

Artículo Científico

Selenio como bioestimulante en el crecimiento y rendimiento de *Brassica oleracea*

Selenium as a biostimulant in the growth and yield of Brassica oleracea



Manobanda-Bustillo, María José ¹



<https://orcid.org/0009-0006-6400-3333>



mariajosemanobanda@hotmail.com



Grupo Manobanda, Ecuador, Quevedo.



Galarza-Vera, Adriana Nicole ³



<https://orcid.org/0009-0000-4052-0455>



adriananicolegalarzavera@gmail.com



Investigadora Independiente, Ecuador, Quevedo.



Llerena-Ramos, Luis Tarquino ⁵



<https://orcid.org/0000-0001-8927-7417>



llerenaramos@uteq.edu.ec



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo.



Solis-Pérez, Jennifer Maribel ²



<https://orcid.org/0009-0003-6594-6817>



jennifersolis2016@gmail.com



Investigadora Independiente, Ecuador, Quevedo.



Toapanta-Garces, Katteryn Lissett ⁴



<https://orcid.org/0009-0006-3215-3169>



ktoapantag2505@gmail.com



Investigadora Independiente, Ecuador, Quevedo.

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n4/104>

Resumen: El brócoli (*Brassica oleracea*) constituye un cultivo hortícola de elevado valor nutricional y económico, sensible a la disponibilidad de micronutrientes esenciales. Con el objetivo de determinar el efecto bioestimulante del selenio sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo, se desarrolló un ensayo bajo condiciones controladas en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, campus "La María" (65 m s.n.m.). Se aplicó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos (0, 3, 5 y 7 mg L⁻¹ de selenio) y cinco repeticiones. Los resultados mostraron que el tratamiento de 7 mg L⁻¹ promovió el mayor desarrollo vegetativo y rendimiento, registrando promedios de 54,30 cm de altura, 5,55 cm de diámetro de tallo, 20 hojas por planta, 297,96 g de peso de pella, 9,26 cm de diámetro ecuatorial y 19 847,62 kg ha⁻¹ de rendimiento, con una rentabilidad del 159 %. En contraste, el control presentó 8 415,4 kg ha⁻¹ y la menor rentabilidad (17,88 %). Se concluye que la aplicación de selenio actúa como bioestimulante fisiológico, mejorando significativamente el crecimiento, la productividad y la eficiencia económica del brócoli, lo que la convierte en una estrategia agronómica sostenible con potencial para optimizar sistemas hortícolas intensivos.

Palabras clave: bioestimulación, sostenibilidad, hortalizas, nutrición.



Check for updates

Received: 04/Oct/2025
Accepted: 18/Oct/2025
Published: 31/Oct/2025

Cita: Manobanda-Bustillo, M. J., Solis-Pérez, J. M., Galarza-Vera, A. N., Toapanta-Garces, K. L., & Llerena-Ramos, L. T. (2025). Selenio como bioestimulante en el crecimiento y rendimiento de *Brassica oleracea*. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 3(4), 162-176. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n4/104>

Revista Científica Ciencia y Método (RCyM)
<https://revistacym.com>
revistacym@editorialgrupo-aea.com
info@editoriagrupo-aea.com

© 2025. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.



Abstract:

Broccoli (*Brassica oleracea*) is a horticultural crop with high nutritional and economic value that is sensitive to the availability of essential micronutrients. In order to determine the biostimulant effect of selenium on crop growth and yield, a trial was conducted under controlled conditions in the greenhouse of the Faculty of Agricultural and Forestry Sciences of the Quevedo State Technical University, “La María” campus (65 m above sea level). A completely randomized design was applied with four treatments (0, 3, 5, and 7 mg L⁻¹ of selenium) and five replicates. The results showed that the 7 mg L⁻¹ treatment promoted the highest vegetative development and yield, registering averages of 54.30 cm in height, 5.55 cm in stem diameter, 20 leaves per plant, 297.96 g head weight, 9.26 cm equatorial diameter, and 19,847.62 kg ha⁻¹ yield, with a profitability of 159%. In contrast, the control had 8,415.4 kg ha⁻¹ and the lowest profitability (17.88%). It is concluded that the application of selenium acts as a physiological biostimulant, significantly improving the growth, productivity, and economic efficiency of broccoli, making it a sustainable agronomic strategy with the potential to optimize intensive horticultural systems.

Keywords: biostimulation, sustainability, vegetables, nutrition.

1. Introducción

En las últimas décadas ha crecido la preocupación mundial por la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, debido a los impactos ambientales generados por la agricultura convencional o de la denominada “Revolución Verde” (Abdelsalam et al., 2023). Este modelo de producción se basa en el uso intensivo de insumos sintéticos con el propósito de incrementar los rendimientos, caracterizándose por la predominancia de monocultivos, el empleo de variedades de alto rendimiento ya sean híbridas o transgénicas, la mecanización extensiva y la aplicación de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades, así como para suplir los requerimientos nutricionales de los cultivos (Sharafi et al., 2022; Ahmed et al., 2020).

Si bien este sistema permitió aumentos significativos en la productividad agrícola, también generó consecuencias ambientales severas, como la pérdida de fertilidad del suelo, la degradación de la calidad del agua y la contaminación de ecosistemas (Seleiman et al., 2021). Además, la expansión de este modelo ha propiciado la concentración de tierras en grandes industrias, la reducción de enemigos naturales y la disminución de polinizadores esenciales para la reproducción de numerosas especies vegetales (Ali et al., 2020). De igual manera, la exposición continua a agroquímicos tóxicos representa un riesgo para la salud humana, especialmente para los productores agrícolas (Guardiola-Márquez et al., 2022).

Ante esta situación, diversos investigadores e instituciones promueven la adopción de modelos productivos sostenibles que preserven el equilibrio ambiental y mantengan la rentabilidad agrícola (Prokisch et al., 2024). En este contexto, la agroecología y la agricultura orgánica emergen como alternativas viables al modelo convencional, al basarse en prácticas en armonía con la naturaleza y en el uso de productos de origen natural (Mohammadhassan et al., 2021).

