

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Aplicación Foliar de Selenio en Repollo (*Brassica oleracea* var. capitata) para
Obtener Extractos Vegetales a Partir de Residuos de Cosecha

Por:

FRIDA POLETTE ZARCO MARTÍNEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Aplicación Foliar de Selenio en Repollo (*Brassica oleracea* var. capitata) para
Obtener Extractos Vegetales a Partir de Residuos de Cosecha

Por:

FRIDA POLETTE ZARCO MARTÍNEZ

TESIS

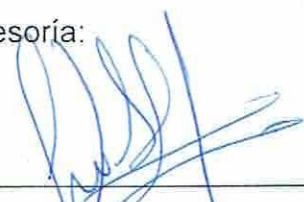
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

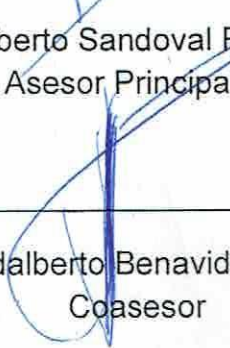
Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Asesor Principal



Dra. Carmen Alicia Ayala Contreras
Asesor Principal Externo



Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Coasesor



M.C. Raúl Alejandro Ramos Salazar
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2025

CARTA DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones gráficas, mapas o datos sin citar autos originar y/o fuente, así mismo, tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior, me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.



Frida Polette Zarco Martínez

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	7
DEDICATORIA.....	8
RESUMEN	10
Palabras clave:.....	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS	13
General	13
Específico	13
HIPOTESIS	13
REVISION DE LITERATURA.....	14
Importancia del cultivo de repollo	14
Descripción del cultivo.....	14
Generalidades botánicas.....	15
Raíz	15
Tallo.....	15
Hoja	15
Flor	15
Fruto	16
Clasificación taxonómica	16
Agroecología del cultivo	16

Manejo del cultivo.....	17
Época de siembra	17
Densidad.....	17
Almacigo	17
Siembra	18
Trasplante.....	18
Labores culturales	18
Control de plagas y enfermedades	18
Control de plagas y enfermedades	19
Cosecha.....	20
Uso de residuos de cosecha de repollo	20
Los residuos de brassicas como biofumigantes	21
Mecanismos de acción y beneficio de la biofumigación con residuos bassicas	22
Efectos de la bioestimulación con selenio en el crecimiento y desarrollo de las plantas.....	24
Selenio	24
Brassicas y su interacción con selenio	26
MATERIALES Y METODOS	29
Lugar del experimento.....	29
Descripción de los tratamientos	29
Material vegetal y establecimiento del cultivo.....	30
Establecimiento del almacigo y trasplante.....	30
Labores durante el ciclo del cultivo	30
VARIABLES EVALUADAS	31
Variables Agronómicas	31

Variables Bioquímicas	32
DISEÑO EXPERIMENTAL	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
Aplicaciones de selenio en variables agronómicas del cultivo de repollo.....	35
Rendimiento de repollo con aplicaciones foliares de Se.	38
Contenido bioquímico de hoja de repollo con aplicación foliar de Se.....	39
Producción de residuos de cosecha por unidad de áreas	43
CONCLUSIÓN	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por darme la bendición de superar esta etapa, e iluminar mi camino en todo momento y fortalecerme en los días de dificultad, por poner en mí vida personas valiosas que me ofrecieron su apoyo y compañía durante el trayecto, por regalarme sabiduría, paciencia y serenidad cuando más lo necesité. Gracias Dios padre, por ser guía, refugio y fuente constante de esperanza en todo este proceso.

A la universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Por darme la oportunidad de formar parte de una de sus estudiantes y brindarme el apoyo para culminar mi carrera profesional.

A mi asesor, Dr. Alberto Sandoval Rangel

Por su valioso apoyo, por brindarme la oportunidad de desarrollar esta investigación y especialmente por la confianza que me otorgo a lo largo de esta etapa.

A mi asesora, Dra. Carmen Alicia Ayala Contreras

Por la excelente persona que es, por sus valiosos consejos y tiempo brindado. Agradezco todo el apoyo, confianza y dedicación que me otorgo durante la elaboración de la Tesis, aspectos que fueron fundamentales para culminar este proyecto académico.

A mi coasesor, M.C Raúl Alejandro Ramos Salazar

Por sus buenos consejos, orientación, por su disposición constante para brindar apoyo durante la elaboración de este proyecto, agradezco la amistad, confianza y generosidad que me ofreció durante esta etapa.

A mi coasesor el Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Agradezco su colaboración en este proceso académico, ya que su presencia contribuyó a que pudiera avanzar y culminar satisfactoriamente este proyecto.

DEDICATORIA

A mis padres. Iris Jazmín Martínez Vélez, por el amor que me brindas sin importar nada, por tus consejos, porque en ti encuentro a mí mejor amiga, por estar siempre para mí, apoyándome, orientándome, escuchándome y sobre todo, por ser la mejor madre que Dios me dio. Hugo Duvariel Zarco Espinosa, por ser el mejor padre que la vida me regalo, por todos los consejos que me das, por el amor y apoyo que me brindas, por los sacrificios que hacer por mí, agradezco a Dios por tenerlos en mi vida, este logro es de ustedes, los amo.

A mis hermanos. Brian Zarco Martínez, por el cariño y motivación que me otorgas, por escucharme y por todo el apoyo que me brindas, tus consejos que me dan tranquilidad, y por ser como eres. Lázaro Tinoco Martínez, por tu compañía, el amor que me das en todo momento, por la tranquilidad que me brindas, y los momentos alegres y sonrisas que me sacas. Hermanos, los amo.

A mis Abuelitos Mayola Vélez Martínez, Raúl Martínez Simiano, por su amor incondicional, los buenos momentos de alegría, sus consejos y su gran apoyo y compañía, los amo. Estela Espinosa Pedraza, y el angelito que me cuida, Daniel Zarco Vargas, por el apoyo que me brindan, los buenos momentos de felicidad, sus consejos y cariño que me dan, los amo.

A Lázaro Tinoco Punzo, por la buena persona que ha sido, el gran apoyo que me ha otorgado, y por los sabios consejos que me brinda, con cariño, gracias.

A mis tíos, Mayola Martínez, Juli Martínez, Raúl Martínez, Diego Martínez, Marla Zarco, Pablo Zarco, Daniel Zarco, por todo el apoyo, cariño y confianza que me dan, los quiero demasiado, gracias a Dios por ser parte de mi vida.

A mis amigos, Irving Herrera, Luis Zamudio, Daniel Cruz, Bryan Olivo, por ser personas tan especiales en mi vida y acompañarme con su amistad incondicional, gracias por estar presentes en los momentos difíciles y en los más alegres, por escucharme con paciencia, por animarme cuando más lo necesitaba y por

regalarme tantos recuerdos inolvidables que hicieron de esta etapa algo único, su apoyo, sus palabras y hasta las risas compartidas en los momentos de estrés fueron parte fundamental para seguir adelante.

