- Lapaz A dM, Santos LFdM, Yoshida C H P, Heinrichs R, Campos M, Reis ARd (2019) Physiological and toxic effects of selenium on seed germination of cowpea seedlings. *Bragantia* 78: 498-508.
- Lee M, Rivard C, Pliakoni E, Wang W, Rajashekar C (2021) Supplemental UV-A and UV-B affect the nutritional quality of lettuce and tomato: Health-Promoting phytochemicals and essential nutrients. *American Journal of Plant Sciences* 12: 104-126.
- Medina-Lozano I, Bertolín JR, Díaz A (2021) Nutritional value of commercial and traditional lettuce (*Lactuca sativa* L.) and wild relatives: Vitamin C and anthocyanin content. *Food Chemistry* 359: 129864. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129864.
- Mimmo T, Tiziani R, Valentinuzzi F, Lucini L, Nicoletto C, Sambo P, Cesco S (2017) Selenium Biofortification in *Fragaria x ananassa*: Implications on Strawberry Fruits Quality, Content of Bioactive Health Beneficial Compounds and Metabolomic Profile. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1887. DOI: 10.3389/fpls.2017.01887.
- Moussa MID, Alashi A M, Sossa-Vihotogbe CNA, Akponikpe PBI, Baco MN, Djèntonin AJ, Akissoé NH (2020) Proximate composition, mineral profile and trypsin-inhibitory activity of West African leafy vegetables: influence of urea micro-dosing and harvest time. *Polish Journal of Food Nutrition Sciences* 70: DOI: 10.31883/pjfn/119674.
- Oliveira VCd, Faquin V, Guimarães KC, Andrade FR, Pereira J, Guilherme LRG (2018) Agronomic biofortification of carrot with selenium. *Ciência e Agrotecnologia* 42: 138-147.
- Puccinelli M, Malorgio F, Pezzarossa B (2017) Selenium Enrichment of Horticultural Crops. *Molecules* 22: 933. DOI: 10.3390/molecules22060933.

- Preciado-Rangel P, Hernández-Montiel LG, Valdez-Cepeda RD, de la Cruz-Lázaro E, Lara-Capistrán L, Morales-Morales B, Gaucin-Delgado JM (2021) Biofortification with selenium increases bioactive compounds and antioxidant capacity in tomato fruits. *Terra Latinoamericana* 39: 1-10. DOI: 10.28940/terra.v39i0.979.
- Rahim F P, Rocio CG, Adalberto BM, Lidia Rosaura SC, Maginot NH (2020) Agronomic Biofortification with Selenium in Tomato Crops (*Solanum lycopersicon* L. Mill). *Agriculture* 10: 486. DOI: 10.3390/agriculture10100486.
- Rayman MP (2020) Selenium intake, status, and health: a complex relationship. *Hormones* 19: 9-14.
- Ryant P, Antošovský J, Adam V, Ducsay L, Škarpa P, Sapáková E (2020) The importance of selenium in fruit nutrition. In: Srivastava AK, Hu C (eds.) *Fruit Crops*. Elsevier. England. pp: 241-254.
- Sabatino L, Ntatsi G, Iapichino G, D'Anna F, 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: 207. DOI: 10.3390/agronomy9040207.
- Schiavon M, Nardi S, dalla-Vecchia F, Ertani A (2020) Selenium biofortification in the 21st century: status and challenges for healthy human nutrition. *Plant and Soil* 453: 245-270.
- Smoleń S, Kowalska I, Sady W (2014) Assessment of biofortification with iodine and selenium of lettuce cultivated in the NFT hydroponic system. *Scientia Horticulturae* 166: 9-16.
- Stefani S, Halim L, Andayani DE, Witjaksono F (2020) Selenium in Hyperthyroidism. *World Nutrition Journal* 3: 24-37.
- Steiner AA (1961) A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil* 15: 134-154.
- Wang M, Ali F, Wang M, Dinh QT, Zhou F, Bañuelos GS, Liang D (2020) Understanding boosting selenium accumulation in Wheat (*Triticum aestivum* L.) following foliar selenium application at different stages, forms, and doses. *Environmental Science Pollution Research* 27: 717-728.
- White PJ (2016) Selenium accumulation by plants. *Annals of Botany* 117: 217-235.
- Willers J, Heinemann M, Bitterlich N, Hahn A (2015) Intake of minerals from food supplements in a German population-a nationwide survey. *Food Nutrition Sciences* 6: 205-215.
- Wu Z, Bañuelos GS, Lin ZQ, Liu Y, Yuan L, Yin X, Li M (2015) Biofortification and phytoremediation of selenium in China. *Frontiers in Plant Science* 6: DOI: 10.3389/fpls.2015.00136.
- Zahedi S M, Hosseini M S, Daneshvar Hakimi Meybodi N, Teixeira da Silva JA (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.
- Zapata-Vahos IC, Rojas-Rodas F, David D, Gutierrez-Monsalve JA, Castro-Restrepo D (2020) Comparison of antioxidant contents of green and red leaf lettuce cultivated in hydroponic systems in greenhouses and conventional soil cultivation. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 73: 9077-9088.
- Zhu Z, Chen Y, Shi G, Zhang X (2017) Selenium delays tomato fruit ripening by inhibiting ethylene biosynthesis and enhancing the antioxidant defense system. *Food Chemistry* 219: 179-184.