Entre las estrategias complementarias hacia una agricultura más sostenible destaca el uso de micronutrientes con funciones bioestimulantes, como el selenio (Se), elemento con potencial para mejorar la producción agrícola y contribuir al desarrollo de alimentos más beneficiosos para la salud (Huang et al., 2023). En plantas, el Se puede modular procesos metabólicos y fisiológicos, aumentando la tolerancia frente a la toxicidad por metales pesados como cadmio y arsénico, y favoreciendo la síntesis de compuestos antioxidantes (Shahid et al., 2019). Asimismo, el selenio participa en el metabolismo redox, potencia la resistencia a factores de estrés biótico y abiótico, y estimula el crecimiento vegetal (Hernández-Hernández et al., 2018). En dosis bajas, actúa como agente antioxidante, antimicrobiano y modulador del estrés, aunque puede resultar tóxico dependiendo de la concentración y la forma química aplicada (Garza-García et al., 2022). Su suplementación mejora la tolerancia al estrés por metales/metaloideos, al restringir su absorción y promover la homeostasis celular y el crecimiento vegetal (Hasanuzzaman et al., 2022).

La fertilización constituye uno de los factores más determinantes y controlables sobre el rendimiento y el valor nutricional de las hortalizas, entre ellas el brócoli (*Brassica oleracea*), un cultivo de alto valor económico y alimenticio (Dhanraj & Rajeshkumar, 2021). En Ecuador, la producción de brócoli alcanza aproximadamente 70 000 toneladas métricas en 3 639 hectáreas, con un rendimiento promedio de 19,24 t ha⁻¹ (Chintamani et al., 2020). En este contexto, se considera prioritario desarrollar alternativas de manejo nutricional que contribuyan a la sostenibilidad del sistema productivo. Por ello, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de selenio sobre el crecimiento, la productividad y la rentabilidad del cultivo de brócoli.

2. Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, campus experimental “La María”, situado en el kilómetro 7.5 de la vía Quevedo–El Empalme, a una altitud de 65 m s. n. m., con coordenadas geográficas 01°04′49″ S y 79°32′05″ O. La zona presenta una temperatura media anual de 24,9 °C, humedad relativa promedio de 84 %, precipitación media anual de 2 295,1 mm y una heliofanía de 870,2 h año⁻¹, correspondiendo a la zona ecológica de bosque húmedo tropical (BH-T), según la estación meteorológica “Pichilingue” del INAMHI (serie 1990–2019).

La investigación fue de carácter experimental y se ejecutó bajo condiciones controladas de invernadero con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes concentraciones de selenio sobre las variables agronómicas del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea*). El diseño experimental fue un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro tratamientos y cinco repeticiones. Los tratamientos estuvieron conformados de la siguiente manera: T1: control (sin aplicación de selenio, solo agua); T2: 3 mg L⁻¹ de selenio; T3: 5 mg L⁻¹ de selenio; y T4: 7 mg L⁻¹ de selenio. Cada unidad experimental consistió en un macetero con 10 kg de sustrato compuesto por una mezcla 3:1:1 de tierra negra, aserrín de madera y arena de río, previamente cernidos y homogenizados para eliminar impurezas.

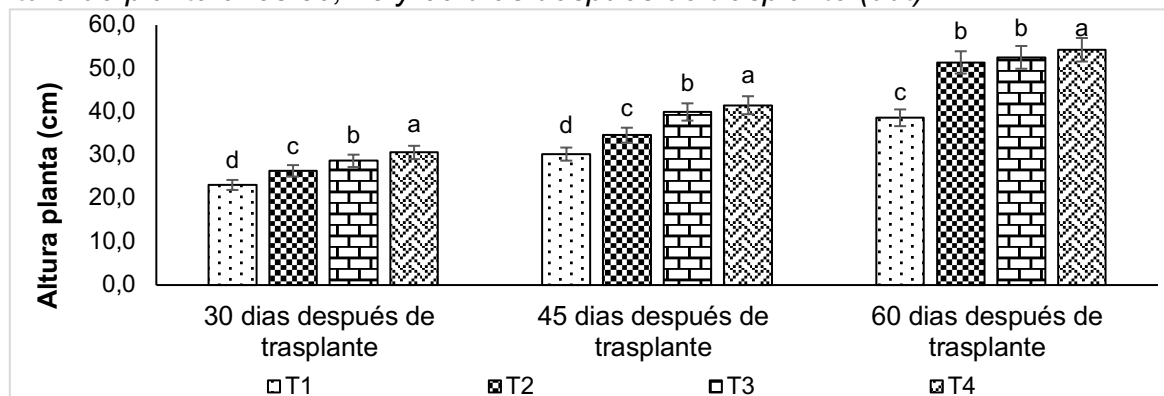
La fertilización se ejecutó según los tratamientos establecidos, aplicando las dosis de selenio de forma fraccionada: 40 % a los 8 días después del trasplante (ddt), 30 % a los 25 ddt y el 30 % restante a los 40 ddt, con el fin de garantizar un suministro progresivo del micronutriente. La cosecha se realizó manualmente cuando las pellas alcanzaron el grado óptimo de desarrollo y calidad comercial.

Se evaluaron variables agronómicas como altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas, longitud de raíz, pesos fresco y seco de hojas, tallo y raíz, además del diámetro ecuatorial y peso de pella. Las mediciones se realizaron en cinco plantas por tratamiento a los 30, 45 y 60 días después de la siembra, y el peso seco se determinó en estufa a 60–65 °C durante 36 horas. El rendimiento se expresó en kg ha⁻¹ y los datos se analizaron mediante ANOVA y prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) con Infostat 2019, incluyendo un análisis beneficio/costo para determinar la rentabilidad.

3. Resultados

3.1. Altura de planta

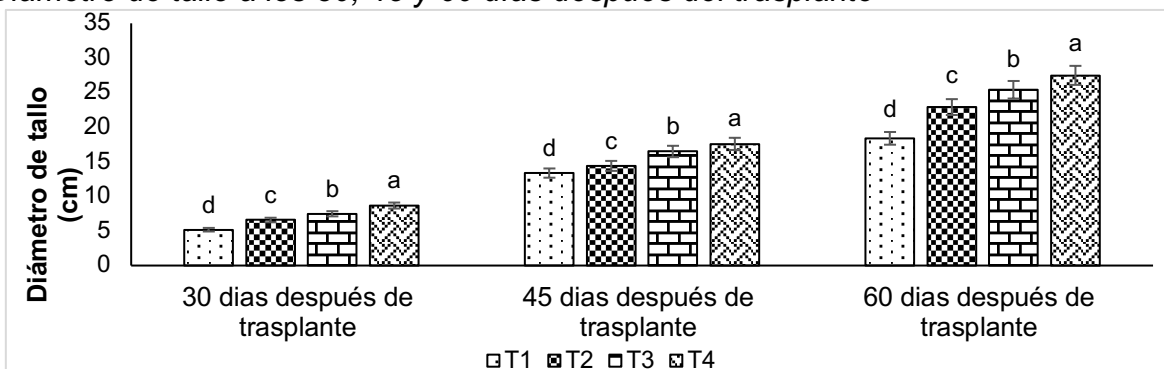
Respecto a la altura de planta se observa diferencias significativas tanto a los 30, 45 y 60 días después del trasplante (ddt), el tratamiento T4: Selenio (7 mg L⁻¹) represento la mayor altura en las tres fechas de registro de datos, a los 30 días alcanza un promedio de 30,60 cm; a los 45 días un promedio de 41,50 cm y a los 60 días un promedio de 54,30 cm; el tratamiento T1: Control (sin aplicación) fue el que obtuvo los promedios más bajos los cuales se ubicaron entre 23,10 cm y 38,60 cm. Los coeficientes de varianza fueron 2,61%, 1,56% y 1,61% respectivamente (Figura 1).