RESUMEN

El repollo es una hortaliza rica en nutrientes y otros compuestos, sin embargo presenta plagas y otras causas adversas, no obstante, la aplicación de selenio fortalece la planta, elevando su valor nutricional y resistencia. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de selenio en el desarrollo de repollo y en sus residuos de cosecha para obtener extractos vegetales. Donde se aplicaron tratamientos de selenio (20, 30 y 40 mg L⁻¹) y un testigo absoluto. Se evaluó área foliar, altura de la planta, número de hojas, peso seco y peso fresco, donde el testigo obtuvo mejores resultados en la mayoría de las variables, únicamente número de hojas, donde la aplicación de 20 mg L⁻¹ obtuvo el valor más alto, tanto para etapa vegetativa como para etapa reproductiva. En cuanto a las variables de rendimiento como diámetro ecuatorial y polar, el testigo fue el que presentó los mejores resultados, sin embargo el peso, el tratamiento 40 mg L⁻¹ destacó con el valor más alto entre los demás tratamientos. Así mismo, se determinó el contenido bioquímico en las hojas, evaluando clorofila a, clorofila b, y carotenoides, donde el testigo obtuvo los valores más altos a comparación de los demás tratamientos. En fenoles, glutatión, proteínas totales y flavonoides, donde en fenoles no se observaron diferencias significativas, sin embargo, en glutatión el tratamiento 40 mg L⁻¹ obtuvo los valores más altos, por otro lado la aplicación de 20 mg L⁻¹ fue el mejor tratamiento para incrementar el contenido de proteínas totales, no obstante, la aplicación de 30 mg L⁻¹ benefició la producción de flavonoides. Respecto al peso fresco y peso seco el tratamiento que obtuvo mejores resultados fue el testigo. En la aplicación de 20 mg L⁻¹ destacó el número de hojas y proteínas totales, en 40 mg L⁻¹ resultó más eficaz para el contenido de glutatión, en cuanto a la dosis de 30 mg L⁻¹ fue el mejor tratamiento para la producción de flavonoides, si bien, la aplicación de selenito no favorece los aspectos del crecimiento de las cabezas beneficia la bioestimulación de compuestos antioxidantes en los residuos, para la producción de extractos vegetales.

Palabras clave: Bioestimulación, producción, antioxidante, metabolismo.

ABSTRACT

Cabbage is a vegetable rich in nutrients and other compounds, however, it has pests and other adverse causes, however, the application of selenium strengthens the plant, increasing its nutritional value and resistance. The objective of this work was to evaluate the effect of foliar application of selenium on the development of cabbage and its crop residues to obtain plant extracts. Where selenium treatments (20, 30 and 40 mg L⁻¹) and an absolute control were applied. Leaf area, plant height, number of leaves, dry weight and fresh weight were evaluated, where the control obtained better results in most variables, only number of leaves, where the application of 20 mg L⁻¹ obtained the highest value, both for the vegetative and reproductive stages. Regarding yield variables such as equatorial and polar diameter, the control was the one that presented the best results, however, the weight, the 40 mg L⁻¹ treatment stood out with the highest value among the other treatments. Likewise, the biochemical content of the leaves was determined, evaluating chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoids, where the control obtained the highest values compared to the other treatments. In phenols, glutathione, total proteins, and flavonoids, where no significant differences were observed in phenols, however, in glutathione the 40 mg L⁻¹ treatment obtained the highest values, on the other hand, the application of 20 mg L⁻¹ was the best treatment to increase the total protein content, however, the application of 30 mg L⁻¹ benefited the production of flavonoids. Regarding fresh weight and dry weight, the treatment that obtained the best results was the control. The application of 20 mg L⁻¹ highlighted the number of leaves and total protein. 40 mg L⁻¹ was more effective for glutathione content. The 30 mg L⁻¹ dose was the best treatment for flavonoid production. Although selenite application does not favor head growth, it does benefit the biostimulation of antioxidant compounds in the residues for the production of plant extracts.

Keywords: Biostimulation, production, antioxidant, metabolism.

INTRODUCCIÓN

El repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata*) es una planta crucífera, cultivada por su valor nutricional y su versatilidad en la alimentación humana, es originaria de Europa y ha sido cultivado y consumido durante miles de años, ya que es un alimento básico en diversas culturas (Khan *et al.*, 2021). Esta hortaliza se caracteriza por su cabeza compacta formada por hojas gruesas, que varían en color, desde el verde hasta el morado, dependiendo la variedad, es una fuente rica en vitaminas, minerales, fibra dietética y compuestos bioactivos, como los glucosinolatos, que se han asociado con beneficios para la salud, incluyendo propiedades antioxidantes y anticancerígenas (Zhao *et al.*, 2022).

La producción de repollo es muy importante para el sector hortícola, especialmente en estados como Baja California, Guanajuato y Puebla (García, A., López, R., & Sánchez, 2021). Este cultivo enfrenta problemas de plagas y condiciones climáticas cambiantes (Ramos y Castro, 2021). A pesar de esto, el repollo sigue siendo esencial para la economía agrícola y la dieta mexicana (González y Martínez, 2023). Además, los residuos o esquilmos de este cultivo tienen gran importancia económica, ya que son ricos en glucosinolatos, que, por acción de la enzima mirosinasa, se convierten en otro tipo de compuestos (tiosanatos, isotiosanatos), los cuales funcionan como biofungicidas (Brennan *et al.*, 2020)

Por otro lado, la aplicación de selenio en repollo ha tenido efectos positivos debido a sus posibles beneficios la calidad del suelo y del cultivo (Smith *et al.*, 2020). Este elemento es importante para la salud humana y animal, ya que se conoce por sus propiedades antioxidantes y su capacidad para mejorar el sistema inmunológico (Miller y Zhang, 2021). En la agricultura, el selenio se utiliza para mejorar la nutrición de los cultivos y generar resistencia contra enfermedades y condiciones desfavorables (Wang *et al.*, 2022). La aplicación del selenio se concentra en las cabezas del vegetal, lo cual es interesante ya que el selenio puede prevenir diversas enfermedades crónicas (Harris y Roberts, 2023). El selenio además de mejorar la fertilidad del suelo, por su actividad con los

microorganismos (Brown y Green, 2021) forma parte importante en la fisiología vegetal, ya que cumple un rol específico en la producción de metabolitos secundarios (Davis *et al.*, 2020).

Por lo anterior, la presente investigación se plantea lo siguiente:

OBJETIVOS

General

Evaluar el efecto de la aplicación foliar de selenio en el desarrollo del repollo y sus residuos de cosecha para obtener extractos vegetales.

Específico

- Evaluar el efecto de las aplicaciones de selenio en variables agronómicas del cultivo de repollo.
- Evaluar el efecto de las aplicaciones foliares de selenio en el rendimiento de repollo.
- Determinar la producción de residuos de cosecha por unidad de áreas para la producción de extractos vegetales.
- Determinar el contenido bioquímico de los extractos vegetales obtenidos a partir de residuos de cosecha de repollo.

HIPOTESIS

La aplicación foliar de selenio tiene un efecto en el desarrollo y producción del cultivo de repollo, así como en los compuestos bioactivos de los extractos vegetales.

REVISION DE LITERATURA

Importancia del cultivo de repollo

El repollo es una hortaliza que contiene grandes beneficios en su consumo para el ser humano, ya que posee compuestos anticancerígenos, así como hierro y potasio, además posee vitamina A (en forma de beta-carotenos), vitamina C y ácido fólico, estas vitaminas son de gran ayuda e importancia para el buen desarrollo y mantenimiento del cuerpo del ser humano (Paniagua *et al.*, 2015).

Esta hortaliza a nivel nacional encabeza el listado de las principales crucíferas, ya que es una hortaliza que es muy consumida en nuestro país debido a su diversa utilidad en distintos platos tradicionales en la cocina mexicana, por esta razón en el año 2022 se sembraron 6,030 has a nivel nacional, siendo los principales productores Puebla, Michoacán, Nuevo León, Chiapas y Sonora, teniendo una producción de 162,031 toneladas entre estas 5 entidades, obteniendo un promedio de 34 toneladas por hectárea (SIAP, 2024).

El repollo es de las hortalizas con mayor tasa de rentabilidad a nivel mundial, ya que al ser una hortaliza que se adapta de buena manera a climas fríos y climas templados, se desarrolla y se cultiva en países con este tipo de climas teniendo como principales países productores China, India y Estados Unidos, siendo China el principal productor con producciones estimadas en 27% de la producción mundial, México, por su parte es el cuarto principal productor, con un 2% de la producción (FAO, 2024).