Figura 1*Altura de planta a los 30, 45 y 60 días después de trasplante (ddt)*

Nota: promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad. T1: Control (sin aplicación); T2: Selenio (3 mg L⁻¹); T3: Selenio (5 mg L⁻¹); T4: Selenio (7 mg L⁻¹) (Autores, 2025).

3.2. Diámetro del tallo

En cuanto al diámetro del tallo a los 30, 45 y 60 días después del trasplante los tratamientos presentan diferencias significativas, el promedio más alto durante las tres fechas lo presentó el tratamiento T4: Selenio (7 mg L⁻¹) el cual va de 1,77 cm a los 30 días, 3,83 cm a los 45 días y 5,55 cm a los 60 ddt, por otra el promedio más bajo lo obtuvo el tratamiento T1: Control (sin aplicación) con 0,80 cm a los 30 días, 1,56 a los 45 días y 3,53 a los 60 días después del trasplante. Los coeficientes de varianza fueron 5,24%, 3,40% y 1,66% respectivamente (Figura 2).

Figura 2*Diámetro de tallo a los 30, 45 y 60 días después del trasplante*

Nota: promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad. T1: Control (sin aplicación); T2: Selenio (3 mg L⁻¹); T3: Selenio (5 mg L⁻¹); T4: Selenio (7 mg L⁻¹) (Autores, 2025).

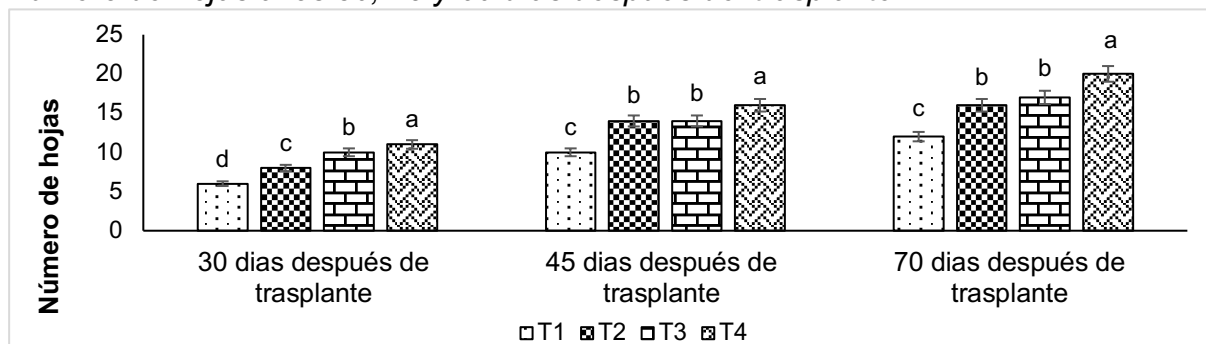
3.3. Número de hojas

En el número de hojas se evidencian diferencias significativas en los 30, 45, días después del trasplante (ddt), el tratamiento T4; Selenio (7 mg L⁻¹) alcanza el mayor promedio de número de hojas en las tres fechas de toma de datos, a los 30 días alcanza un promedio de 11 hojas; a los 45 días un promedio de 16 hojas y a los 60 días un promedio de 20 hojas; el tratamiento T1: Control (sin aplicación) fue el que obtuvo los promedios más bajos a los 30 días obtuvo 6 hojas, a los 30 días alcanza

10 hojas y a los 60 días obtuvo 12 hojas. Los coeficientes de varianza fueron de 5,98%, 3,88% y 3,64% respectivamente (Figura 3).

Figura 3

Número de hojas a los 30, 45 y 60 días después del trasplante



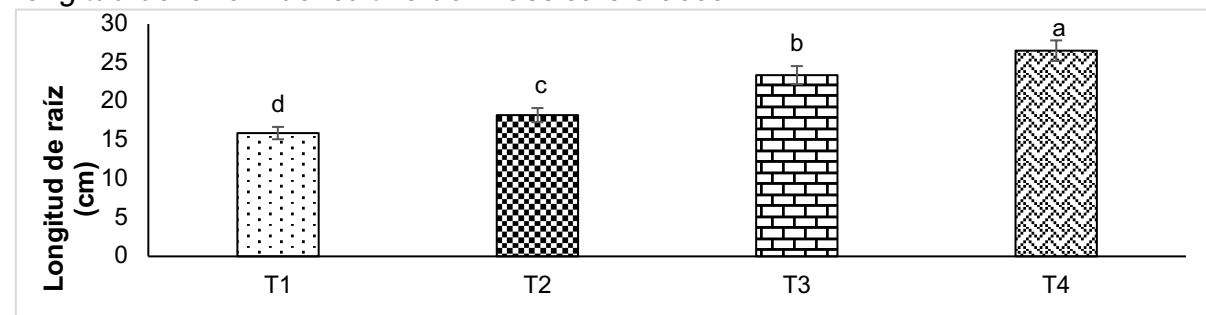
Nota: promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad. T1: Control (sin aplicación); T2: Selenio (3 mg L⁻¹); T3: Selenio (5 mg L⁻¹); T4: Selenio (7 mg L⁻¹) (Autores, 2025).

3.4. Longitud de la raíz

Respecto de la longitud de la raíz, los tratamientos muestran diferencias significativas, el tratamiento T4: Selenio (7 mg L⁻¹) alcanzo el promedio más alto con 26,56 cm de longitud, luego le sigue el tratamiento T3: Selenio (5 mg L⁻¹) con 23,4 cm; por otra parte, el tratamiento T1: Control (sin aplicación) presento la media más baja de todos los tratamientos con 15,92 centímetros de longitud. El coeficiente de varianza fue de 3,82% (Figura 4).