Descripción del cultivo

El repollo (*Brassica oleracea* var. capitata) tiene una alta adaptación, calidad y capacidad de producción, lo que hace este cultivo ideal para explotaciones intensivas, esta hortaliza se puede describir de forma general como una inflorescencia o cabeza formada por hojas, el color varía de verde oscuro o claro hasta morado dependiendo la variedad, tiene una raíz principal pivotante con raíces secundarias laterales y un tallo corto y grueso (Sarita, 1993).

Generalidades botánicas

Raíz

Su raíz es fibrosa y superficial, se constituye principalmente por su raíces secundarias y adventicias que se desarrollan en capas superiores del suelo para absorber agua y nutrientes, llegando a tener una profundidad de 1.5 m con una extensión lateral de 45 a 60 centímetros (Fuentes *et al.*, 2003).

Tallo

El tallo es corto y robusto, desarrollado para soportar el peso del repollo, facilitando el transporte de agua y nutrientes desde la raíz hasta las hojas, no se ramifica si conserva su dominancia apical, teniendo una altura de 1.2 a 1.5 m (Valadez, 1992).

Hoja

En esta hortaliza, las hojas son firmes, comprimidas y se abrazan entre sí formando el cogollo, suelen ser hojas anchas y de distintas formas, ya que depende el tamaño del repollo que se requiera para el mercado al cual va destinado. Cuenta con hojas basales pecioladas con 1-2 segmentos laterales (Guambo *et al.*, 2011).

Flor

La flor del repollo es amarilla o blanco, mide 1.0 cm cuando están abiertas, tiene cuatro pétalos en forma de cruz, muy comunes en la familia de *Brassicaceae*, son hermafroditas y actinomorfas, se desarrollan en racimos terminales y tiene seis estambres y un ovario que se convierte en una cápsula con semillas (Fuentes *et al.*, 2003).

Fruto

El repollo produce capsulas alargadas conocidas como el fruto que se denomina silicua, esta capsula es desarrollada después de la floración y contiene de 10 a 30 semillas (Fuentes *et al.*, 2003).

Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica del repollo se describe a continuación (Jaramillo & Díaz, 2006):

- **Reino:** Plantae
- **Clase:** Magnoliopsida
- **Orden:** Brassicales
- **Familia:** Brassicaceae
- **Género:** Brassica
- **Especie:** Oleracea
- **Nombre científico:** *Brassica oleracea*
- **Nombre Vulgar:** Col de repollo

Agroecología del cultivo

La temperatura optima del repollo es de 15° C y 20°C durante el día, este rango es adecuado para el desarrollo de vegetativo y crecimiento compacto de las cabezas, y de 10°C a 15°C durante la noche; temperaturas por debajo de 4°C se retarda el crecimiento y provoca síntomas de marchitez al reducirse la tasa de transpiración, las inflorescencias son muy susceptibles al daño por el frio (Min *et al.*, 2021).

El repollo se considera una hortaliza de día largo, necesita estar expuesto al sol durante 6 a 8 horas directas de luz para tener un buen desarrollo y producción de cabezas (Hu *et al.*, 2024). Se adapta mejor a suelos franco arenosos ricos en materia orgánica (MO) y buen drenaje con pH de 6 a 6.8, considerándose tolerante a suelos ácidos (Valadez, 1998).

El cultivo tiene un requerimiento hídrico de 4mm al día por planta, es decir 120 mm de agua por mes, sin llegar a tener menos del 50% de la capacidad de campo (Hurres & Caballero, 1998).

Manejo del cultivo

Para tener un mejor manejo es recomendado sembrar variedades adecuadas dependiendo el tipo de clima y suelo donde se vaya establecer el cultivo. El repollo al ser una planta suculenta absorbe aproximadamente 0.3 litros de agua diarios por planta en una atapa fenológica joven, y de 0.4 a 0.5 litros cuando se encuentra en etapa adulta (Salunkhe & Kadam, 2003).

Época de siembra

Se recomienda siembras en otoño e invierno ya que las condiciones frescas favorecen la germinación y desarrollo del repollo, evitando el estrés térmico que producen las condiciones de calor (Pletsch, 2006)

Densidad

La densidad por hectárea del cultivo de repollo puede variar dependiendo las necesidades de cada productor, pero generalmente se siembran a 40cm entre planta y 50 cm entre surco a una densidad de 35 000 a 50 000 plantas por hectárea (Jaramillo & Díaz, 2006).

Almacigo

Para la germinación de las semillas se necesita una temperatura de 18°C a 22°C (Wang *et al.*, 2025). Para facilitar la germinación se recomienda un sustrato bien drenado y ligero como la mezcla de perlita y turba, así evitamos encharcamiento y dañar las semillas (Ferreira *et al.*, 2024).

Siembra

Cuando se siembra directamente a campo las semillas se deben colocar de 0.635 - 1.27 centímetros de profundidad para crecimiento adecuado y facilitar el manejo (Hidalgo, 2007).

Trasplante

El trasplante debe realizarse cuando la plántula tenga aproximadamente de 3 – 4 semanas después de la germinación o cuatro hojas verdaderas (Hidalgo, 2007).

Labores culturales

Antes de sembrar se arada y rastra el suelo para poder realizar los surcos y así mismo eliminar malezas, destruir fuentes de inóculos al exponerlos a sol y para facilitar el desarrollo de las raíces del cultivo (CENTA, 2003).

Se recomienda realizar un análisis de suelo y fertilizar con compuestos equilibrados con NPK, como $10^{-1}0^{-1}0$ por cada 9.29 metros cuadrados, se recomienda aplicar de 10 a 16 cm superiores antes de sembrar, así mismo a la tercera semana después de la siembra se sugiere aplicar fertilizantes con alta concentración de N para producir plantas vigorosas según las recomendaciones para el repollo (Maroto-Borrego, 2002).

Control de plagas y enfermedades

Entre las plagas más comunes están los pulgones, orugas, chinches como la palomilla dorso de diamante (*Plutela xylostela*), gusano de la col (*Copitarsia consueta*), falso medidor (*Trichoplusia ni*), gusano peludo (*Estigmene acraea*), pulgón cenizo de la col (*Brebcoryne brassicae*), chinche arlequin (*Murgantia histrionica*), chinche ligus (*Ligus sp.*), mosca de la raíz (*Hylemya sp.*), minador de la hoja (*Lyriomoza sp.*). Algunos de los síntomas pueden ser hojas mordidas, manchas y deformaciones, haciendo que disminuya el rendimiento (Angelotti et al., 2024).

Las enfermedades causadas por bacterias más comunes en el repollo son la pudrición negra (*Xanthomonas campestris*), pudrición blanda (*Erwinia caratovora*), Necrosis marginal (*Pseudomonas marginalis*); en cuanto a las afectaciones hongos se encuentran añublo lanoso (*Peronospora parasítica*), mancha foliar (*Alternaria brassicae*), sancocho (*Rhizoctonia solani*), podredumbre blanca (*Sclerotinia sclerotiorum*), pudrición del tallo (*R. solani*) y raíz agarrotada del repollo (*Plasmidiophora brassicae*) (Western Forum, s.f.).

Control de plagas y enfermedades

Existen métodos de plagas llamados biocontrol, como el *Bacillus thuringiensis var turgidus*, es una bacteria que genera cristales tóxicos conocidos como Cry que son proteínas generadas por su desarrollo fisiológico, y actúan sobre los insectos, es una buena opción debido a que no causa daños ambientales, (Lima *et al.*, 2019). Se recomienda aplicar la bacteria en temperaturas menores a 30° C, para evitar su muerte, así como tener un pH de 6 a 8 ya que actúa mejor bajo esas condiciones (Baro *et al.*, 2009).