Figura 4

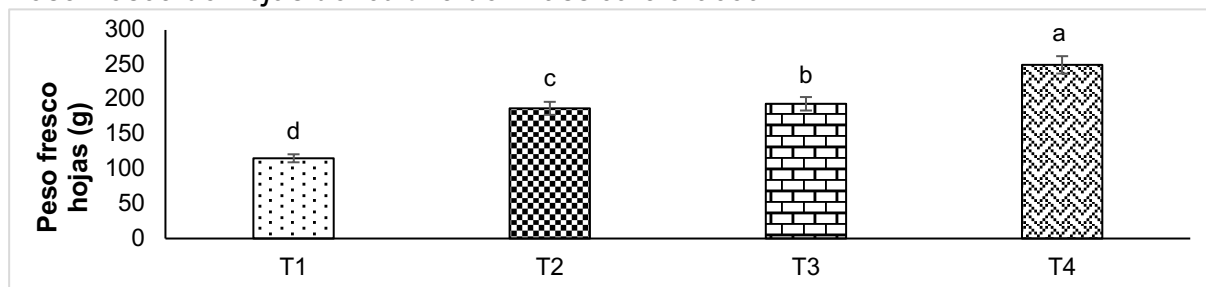
Longitud de la raíz del cultivo de Brassica oleracea



Nota: promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad. T1: Control (sin aplicación); T2: Selenio (3 mg L⁻¹); T3: Selenio (5 mg L⁻¹); T4: Selenio (7 mg L⁻¹) (Autores, 2025).

3.5. Peso fresco de hojas

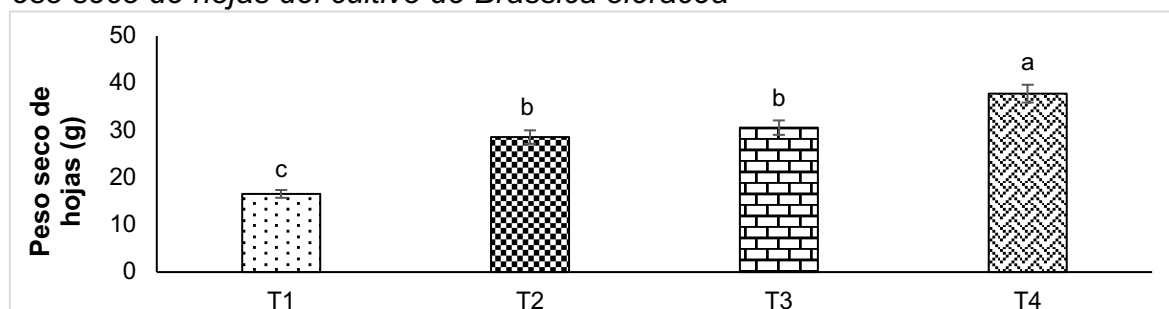
El análisis estadístico de la variable peso fresco de hojas muestra que existe diferencias significativas entre los tratamientos, el más alto de los promedios lo alcanzo el tratamiento T4: Selenio (7 mg L⁻¹) con una media de 249,8 gramos, seguido por el tratamiento T3: Selenio (5 mg L⁻¹) con una media de 193,8 gramos, por otra parte, el más bajo de los promedios lo obtuvo el tratamiento T1: Control (sin aplicación) con 115,4 gramos. El coeficiente de varianza fue de 1,33% (Figura 5).

Figura 5*Peso fresco de hojas del cultivo de Brassica oleracea*

Nota: promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad. T1: Control (sin aplicación); T2: Selenio (3 mg L⁻¹); T3: Selenio (5 mg L⁻¹); T4: Selenio (7 mg L⁻¹) (Autores, 2025).

3.6. Peso seco de las hojas

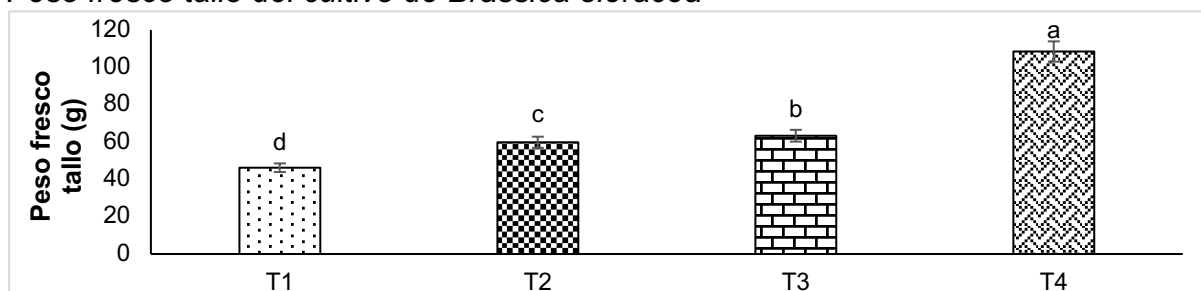
Respecto a la variable peso seco de hojas, el análisis estadístico evidencio que existe diferencias significativas entre los tratamientos, el más alto de los promedios lo alcanzo el tratamiento T4: Selenio (7 mg L⁻¹) con una media de 37,8 gramos, seguido por el tratamiento T3: Selenio (5 mg L⁻¹) con una media de 30,6 gramos, el más bajo de los promedios lo obtuvo el tratamiento T1: Control (sin aplicación) con 16,56 gramos. El coeficiente de varianza fue de 5,63% (Figura 6).

Figura 6*Peso seco de hojas del cultivo de Brassica oleracea*

Nota: promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad. T1: Control (sin aplicación); T2: Selenio (3 mg L⁻¹); T3: Selenio (5 mg L⁻¹); T4: Selenio (7 mg L⁻¹) (Autores, 2025).

3.7. Peso fresco del tallo

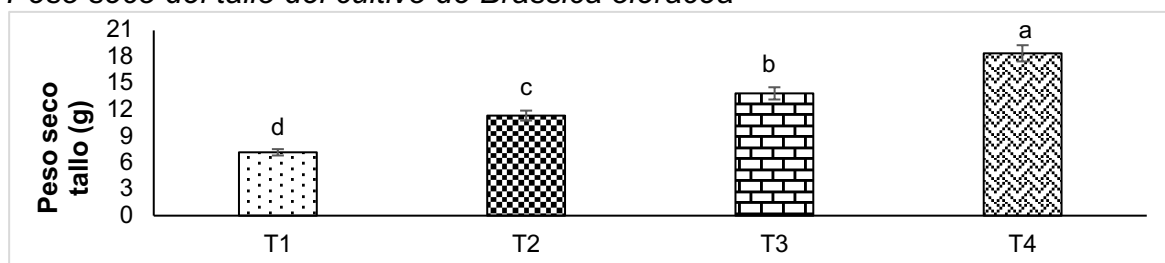
En cuanto a la variable peso fresco del tallo, el análisis estadístico evidencia que existe diferencias significativas entre los tratamientos, siendo que el más alto de los promedios lo alcanzo el tratamiento T4: Selenio (7 mg L⁻¹) con una media de 108,46 gramos, seguido por el tratamiento T3: Selenio (5 mg L⁻¹) con una media de 63,34 gramos, el más bajo de los promedios lo ostento el tratamiento T1: Control (sin aplicación) con 46,22 gramos. El coeficiente de varianza fue de 2,29% (Figura 7).