Los insecticidas organofosforados, derivados del ácido fosfórico, se encuentran entre los más peligrosos en la agricultura debido a su amplio espectro de acción, afectando no solo a insectos plaga, sino también a insectos benéficos e incluso a organismos acuáticos como los peces. Algunos ejemplos de estos insecticidas incluyen paratión, malatión, metil paratión, fosfato, fosfolán, clorpirifos, cumafós, disulfotón, demetión y etoprofó (Rivas & Sermeño, 2003).

De igual manera, los insecticidas organoclorados, derivados de los hidrocarburos, representan un riesgo significativo tanto para la salud humana como para el medio ambiente, ya que su presencia en los alimentos puede generar efectos adversos en el organismo. Entre estos insecticidas se encuentran el lindano, DDT, pertano, dicofol, metoxicloro, clorobencilato, dieldrín, endrín, aldrín, clordecona y heptacloro (Rivas & Sermeño, 2003).

Asimismo, los insecticidas carbamatos presentan una alta toxicidad, lo que los convierte en algunos de los más peligrosos. Su uso no solo genera un impacto

ambiental significativo, sino que también puede afectar la salud humana cuando se consumen productos tratados con estos compuestos. Algunos ejemplos de estos insecticidas incluyen el carbofurán, mexacarbamato, propoxur, metiocarb, aldicarb y metomil (Rivas & Sermeño, 2003).

Finalmente, para el control de enfermedades del suelo se ha utilizado el Bromuro de metilo (BM) debido a su alto efecto biocida que penetra matriz del suelo, y es muy eficiente para la desinfección (Bello *et al.*, 2003).

Cosecha

Para su cosecha manual se usa una cuchilla afilada para cortar la cabeza del tallo principal, se debe cortar cerca de la base para no dejar restos y reducir el riesgo de que se abra la cabeza así como disminuir la propagación de enfermedades

Uso de residuos de cosecha de repollo

Las plantas crucíferas o Brassicas, nombre genérico dado a las especies de la familia Brassicaceae, son ampliamente consumidas por humanos y animales, y se utilizan para la producción de aceites comestibles e industriales, estas plantas crecen rápidamente y producen grandes cantidades de biomasa, también proporcionan una buena cobertura del suelo y son muy eficientes en la absorción de nutrientes (Jatuwong *et al.*, 2025).

Dado que los residuos del cultivo del repollo, incluyendo hojas, tallos y raíces, son ricos en nutrientes son aprovechados eficientemente para la producción de compost, ya que el compostaje genera un proceso biológico, es decir, que los residuos se convierten humus, que es un fertilizante natural y ayuda a mejorar la fertilidad y estructura del suelo, así como también contribuye a evitar la proliferación de plagas y enfermedades (Maffia *et al.*, 2024). Además los esquilmos o residuos del cultivo de repollo, también son utilizados en la industria alimentaria, gracias a su sabor y propiedades nutricionales, para elaboración de productos procesados, debido a sus hojas externas y tallos, que se usan para la creación de sopas, salsas, jugos o ensaladas (Gudiño *et al.*, 2024). Así mismo las

hojas y los restos de cosecha triturados son utilizados como alimento para animales ya que contienen una gran fuente de fibra (De Evan *et al.*, 2019).

Los residuos de brassicas como biofumigantes

La biofumigación es una práctica agrícola en donde se aprovecha los residuos vegetales incorporados al suelo, para el control de patógenos del suelo, plagas y malezas, estas especies vegetales pertenecientes a la familia *Brassicaceae* han sido ampliamente utilizadas y estudiadas para la biofumigación debido a la presencia de compuestos, entre ellos los glucosinolatos, que tras la hidrólisis enzimática, liberan gases bioactivos como los isotiocianatos con acción contra patógenos de suelo (Wieczorek *et al.*, 2024).

Los cultivos de brassicas, como el repollo, generan glucosinolatos que se descomponen para producir isotiocianatos que son componentes tóxicos para una gran variedad de patógenos presentes en el suelo (Arias, 2019). Sus usos varían según la especie, pero principalmente se utilizan como incorporación de abono verde, incorporación de residuos verdes ya sean secos o frescos, asimismo es una muy buena opción como rotación de cultivos, con el beneficio de la acción biofumigante (Hanschen & Winkelmann, 2020).

La biofumigación con residuos de la familia de las brassicas se ha convertido en una alternativa a la fumigación con bromuro de metilo, ya que se ha comprobado que estos residuos orgánicos al descomponerse, aumentan los niveles de dióxido de carbono (CO₂), lo que disminuye la concentración de oxígeno (O₂), provocando la reducción de microorganismos patógenos (Plaszkó *et al.*, 2021).

También se pueden encontrar los residuos de cosecha después de procesos de industrialización, como tortas que se obtienen del prensado de semillas en el proceso de extracción de aceites. (Kirkegaard, 2009). Además, aceites esenciales derivados de las Brassica, son utilizados para control de patógenos (Angelini, 2024).

Chango.-Palate (2015), observó que al aplicar residuos de mostaza se disminuyó la incidencia de nemátodos hasta en un 69%, esta investigación se realizó debido a los glucosinolatos que produce esta brassica, gracias a la hidrolización de la enzima mirosinasa que genera isotiocianatos, que tienen efecto sobre los nematodos del suelo. Por otra parte se ha demostrado que los glucosinolatos y la mirosinasa persisten en los tejidos de los residuos deshidratados del repollo (polvo deshidratado), y la síntesis de los tiocianatos e isotiocianatos comienza al humedecerse estos compuestos. Gracias a esto se observó que al aplicarlo, la incidencia de *Fusarium* spp., que se encuentra en el suelo, disminuyó significativamente (Caballero, 2017).

De igual forma, se comprobó que los residuos de repollo incorporados al suelo afectan la incidencia de *Fusarium* debido a los glucosinolatos y la mirosinasa que se activan y tienen efecto biofumigantes y biocida contra hongos del suelo, gracias a los compuestos que liberan como: nitrilos, sulfhidrilos, tiocianatos e isotiocianatos (Pérez, 2014).

Mecanismos de acción y beneficio de la biofumigación con residuos bassicas

La biofumigación tiene efecto de desinfección aeróbica del suelo al incorporar residuos vegetales, ya que se liberan compuestos volátiles al descomponerse y generan toxicidad en patógenos del suelo (Matthiessen & Kirkegaard, 2006). Esta práctica puede, también, inhibir la emergencia y crecimiento de malezas (Perniola *et al.*, 2011), así como la inhibición de hongos fitopatógenos, dado que el componente principal de los residuos de brassicas son los glucosinolatos (Lafi *et al.*, 2017).

Martínez y colaboradores (2014) afirman que la biofumigación es una alternativa al bromuro de metilo, ya que por medio de la biofumigación se liberan gases que aumentan el dióxido de carbono, limitando los niveles de oxígeno y generando así condiciones anaeróbicas, haciendo que disminuyan los patógenos hasta en un 90%.

La acción particular de la biofumigación con residuos de repollo incluye mecanismos de acción como la liberación de productos de hidrolisis, como los glucosinolatos, siendo precursor de los isotiocianatos, compuestos con propiedades biocidas; por otro lado puede modificar la microbiota del suelo promoviendo comunidades microbianas benéficas al incorporar materia orgánica, mejorando la salud, estructura, retención de agua y nutrientes del suelo (Civieta-Bermejo *et al.*, 2021).

La efectividad de la biofumigación depende de factores como la variedad de Brassica utilizada, la concentración de glucosinolatos, las condiciones del suelo y la forma de incorporación de los residuos. Es fundamental una adecuada incorporación y compactación de los residuos en el suelo para maximizar la liberación de compuestos bioactivos (Baglioni *et al.*, 2024).