Figura 7*Peso fresco tallo del cultivo de Brassica oleracea*

Nota: promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad. T1: Control (sin aplicación); T2: Selenio (3 mg L⁻¹); T3: Selenio (5 mg L⁻¹); T4: Selenio (7 mg L⁻¹) (Autores, 2025).

3.8. Peso seco del tallo

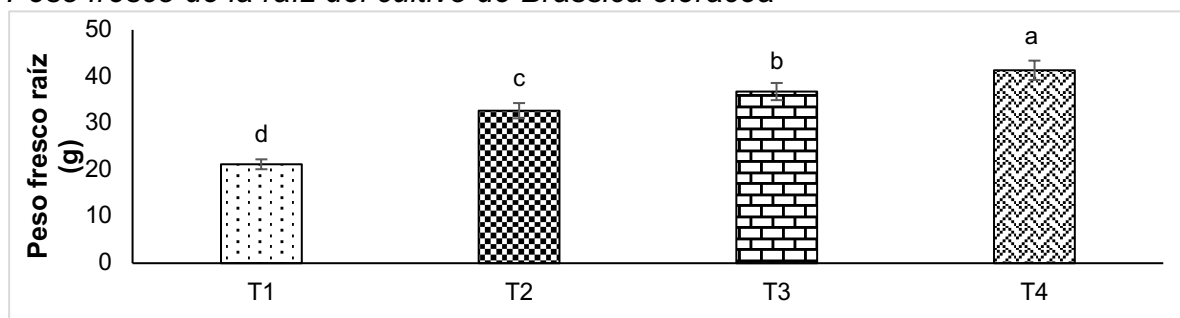
Respecto de la variable peso seco del tallo, efectuado el análisis estadístico se evidencia que existe diferencias significativas entre los tratamientos, siendo que el tratamiento T4: Selenio (7 mg L⁻¹) logro alcanzar el más alto de los promedios con 18,4 gramos, seguido por el tratamiento T3: Selenio (5 mg L⁻¹) con una media de 13,86 gramos, el más bajo de los promedios lo obtuvo el tratamiento T1: Control (sin aplicación) con 7,18 gramos del peso seco del tallo, el coeficiente de varianza fue de 9,36 (Figura 8).

Figura 8*Peso seco del tallo del cultivo de Brassica oleracea*

Nota: promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad. T1: Control (sin aplicación); T2: Selenio (3 mg L⁻¹); T3: Selenio (5 mg L⁻¹); T4: Selenio (7 mg L⁻¹) (Autores, 2025).

3.9. Peso fresco de la raíz

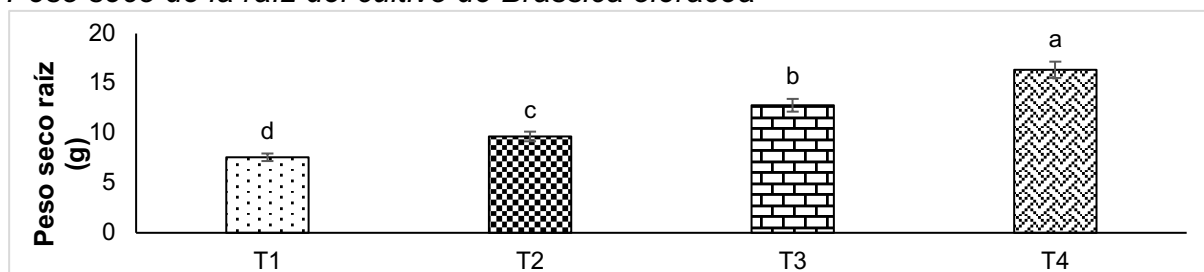
Respecto de la variable peso fresco de la raíz del cultivo de brócoli, el análisis estadístico muestra que existe diferencias significativas entre los tratamientos, el más alto de los promedios lo alcanzo el tratamiento T4: Selenio (7 mg L⁻¹) con una media de 41,34 gramos, seguido por el tratamiento T3: Selenio (5 mg L⁻¹) con una media de 36,78 gramos, el más bajo de los promedios lo obtuvo el tratamiento T1: Control (sin aplicación) con 21,2 gramos. El coeficiente de varianza fue de 3,25% (Figura 9).

Figura 9*Peso fresco de la raíz del cultivo de Brassica oleracea*

Nota: promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad. T1: Control (sin aplicación); T2: Selenio (3 mg L⁻¹); T3: Selenio (5 mg L⁻¹); T4: Selenio (7 mg L⁻¹) (Autores, 2025).

3.10. Peso seco de la raíz

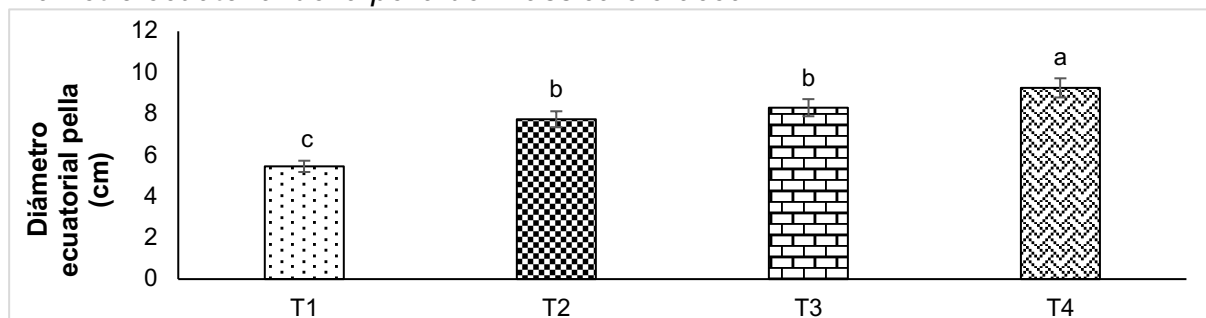
Para la variable peso seco de la raíz del cultivo de brócoli, realizado el análisis estadístico se evidencia que existió diferencias significativas entre los tratamientos, el más alto de los promedios lo alcanzo el tratamiento T4: Selenio (7 mg/L⁻¹) con una media de 16,36 gramos, seguido por el tratamiento T3: Selenio (5 mg/L⁻¹) con una media de 12,8 gramos, el más bajo de los promedios lo obtuvo el tratamiento T1: Control (sin aplicación) con 7,58 gramos. El coeficiente de varianza fue de 5,98% (Figura 10).

Figura 10*Peso seco de la raíz del cultivo de Brassica oleracea*

Nota: promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad. T1: Control (sin aplicación); T2: Selenio (3 mg L⁻¹); T3: Selenio (5 mg L⁻¹); T4: Selenio (7 mg L⁻¹) (Autores, 2025).

3.11. Diámetro ecuatorial de la pella o fruto (cm)

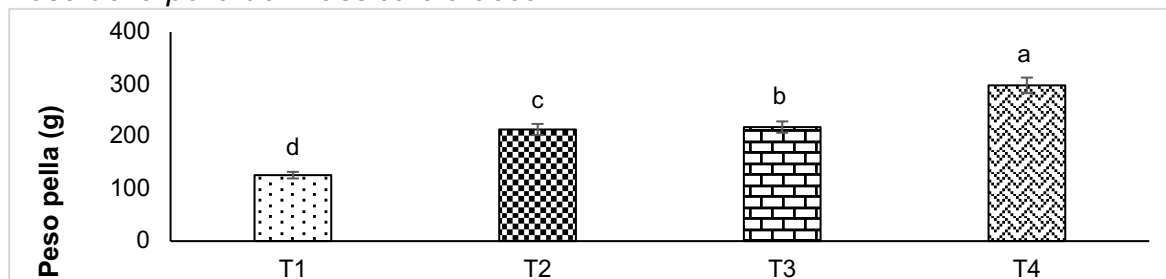
Respecto a la variable sobre el diámetro ecuatorial de la pella, los tratamientos evidencian diferencias significativas, el promedio más alto lo obtuvo el tratamiento T4: Selenio (7 mg/L⁻¹) con un diámetro ecuatorial de 9,26 cm, seguido por el tratamiento T3: Selenio (5 mg/L⁻¹) con una media de 8,3 cm, el promedio más bajo fue para el tratamiento T1: Control (sin aplicación) con un diámetro ecuatorial de la pella de 5,46 cm. El coeficiente de varianza fue de 5,39 (Figura 11).

Figura 11*Diámetro ecuatorial de la pella de Brassica oleracea*

Nota: promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad. T1: Control (sin aplicación); T2: Selenio (3 mg L⁻¹); T3: Selenio (5 mg L⁻¹); T4: Selenio (7 mg L⁻¹) (Autores, 2025).

3.12. Peso de pella o fruto (g)

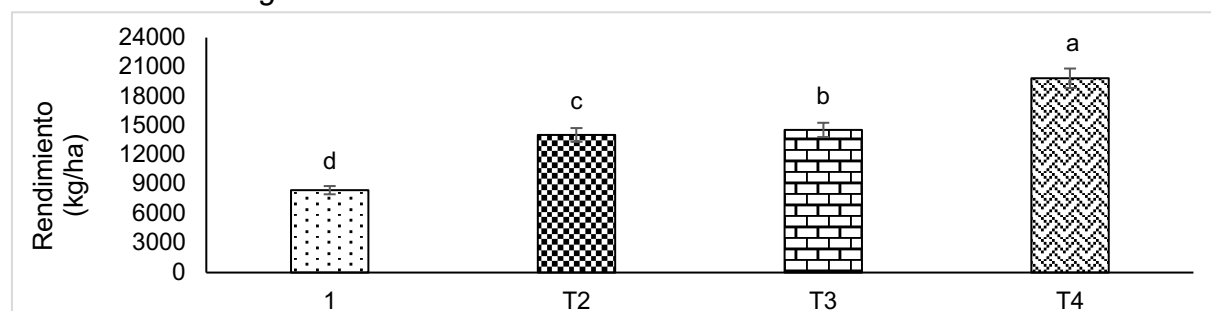
En cuanto a la variable sobre el peso de la pella, al efectuar el análisis estadístico se evidencia que los tratamientos presentan diferencias significativas, el promedio más alto fue alcanzado por el tratamiento T4: Selenio (7 mg/L⁻¹) con 297,96 gramos, seguido por el tratamiento T3: Selenio (5 mg/L⁻¹) con una media de 218,12 gramos, por otra parte, el promedio más bajo fue para el tratamiento T1: Control (sin aplicación) con un peso de pella de 126,2 gramos. El coeficiente de varianza fue de 0,89% (Figura 12).

Figura 12*Peso de la pella de Brassica oleracea*

Nota: promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad. T1: Control (sin aplicación); T2: Selenio (3 mg L⁻¹); T3: Selenio (5 mg L⁻¹); T4: Selenio (7 mg L⁻¹) (Autores, 2025).

3.13. Rendimiento (kg ha⁻¹)

En cuanto a la variable de rendimiento el análisis estadístico evidencia que los tratamientos presentan diferencias significativas, el más alto de los rendimientos lo obtuvo el tratamiento T4: Selenio (7 mg/L⁻¹) con 19847,62 kg/ha, seguido por el tratamiento T3: Selenio (5 mg/L⁻¹) con un promedio de 14569,98 kg/ha, el rendimiento más bajo fue obtenido por el tratamiento T1: Control (sin aplicación) con 8415,4 kg/ha. El coeficiente de varianza fue de 1,30% (Figura 13)

Figura 13*Rendimiento en kg/ha del cultivo de Brassica oleracea*

Nota: promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad. T1: Control (sin aplicación); T2: Selenio (3 mg L⁻¹); T3: Selenio (5 mg L⁻¹); T4: Selenio (7 mg L⁻¹) (Autores, 2025).

Análisis económico

Efectuado el análisis económico por hectárea de los tratamientos evaluados, se evidencia que el mayor rendimiento lo presenta el tratamiento T4: Selenio (7 mg/L⁻¹) con una producción de 19847,62 kg/ha, con una relación de beneficio costo de 2,59 y una rentabilidad de 159,00 % siendo el tratamiento más efectivo a aplicar; por otro lado el tratamiento T1: Control (sin aplicación) fue el que presentó el más bajo rendimiento ya que alcanzó una media de 8415,4 kg/ha, una relación beneficio costo de 1,18 y una rentabilidad de 17,88% posicionándolo como el tratamiento no apto para aplicar en términos económicos (Tabla 1).