La biofumigación con Brassicas es una alternativa para el manejo integrado contra plagas y tiene beneficios ya que al incorporarlo en el suelo aumenta el contenido de materia orgánica, mejora las propiedades física y química del suelo, para hacerlo más fértil y tener mejor rendimiento en los cultivos (Perniola *et al.*, 2016).

Para realizar una fumigación con brassicas los residuos se incorporan en el suelo ya sean secos o frescos, incluyendo sus semillas, también se utiliza la rotación del cultivo ya que se ha demostrado que actúa como un fumigante natural (Lu *et al.*, 2010). La biofumigación puede combinarse con otras técnicas, como la solarización del suelo, en la que se aumenta la temperatura del suelo aprovechando la energía solar incidente sobre un suelo previamente humedecido y cubierto con una película de polietileno transparente (Tziros *et al.*, 2024).

Los residuos de brassicas controlan patógenos como *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora erythroseptic*, *Pythium ultimum*, *Sclerotinia sclerotiorum* y *Fusarium sambucinum*, ya que los isotiocianatos, derivados de la hidrolisis de los glucosinolatos ayudan a inhibir la germinación de las esporas y crecimiento de los hongos del suelo (Larkin & Griffin., 2007); además también controlan nematodos

como *Meloidogyne incognita*, que causa gallas en las raíces y afecta el desarrollo de las plantas (El-Remaly *et al.*, 2022).

Efectos de la bioestimulación con selenio en el crecimiento y desarrollo de las plantas

La bioestimulación es la aplicación de sustancias u organismos exógenos beneficiosos, que no aportan nutrientes como tal, pero mejora la capacidad al estimular el crecimiento radicular, beneficiando la absorción de agua y nutrientes del suelo, asimismo aumenta la síntesis de antioxidantes en las plantas, lo que les permite ejercer tolerancia hacia el estrés generado por factores abióticos y bióticos (Halpern *et al.*, 2015).

Existen distintas categorías de bioestimulantes como los hidrolizados de proteínas que se utilizan para mejorar el crecimiento de las plantas (Calvo *et al.*, 2014); biopolímeros como el quitosán, proveniente de la quitina de caparazones de crustáceos, hongos o insectos (Reyes Pérez *et al.*, 2020); compuestos inorgánicos que fomentan el desarrollo de las plantas como el selenio, aluminio, silicio, cobalto y sodio (Sánchez *et al.*, 2009); y Microorganismos vivos como bacterias benéficas y hongos que mejoran el rendimiento y desarrollo, del mismo modo, generan gran tolerancia hacia el estrés (Campanelli *et al.*, 2014).

Selenio

En 1817 el químico sueco Jöns Jacob von Berzelius, descubrió el selenio (Se) (Kieliszek & Blazejak, 2016) que es el elemento con número atómico 34, perteneciente a los no metales. El selenio es un elemento muy limitado, ya que su contenido en la corteza es de 0,01 a 2 mg kg⁻¹ (Gupta & Gupta, 2017) y se encuentra en muchas partes del mundo ya que se recicla fácilmente en la atmosfera y es un micronutriente esencial. Este elemento se encuentra en cinco estados oxidativos como: selenuro (2⁻), selenio elemental (0), thioselenato (2⁺), selenito (4⁺) y selenato (6⁺) (Trejo-Téllez *et al.*, 2012).

El Selenio es elemental para el ser humano y los animales, pero en pequeñas cantidades, ya que se considera toxico en exceso (Fordyce, 2013). Por otro lado, se ha comprobado que el selenio brinda protección a la membrana celular, y reduce el estrés oxidativo ayudando al crecimiento y desarrollo de las plantas (Li *et al.*, 2023). Además el selenio tiene efectos estimulantes en el crecimiento de las plantas e incrementa la tolerancia contra factores bióticos y abióticos y mejora la calidad de los cultivos (Hermosillo Cereceres *et al.*, 2014). Su efecto bioestimulante se destaca en funciones fisiológicas y ecológicas, ya que atrae polinizadores, también ayuda a la interacción entre organismos que se benefician mutuamente a favor de las plantas asimismo ayuda a la estructura de los tejidos vasculares, todo esto al aplicar selenio en cantidades correctas (López *et al.*, 2023).

Las principales formas en las que las plantas pueden absorber el selenio son el selenio orgánico (Se^{2-}), el selenito (Se^{4+}) y el selenato (Se^{6+}) (Trejo-Téllez *et al.*, 2012). Se ha demostrado que la absorción de selenio por parte de las plantas ocurre principalmente en forma de selenato (SeO_4^{2-}) y selenito (SeO_3^{2-}). El selenito es absorbido a través de los transportadores de fosfato y acuaporinas, mientras que el selenato es incorporado mediante los transportadores de sulfatos en la membrana plasmática (Terry *et al.*, 2000). Estudios han comprobado que las plantas prefieren absorber selenato en comparación con el selenito y otras formas orgánicas de selenio, debido a que el selenito tiende a acumularse en los tallos en su forma inorgánica. Con base en su capacidad de acumulación de selenio, las plantas pueden clasificarse en tres categorías: no acumuladoras ($< 50 \text{ mg kg}^{-1}$), semiacumuladoras ($50\text{--}100 \text{ mg kg}^{-1}$) y acumuladoras ($100\text{--}1000 \text{ mg kg}^{-1}$) (Danso *et al.*, 2023).

También se ha comprobado que el selenio ayuda a reducir tipos de estrés como daños por el frío, sequía, alta radiación, agua, salinidad y metales pesados, (Feng *et al.*, 2012). Skalickova y colaboradores (2017) observaron que al aplicar $2.5\text{--}10 \mu\text{M}$ de selenio se incrementó el contenido de prolina en hojas, lo que disminuyó la peroxidación lipídica. Por su parte, Ožbolt y colaboradores (2008) encontraron que

la aplicación de selenio en forma de selenito (SeO_4)₂ y (Na_2SeO_3) en cantidades de 10 y 20 mg L⁻¹ en semillas de (*Fagopyrum esculentum*) expuestas a rayos ultravioleta, influyó en una mayor acumulación de selenato en las hojas (Ožbolt *et al.*, 2008)

En algunas especies hortícolas, la aplicación foliar del selenio ya sea selenito o selenato, son absorbidos por las hojas y optimizan el metabolismo vegetal, incrementando el crecimiento de la planta (El-Ramady *et al.*, 2016). Además la incorporación externa del selenio en las plantas, regula el contenido de agua cuando hay sequía, ayudando el crecimiento vegetal e incrementando la tolerancia contra estrés oxidativo causado por la radiación solar, que activa los mecanismos antioxidantes y retarda la senescencia, aumentando el rendimiento de los cultivos (Cuacua-Temiz *et al.*, 2017).