Tabla 1*Análisis económico de los tratamientos aplicados por hectárea*

| Tratamientos | Rendimiento (kg/ha) | Ingreso bruto (\$) | Costo/tratamiento (\$) | Beneficio neto (\$) | Relación beneficio / costo | Rentabilidad (%) |
|----------------------------------|---------------------|--------------------|------------------------|---------------------|----------------------------|------------------|
| T1: Control | 8415,4 | 1287,56 | 1092,24 | 195,32 | 1,18 | 17,88 |
| T2: Selenio 3 mg L ⁻¹ | 14055,56 | 2150,50 | 1124,39 | 1026,11 | 1,91 | 91,26 |
| T3: Selenio 5 mg L ⁻¹ | 14569,98 | 2229,21 | 1148,51 | 1080,70 | 1,94 | 94,10 |
| T4: Selenio 7 mg L ⁻¹ | 19847,62 | 3036,69 | 1172,45 | 1864,24 | 2,59 | 159,00 |

Nota: (Autores, 2025).

4. Discusión

Los resultados obtenidos evidencian una influencia significativa del selenio en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de *Brassica oleracea*, destacando su papel en la mejora de los parámetros morfológicos y productivos. A lo largo de las variables evaluadas, el tratamiento T4 (7 mg L⁻¹) mostró consistentemente los valores más elevados, lo que sugiere una correlación positiva entre la aplicación de este elemento y el desempeño fisiológico del cultivo. En cuanto a la altura de planta, el diámetro del tallo y el número de hojas, se observaron diferencias significativas durante el periodo de evaluación. Estos resultados pueden atribuirse a lo expuesto por Garduño y Márquez (2018), quienes refieren que el selenio posee la capacidad de promover la síntesis de proteínas y la actividad enzimática asociada a la división celular y

elongación de tejidos vegetales. La mayor altura de las plantas en el tratamiento con 7 mg L^{-1} de selenio sugiere una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes, lo que se refleja también en la biomasa aérea y radical.

El análisis del sistema radicular mostró que la longitud y el peso de la raíz aumentaron significativamente con la aplicación del selenio, particularmente en el tratamiento T4 (7 mg L^{-1}). Este resultado coincide con la investigación efectuada por Morales et al. (2024), quienes encontraron que, en plántulas de maíz, las concentraciones de 50 y $75 \text{ } \mu\text{M}$ de Se incrementaron significativamente la longitud y el número de raíces, mejorando el desarrollo radicular. Específicamente, la aplicación de $50 \text{ } \mu\text{M}$ de Se aumentó la longitud de la raíz en un 15 % en comparación con el control. Un mayor desarrollo radicular favorece la absorción de agua y nutrientes, lo que se traduce en una mejora general del estado fisiológico de la planta.

Las variables relacionadas con la biomasa de la parte aérea, como el peso fresco y seco de hojas y tallo, también reflejaron la tendencia positiva del selenio sobre el crecimiento. Esto concuerda con López et al. (2015), quienes mencionan que el selenio, en concentraciones óptimas, puede actuar como regulador del metabolismo secundario, favoreciendo la acumulación de compuestos bioactivos que contribuyen a la tolerancia al estrés abiótico y al incremento de la producción vegetal. Por su parte, Ríos et al. (2012) reportaron que, en cultivos de tomate, la aplicación de 10 y 20 mg L^{-1} de Se en solución fertilizante causó una disminución del 25 % en el estado antioxidante total del fruto, especialmente en sustratos como la perlita, lo que sugiere que el selenio, en niveles adecuados, promueve la eficiencia fotosintética y el metabolismo energético.

El diámetro ecuatorial y el peso de la pella fueron mayores en las plantas tratadas con el tratamiento T4 (7 mg L^{-1} de selenio). Asimismo, el rendimiento por hectárea se incrementó significativamente, alcanzando $19\,847,62 \text{ kg ha}^{-1}$. Estos resultados son consistentes con investigaciones que reportan mejoras en el rendimiento y la calidad de los cultivos tras la aplicación de Se, tal como el estudio realizado por Buendía et al. (2021) en lechuga (*Lactuca sativa*), quienes mencionan que la aplicación foliar de $20 \text{ } \mu\text{M}$ de Se resultó en un aumento del 12 % en el rendimiento en comparación con el control.

El análisis económico evidenció que la aplicación de selenio en *Brassica oleracea* mejora significativamente la rentabilidad del cultivo. El tratamiento T4 (7 mg L^{-1}) generó el mayor rendimiento ($19\,847,62 \text{ kg ha}^{-1}$), con una relación beneficio/costo de 2,59 y una rentabilidad del 159,00 %. Estos resultados coinciden con Buendía et al. (2021), quienes reportaron incrementos del 12 % en rendimiento y del 17,5 % en rentabilidad en lechuga biofortificada con Se; asimismo, Morales et al. (2024) hallaron que en maíz tratado con $50 \text{ } \mu\text{M}$ de Se los ingresos aumentaron en un 22 %, mientras que Ríos et al. (2012) señalaron que en tomate dosis de 10 mg L^{-1} mejoraron el rendimiento en 15 %, aunque concentraciones superiores redujeron la rentabilidad.

Esto concuerda con López et al. (2015), quienes advierten que, aunque el uso de Se es rentable, su aplicación debe ajustarse según las condiciones del mercado, la especie cultivada y la absorción del nutriente, con el fin de evitar toxicidad. En consecuencia, la aplicación de selenio en dosis adecuadas puede considerarse una estrategia efectiva para mejorar el crecimiento, desarrollo y rendimiento de *Brassica oleracea*. Sin embargo, es fundamental determinar las concentraciones óptimas y considerar las condiciones específicas de cultivo para maximizar los beneficios fisiológicos y económicos, minimizando los riesgos potenciales de fitotoxicidad o desequilibrio nutricional.