Brassicas y su interacción con selenio

Se ha comprobado que las especies de brassicas tienen elevada capacidad para absorber y almacenar altas concentraciones de selenio a diferencia de otros cultivos (Korzekwa *et al.*, 2023) De igual modo se ha investigado que la aplicación de selenio incrementa la producción de compuestos fenólicos totales en las brassicas ayudando a proteger la calidad de los cultivos y extender la vida útil de estos alimentos (Kamche *et al.*, 2024) Asimismo la biofortificación con selenio ayuda a mejorar la calidad nutricional, de los cultivos y de la salud humana, ya que al incorporar selenio en cultivos como brassicas activa las enzimas antioxidantes como glutatión y peroxidasa, que protegen las células del daño oxidativo causado por radicales libres, asimismo el selenio modifica la biosíntesis de algunos compuestos fenólicos como los flavonoides y ácidos fenólicos que ayudan a mejorar la capacidad antioxidante (Bachiega *et al.*, 2016)

Por otro lado los cultivos de hortalizas enriquecidos con selenio han sido de interés de investigación significativo (Galíć *et al.*, 2021) debido a que la biofortificación con selenio en especies de brassica como el colinabo (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*), col blanca (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*), col

lombarda (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*), col rizada (*Brassica oleracea* L. var. *sabauda*), coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) y el brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) son una buena opción para incrementar la ingestión de selenio en los seres humanos para asegurar una adecuada alimentación sin superar los niveles recomendados (400 μg Se día⁻¹) (Bañuelos *et al.*, 2015). Por otro lado, se han hecho investigaciones en la aplicación foliar de selenio en plantas de brócoli para tener una producción comercial de brócoli con alto concentrado de selenio en condiciones de campo, para mejorar la calidad nutricional sin comprometer el rendimiento (Muñoz *et al.*, 2021). De otro modo se demostró que la aplicación foliar del selenio en las plantas de brócoli es una opción eficiente para maximizar los beneficios de la planta en los productos obtenidos como las cabezas del brócoli, que constituye una excelente fuente de selenio sin tener riesgo de toxicidad para el consumo humano, asimismo se comprobó que al aplicar selenio su concentración se manifiesta más en las hojas que en la cabeza (Muñoz *et al.*, 2021). Asimismo se demostró que el tratamiento con selenito puede incrementar significativamente el contenido de azúcares solubles y reduce el almacenamiento de aminoácidos libres en brassicas (Gui *et al.*, 2021). Por otro lado se comprobó que el tratamiento con selenito a una concentración de $\mu\text{mol/L}$. aumentó significativamente el contenido de flavonoides en tres variedades de brócoli (Tian *et al.*, 2016); asimismo, la biofortificación puede ser una forma viable para abordar el problema de deficiencia del selenio en humanos a largo plazo, ya que al aplicar esta técnica se puede mejorar la calidad nutricional de los cultivos, de manera controlada sin comprometer la salud de las personas, por lo tanto el selenito y el selenato son principalmente las formas inorgánicas del selenio, sin embargo el selenito tiene, menor toxicidad y una tasa de conversión más fácil a selenio orgánico, transformándose en seleniuro, sin la necesidad de la catálisis de ATP sulfurilasa, este proceso es beneficioso para la planta como para los humanos (Zhang *et al.*, 2019). Por otro lado se realizó un estudio en repollo como material experimental se aplicó selenito como fuente de selenio, debido que es más económico y menor índice de toxicidad a diferencia del selenato, donde se incorporó al suelo utilizando diferentes concentraciones de

selenito y se hizo un análisis del crecimiento de las plantas, calidad nutricional, contenido total de selenio, especificación de selenio y se determinó la sustancia metabólica secundaria y la actividad antioxidante, de este modo se comprobó que en estas plantas el selenio sustituye fácilmente al azufre (Seppänen *et al.*, 2010) Por lo tanto se investigó que el selenito es absorbido por las plantas por medio de transportadores de entrada de silicio y transportadores de fosfato y la mayor parte del selenito absorbido se puede convertir en selenio orgánico en las raíces, y una pequeña se transporta a los brotes (Li *et al.*, 2008)

MATERIALES Y METODOS

Lugar del experimento

El experimento se llevó a cabo en el área experimental de campo del departamento de Horticultura en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, 25315 Saltillo, Coahuila, México; con las coordenadas 25°21'21.7" Latitud Norte y 101°02'06.7" Longitud Oeste, a una altitud de 1764 msnm.. El ciclo de cultivo se llevó a cabo durante el periodo de octubre 2023 a julio de 2025.

Descripción de los tratamientos

Se evaluaron 3 dosis de selenio en forma de selenito de sodio (Na_2SeO_3) y un testigo absoluto, los tratamientos se describen a continuación:

T1: No recibió ningún tratamiento de selenio

T2: Se aplicó 20 ppm de selenio (20 mg L^{-1})

T3: Se aplicó 30 ppm de selenio (30 mg L^{-1})

T4: Se aplicó 40 ppm de selenio (40 mg L^{-1})

Los tratamientos se aplicaron de forma foliar a la planta, usando un atomizador manual, se realizaron 4 aplicación durante todo el ciclo, una aplicación cada 30 días, iniciando un mes después del trasplante al campo. Para la aplicación foliar se preparó una solución madre de selenito de sodio a 200 ppm, de allí se tomó para preparar las concentraciones de aplicación, según se indica en los tratamientos.

El experimento se estableció en un diseño de bloques completos a azar. Se contó con 16 plantas por unidad experimental y 5 bloques.

Material vegetal y establecimiento del cultivo

Para este experimento se utilizó repollo híbrido F1 CHARMANT de la casa comercial SAKATA, con un porcentaje de germinación del 99.9 %.

Establecimiento del almacigo y trasplante.

El establecimiento del almacigo se realizó el día 22 de octubre del 2023, se utilizaron charolas de 200 Cavidades, se sembró usando turba (peat moss) como sustrato, para tener buena aireación y drenaje, se introdujeron las semillas aproximadamente a 0.5 cm de profundidad y se cubrió con una capa delgada de sustrato, para su germinación, las charolas se colocaron dentro de una bolsa de polietileno negro para favorecer la temperatura y humedad durante 7 días, posteriormente se sacaron y colocaron al ambiente dentro de un invernadero. Se mantuvo un riego de forma manual para que el sustrato se mantuviera húmedo, cuando las plántulas alcanzaron un tamaño de 10 cm se realizó el trasplante al campo definitivo. El trasplante se realizó el 18 de diciembre del 2023, se aplicó un riego pesado previo, para evitar estrés por deshidratación, los primeros días se mantuvo el suelo húmedo pero sin encharcarse. En campo las plantas se establecieron a 30 cm entre planta en tresbolillo con una densidad de siembra 5 plantas por metro cuadrado.

Labores durante el ciclo del cultivo

El manejo general del cultivo se llevó a cabo durante todo el ciclo, realizando riegos cada 48 horas, manteniendo el riego por 3 horas, con su respectiva fertilización con una Solución Nutritiva Steiner (Steiner, 1984) modificada (Cuadro 1) aplicando en etapa vegetativa a una concentración del 75% y al 100 % en etapa de floración.

Se realizaron labores de control de malezas de forma manual durante todo el ciclo, así como de plagas y enfermedades, haciendo aplicaciones periódicas de productos químicos, según fuera necesario, se aplicó METAMIDOFOS 600 para control de grillos y otros terópodos, y Metomilo 90%PS para control de gusano

barrenador, cada uno se aplicó en las dosis recomendadas indicadas en la etiqueta de los productos.

Cuadro 1. Concentración de iones en la solución nutritiva de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo de repollo.

<i>Macroelementos (me L⁻¹)</i>		<i>Microelementos (mg L⁻¹)</i>	
NO_3^-	19	Fe	2.2
$H_2PO_4^-$	2	Mn	0.5
SO_4^-	2.2	Cu	0.05
HCO_3^-	-	Zn	0.26
Cl^-	-	B	0.32
Ca^{++}	9	Mo	0.05
K^+	11		
Mg^{++}	2		
NH_4^+	1.25		

VARIABLES EVALUADAS

Variables Agronómicas

La evaluación de las variables de crecimiento y rendimiento se realizó en etapa vegetativa del cultivo (61 DDT) y en etapa reproductiva (100 DDT), en rendimiento se evaluó al final de ciclo productivo.

- Altura de planta: para determinar esta variable se utilizó un flexómetro para medir la altura de la planta desde el suelo hasta el meristemo apical.
- Diámetro del tallo: se midió la parte media del tallo con un vernier digital en milímetros (mm).
- Número de hojas: se consideró las hojas maduras y completamente desarrolladas, se contabilizó el número de hojas totales por planta.
- Peso fresco: Se pesaron las hojas en una balanza analítica de la marca Ohaus (precisión 0.01g) y el resultado se estableció en gramos (g)

- **Peso seco:** Después de que se secaron las hojas se pesó en una balanza analítica de la marca Ohaus (precisión 0.01g) y el resultado se estableció en gramos (g)

El rendimiento se expresó en kg producidos por planta. La cosecha dio inició el 25 de marzo (95 DDT) y duró aproximadamente 15 días, el corte se realizó cuando el fruto presentó un desarrollo total, se evaluando las siguientes variables relacionadas al rendimiento:

- **Diámetro polar y ecuatorial:** Con un vernier se tomó la medida del repollo de manera vertical y horizontal, las medidas se registraron en milímetros (mm).
- **Peso del fruto:** se utilizó una balanza analítica marca Ohaus (precisión 0.01g) y se determinó el peso en gramos (g).

Variables Bioquímicas

Se seleccionaron hojas y fruto para evaluar las variables bioquímicas, estas fueron conservadas en un ultracongelador marca Thermo Scientific-40086FA, para luego ser liofilizadas en un liofilizador marca Labconco FreeZone durante una semana. Una vez secas se procedió a macerar en un mortero cerámico, la muestra se almaceno en bolsas plásticas para proceder a cuantificar los biocompuestos. Las variables determinadas describen a continuación:

- **Clorofila:** se determinaron según lo establecido por Wellburn (1994), se agregaron 60 mg de la muestra en un tubo de ensayo, luego se adiciono 5 mL de metanol puro y se incubó a temperatura ambiente en oscuridad por 24 h. Después se procedió a medir la absorbancia en espectrofotómetro Uv-Vis (Genesis 10s Uv-Vis, Thermo Scientific, USA) a 666, 653 y 470 nm. La concentración de los pigmentos se expresa en miligramos por gramo de peso seco (mg g^{-1} PS).
- **Fenoles:** se realizó por el método modificado de Folin Ciocalteu. Se mezcló agua destilada con 1 mg de la muestra y 150 μL de reactivo

Folin a 0.2 N. posteriormente se adicionaron 300 μ L de solución de hidróxido de sodio a 0.35 M, después se incubo a temperatura ambiente y en obscuridad por 5 min. La absorbancia fue cuantificada en un espectrofotómetro Uv-Vis (Genesis 10s Uv-Vis, Thermo Scientific, USA) a 760 nm. La concentración de los pigmentos se expresa partes por millón de peso seco (ppm PS).

- Glutación: se determinó con la metodología propuesta por (Xue *et al.*, 2001), utilizando DTNB (ácido 5,5 ditiobis⁻² nitro benzoico) para la reacción de coloración. Se utilizó 0.48 mL de la muestra, 2.2 mL de fosfato de disódico, 0.33 mL de DTNB a 1 mM; posteriormente la mezcla se reposó durante 15 min y se realizó la lectura en un espectrofotómetro Uv-Vis (Genesis 10s, Thermo Scientific, USA) a 412 nm, el resultado se expresa partes por millón de peso seco (ppm PS).
- Proteínas totales: La cuantificación se realizó por medio de espectrofotométrica de Bradford, (1976). Se colocó 1 mL de reactivo Bradford y 0.1 mL de la muestra, se dejó reposar por 5 minutos y se leyó a 595 nm en un espectrofotómetro Uv-Vis (Genesis 10s, Thermo Scientific, USA) . Los resultados se presentan en partes por millón de peso seco (ppm PS).
- Flavonoides: La determinación fue según Zhishen *et al.* (1999). Se emplearon 2 mL de metanol al 80% y 100 mg de muestra en agitación con vórtex, se zonifico durante 5 min y se procedió a centrifugar 4,000 rpm durante 10 min a 4 °C. La cuantificación se realizó manteniendo la muestra en reposo durante 5 min con 75 μ L de NaNO₂ al 5%, luego se agregó 1.5 mL de AlCl₃ al 10%, 2 mL de agua destilada y 0.5 mL de NaOH 1 M. La cuantificación se realiza en un espectrofotómetro Uv-Vis (Genesis 10s, Thermo Scientific, USA) a 510 nm y los resultados se expresan en partes por millón en peso seco equivalentes de catequina en peso seco (ppm EC PS).
- Compuestos antioxidantes: El procedimiento fue según lo planteado por Re *et al.* (1999), utilizando la decoloración del catión radical ABTS. Para

dar lugar al radical se realizó una reacción con persulfato de potasio a 2.45 mM y ABTS a 7 mM (1:1 v/v) durante 16 horas en oscuridad, el radical debe tener una absorbancia de 0.7 a 754 nm. Posteriormente, en tubos de 2 mL se coloca 0.980 mL de la dilución antes mencionada con 20 µL de la muestra, agitando y dejando en oscuridad durante 7 min. Una vez transcurrido el tiempo de reposo se realizó la medición a 754 nm en un espectrofotómetro Uv-Vis (Genesis 10s, Thermo Scientific, USA), los datos son reportados en partes por millón de equivalentes de ácido ascórbico en peso seco (ppm EAA PS).

DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento se estableció utilizando un diseño de bloques completos azar con 5 repeticiones para cada tratamiento y la unidad experimental consto de 16 plantas. Se realizó una prueba de normalidad y homogeneidad de las varianzas, una vez cumplidos estos supuestos se realizó un análisis de varianza y prueba de medias de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher ($p \leq 0.05$). Todos los procedimientos estadísticos se realizaron utilizando el software Infostat (v2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aplicaciones de selenio en variables agronómicas del cultivo de repollo.

En el cuadro 1 y 2 se presentan las variables agronómicas evaluadas en el cultivo de repollo, en los diferentes tratamientos con Se, en dos etapas del cultivo, etapa vegetativa y reproductiva respectivamente. En la etapa vegetativa podemos observar efectos significativos estadísticamente, para el área foliar, peso fresco y seco de hojas; siendo el testigo quien presenta los valores más altos en relación a los tratamientos con Se.

En el caso de área foliar en la etapa vegetativa (Cuadro 1), el testigo y la aplicación de 20 mg L⁻¹ de Se tuvieron el mismo efecto en esta variable, observándose un decrecimiento en los tratamientos de 30 y 40 mg L⁻¹, donde se redujo el área foliar en un 6.4 y 22.6%, respectivamente. Por su parte, en la variable de peso seco se observa que el testigo fue estadísticamente superior a los demás tratamientos, al obtener valores 42.98%, 54.24% y 58.07% mayores a los tratamientos con 20, 30 y 40 mg L⁻¹ de Se, respectivamente. Mismo comportamiento se observó en la variable de peso fresco, donde el testigo fue superior en 36.89%, 45.74% y 53.68% a los tratamientos con 20, 30 y 40 mg L⁻¹ de Se, respectivamente.

En tanto, en la etapa reproductiva (Cuadro 2), en la variable de área foliar se observa que los tratamientos de 20 y 30 mg L⁻¹ de Se no tuvieron diferencias significativas con el testigo, mientras que el tratamiento de 40 mg L⁻¹ se observaron valores 13.6% menores al testigo. Para el peso seco y peso fresco se observaron comportamientos similares a los de la etapa vegetativa, donde en peso seco, el testigo fue estadísticamente superior a los tratamientos 20, 30 y 40 mg L⁻¹ en un 8.6, 6.8 y 12.8%, respectivamente, mientras que en el peso fresco fue un aumento de 8.5, 6.2 y 12.3%, respectivamente.

Por otro lado, las variables altura de planta y número de hojas no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, lo que nos indica que la aplicación foliar de Se no tuvo efecto en estas variables, bajo las condiciones de

este experimento, tanto en la etapa vegetativa (Cuadro 1) como en la reproductiva (Cuadro 2).