5. Conclusiones

El selenio favoreció de manera significativa el crecimiento, la producción y la rentabilidad del cultivo de *Brassica oleracea*. El tratamiento T4 (7 mg L⁻¹) obtuvo los valores más altos en altura de planta (54,30 cm), diámetro de tallo (5,55 cm) y número de hojas (20), reflejando un desarrollo superior. Además, alcanzó el mayor rendimiento (19 847,62 kg ha⁻¹), con pellas de 9,26 cm y 297,96 g, evidenciando su efecto positivo en la calidad comercial. Económicamente, generó una rentabilidad del 159 % y una relación beneficio/costo de 2,59, confirmando su viabilidad agronómica.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

Referencias Bibliográficas

- Abdelsalam, A., El-Sayed, H., Hamama, H. M., Morad, M. Y., Aloufi, A. S., & Abd El-Hameed, R. M. (2023). Biogenic selenium nanoparticles: Anticancer, antimicrobial, insecticidal properties and their impact on soybean (*Glycine max* L.) seed germination and seedling growth. *Biology*, 12, 1361. <https://doi.org/10.3390/biology12111361>
- Ahmed, F., Dwivedi, S., Shaalan, N. M., Kumar, S., Arshi, N., Alshoabi, A., & Husain, F. M. (2020). Development of selenium nanoparticle based agriculture sensor for heavy metal toxicity detection. *Agriculture*, 10(12), 610. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120610>
- Ali, N. A., Al-Jashamy, S. M., & Kadhim, Z. M. (2020). Effect of adding two levels of organic selenium and selenium nanoparticles in the diet on the blood biochemical traits and lipid profile of broiler chickens Ross 308. *Diyala Agricultural Sciences Journal*, 12(Special Issue), 476–487. <https://doi.org/10.52951/dasj.20121040>
- Buendía-García A, Lozano-Cavazos CJ, Rodríguez-Ortiz JC, Carballo-Méndez FJ, MorenoReséndez 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. <https://doi.org/10.19136/era.a8n3.3104>
- Chintamani, R., Salunkhe, K., Kharat, K., Singh, R. P., & Diwate, S. (2020). Extraction, identification and screening of *Brassica oleracea* var. *italica* Plenck (broccoli) floret to be an alternative for nanoparticle formulations. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 54(3), 724–731. <https://doi.org/10.5530/ijper.54.3.123>
- Dhanraj, G., & Rajeshkumar, S. (2021). Anticariogenic effect of selenium nanoparticles synthesized using *Brassica oleracea*. *Journal of Nanomaterials*, 2021, Article 8115585. <https://doi.org/10.1155/2021/8115585>
- Garduño, A. M., & Márquez, Q. C. (2018). Aplicación de selenio en cultivos agrícolas: Revisión bibliográfica. *ITEA: Información Técnica Económica Agraria*, 114(4), 327–343.
- Garza-García, J. J. O., Hernández-Díaz, J. A., Zamudio-Ojeda, A., León-Morales, J. M., Guerrero-Guzmán, A., Sánchez-Chiprés, D. R., López-Velázquez, J. C., & García-Morales, S. (2022). The role of selenium nanoparticles in agriculture and food technology. *Biological Trace Element Research*, 200, 2528–2548. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02847-3>
- Guardiola-Márquez, C. E., Santos-Ramírez, M. T., Segura-Jiménez, M. E., Figueroa-Montes, M. L., & Jacobo-Velázquez, D. A. (2022). Fighting obesity-related micronutrient deficiencies through biofortification of agri-food crops with sustainable fertilization practices. *Plants*, 11(24), 3477. <https://doi.org/10.3390/plants11243477>
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., García-Caparrós, P., Parvin, K., Zulfiqar, F., Ahmed, N., & Fujita, M. (2022). Selenium supplementation and crop plant tolerance to metal/metalloid toxicity. *Frontiers in Plant Science*, 12, 792770. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.792770>
- Hernández-Hernández, H., Juárez-Maldonado, A., Benavides-Mendoza, A., Ortega-Ortiz, H., Cadenas-Pliego, G., Sánchez-Aspeytia, D., & González-Morales, S. (2018). Chitosan-PVA and copper nanoparticles improve growth and overexpress the SOD and JA genes in tomato plants under salt stress. *Agronomy*, 8(9), 175. <https://doi.org/10.3390/agronomy8090175>
- Huang, J.-Q., Wang, Z.-H., Sun, L.-H., Wang, L.-L., & Yin, Y.-L. (2023). Selenium in modern agriculture. *Modern Agriculture*, 1(1), 34–42. <https://doi.org/10.1002/moda.2>
- López, G. M. L., Benavides, M. A., Ortega, O. H., Valdez, A. L. A., Cabrera, D. F. M., & Sandoval, R. A. (2015). Selenio y su efecto en el estado antioxidante y la composición mineral de la lechuga. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(3), 569–580.
- Mohammadhassan, R., Ferdosi, A., Seifalian, A. M., Seifalian, M., & Malmir, S. (2021). Nanoelicitors application promote antioxidant capacity of *Asparagus officinalis* (in vitro). *Journal of Tropical Life Science*, 11(3), 259–265. <https://doi.org/10.11594/jtls.11.03.01>

- Morales, H. L. Y., Márquez, Q. C., Aguilar, S. N. C., Alvarado, L. C. J., de la Cruz, L. E., & Morales, M. A. E. (2024). El tratamiento con selenio mejora la germinación y el crecimiento de las plántulas de maíz: Germinación y crecimiento del maíz inducido por selenio. *Revista Bio Ciencias*, 11, e1618.
- Prokisch, J., Törös, G., Nguyen, D. H. H., Neji, C., Ferroudj, A., Sári, D., Muthu, A., Brevik, E. C., & El-Ramady, H. (2024). Nano-food farming: Toward sustainable applications of proteins, mushrooms, nano-nutrients, and nanofibers. *Agronomy*, 14(3), 606. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030606>
- Ríos, J. J., Blasco, B., Rosales, M. A., Cervilla, L. M., Romero, L., & Ruiz, J. M. (2012). Aplicación de selenio en tomate: crecimiento, productividad y estado antioxidante del fruto. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18(4), 291–298.
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H. H., & Battaglia, M. L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2), 259. <https://doi.org/10.3390/plants10020259>
- Shahid, M. A., Balal, R. M., Khan, N., Zotarelli, L., Liu, G. D., Sarkhosh, A., Fernández-Zapata, J. C., Martínez Nicolás, J. J., & Garcia-Sanchez, F. (2019). Selenium impedes cadmium and arsenic toxicity in potato by modulating carbohydrate and nitrogen metabolism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 180, 588–599. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.05.037>
- Sharafi, M., Borghei-Rad, S. M., Hezavehei, M., Shahverdi, A., & Benson, J. D. (2022). Cryopreservation of semen in domestic animals: A review of current challenges, applications, and prospective strategies. *Animals*, 12(23), 3271. <https://doi.org/10.3390/ani12233271>