El Se es considerado un elemento no esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, su efecto tiene que ver principalmente con la forma química (selenato o selenito), método de aplicación (al suelo o foliar) y cultivo donde, este último de vital importancia ya que las plantas se clasifican en acumuladoras, semiacumuladoras y no acumuladoras de selenio (Garduño-Zepeda, A., & Márquez-Quiroz, 2028). La forma menos móvil de Se, es el selenito, por lo que su acumulación en hojas puede tener mayor efecto en procesos metabólicos y particularmente en el cultivo de repollo, ya que es una planta acumuladora de Se (Oancea, *et al.*, 2015).

Cuadro 1. Variables agronómicas del cultivo de repollo en etapa vegetativa con aplicaciones foliares de Selenio (se).

TRATAMIENTO	Área foliar (cm²)	Altura planta (cm)	Numero de hojas	Peso Seco Hoja (g)	Peso Fresco Hoja (g)
Testigo	198.73±15.86 a	14.6±2.69 a	8.2±0.85 a	5.09±0.54 a	43.2±2.43 a
20 mg L⁻¹	193.33±29.96 ab	13.4±1.42 a	8.4±1.02 a	3.56±0.47 b	31.56±5.95 b
30 mg L⁻¹	185.93±32.26 b	13.6±1.07 a	7.8±0.87 a	3.3±0.86 b	29.64±6.26 b
40 mg L⁻¹	153.83±23.82 c	12.4±1.52 a	7.9±1.12 a	3.22±0.51 b	28.11±5.83 b
CV	12.75	11.78	17.54	15.26	16.61

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes (LSD, P≤ 0.05). CV: coeficiente de variación.

En el área foliar de la etapa reproductiva (Cuadro 2), el tratamiento 1 obtuvo el valor más alto, pero solo es estadísticamente diferente al tratamiento 4 (40 ppm) superándolo en un 27.83%, no tuvo diferencia significativa con los tratamientos 1,2 y 3. En cuanto al peso fresco y seco de hojas, el testigo presenta diferencias

estadísticas significativas en comparación a los tratamientos foliares de Se, siendo 8.63 %, 6.24 % y 11.75 % superior a los tratamientos 20 ppm, 30 ppm y 40 ppm respectivamente.

En ambas etapas donde se midieron las variables, se presentó efecto en área foliar, peso fresco y seco de hojas. Como se mencionó antes, el selenito es menos móvil en la planta, por lo que al ser aplicado de forma foliar en dosis altas (40 ppm) puede inducir estrés oxidativo y afectar la división y expansión celular; si el estrés causado por Se no es excesivo la planta puede mantener su crecimiento vertical, pero con un menor desarrollo de la lámina foliar (Golubkina, *et al.*, 2018). En cuanto al peso seco y fresco, donde la aplicación foliar de Se, tiene un efecto negativo en comparación con el testigo, se menciona que el Se en dosis adecuadas puede favorecer el crecimiento y la acumulación de biomasa al reducir el estrés oxidativo y mejorar la eficiencia fotosintética, sin embargo en dosis elevadas puede tener un efecto negativo (Becvort-Azcurra, *et al.*, 2012). En un estudio realizado por de Almeida *et al.* (2022) donde realizaron aplicaciones foliares de selenito y selenato de sodio y determinaron que dosis inferiores a 5 ppm de Se en forma de selenito de sodio, tienen efectos positivos en biomasa de repollo, en dosis más altas esta variable se ve afectada negativamente.

En las variables de altura de planta y número de hojas, donde las dosis de Se no tuvieron efecto, se puede atribuir al hecho de que estas variables están reguladas por procesos hormonales donde el Se no tiene un efecto directo (Luiz-Cavarianni, *et al.*, 2011)

Cuadro 2. Variables agronómicas del cultivo de repollo en etapa reproductiva con aplicaciones foliares de Selenio (Se).

TRATAMIENTO	Área foliar (cm ²)	Altura planta (cm)	Numero de hojas	Peso Seco Hoja (g)	Peso Fresco Hoja (g)
Testigo	640.80±68.55 a	19.33±1.65 a	10.6±1.76 a	16.71±0.73 a	133.60±8.37 a
20 mg L ⁻¹	609.40±62.80 ab	18.01±1.21 a	10.07±1.93 a	15.28±1.37 b	122.26±11.09 b
30 mg L ⁻¹	613.65±22.49 ab	17.67±1.16 a	10.2±1.16 a	15.57±0.76 b	125.26±7.78 b
40 mg L ⁻¹	553.87±53.45 c	17.33±1.21 a	11.6±1.32 a	14.27±0.96 b	117.19±9.19 b
CV	12.36	13.65	19.54	12.76	10.98

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes (LSD, P≤ 0.05). CV: coeficiente de variación.

Rendimiento de repollo con aplicaciones foliares de Se.

En el (cuadro 3) se presentan las variables de rendimiento evaluadas en el cultivo de repollo, bajo diferentes concentraciones de Se. En estas variables no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, en la variable de peso, el tratamiento cuatro (40 mg L⁻¹) obtuvo el valor más alto a comparación de los demás tratamientos, por su parte en el diámetro ecuatorial el tratamiento con el valor más alto fue la aplicación de 30 mg L⁻¹. Por otro lado en el diámetro polar se puede observar que el testigo obtuvo el valor más alto.

La aplicación foliar de selenio puede no influir significativamente en el peso y tamaño de las cabezas de repollo debido a la interacción de múltiples factores, incluyendo la especificidad de la especie (Mechora *et al.*, 2012), la interacción con

otros nutrientes, posibles efectos tóxicos a altas concentraciones y la eficacia del método de aplicación (Schiavon *et al.*, 2017). Algunas especies muestran aumento en crecimiento y rendimiento con aplicaciones de Se, otras no presentan cambios significativos. En el caso del repollo, es posible que las concentraciones aplicadas no coincidan con las etapas de mayor sensibilidad al Se, limitando su efecto en parámetros como peso y tamaño de la cabeza.

Cuadro 3. Variables de rendimiento del cultivo de repollo con aplicaciones foliares de Selenio (Se).

<i>Tratamiento</i>	<i>Peso (kg)</i>		<i>Diámetro ecuatorial (cm)</i>		<i>Diámetro polar (cm)</i>	
<i>testigo</i>	900.92 ± 74.50	a	18.44 ± 1.66	a	16.08 ± 1.17	a
<i>20 mg L⁻¹</i>	899.94 ± 44.54	a	17.46 ± 1.84	a	14.44 ± 1.50	a
<i>30 mg L⁻¹</i>	879.34 ± 97.61	a	18.52 ± 1.35	a	15.12 ± 1.68	a
<i>40 mg L⁻¹</i>	912.70 ± 59.14	a	17.22 ± 1.00	a	14.60 ± 0.75	a

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes (LSD, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación.

Contenido bioquímico de hoja de repollo con aplicación foliar de Se.

En el **cuadro 4** se presentan las variables bioquímicas evaluadas, con distintas concentraciones de Se. Podemos observar diferencias significativas estadísticamente en la variable de los carotenoides, siendo el testigo el que obtuvo el valor más alto en comparación con los demás tratamientos. En el resultado de clorofila a y clorofila b no se encontraron diferencias significativas, sin embargo el testigo obtuvo el valor más alto en comparación con los demás tratamientos en ambos casos.

Los resultados de la presente investigación, difieren con los reportados por parte de López, *et al.* (2015), donde se observaron diferencias estadísticamente significativas en el cultivo de *Brassica napus L.*, tanto para clorofila a y clorofila b, especialmente en la concentración más alta de Se (150 $\mu\text{mol L}^{-1}$), donde se observó un incremento de 5.22, 11.14 y 8.19% en aplicaciones de Selenito de sodio (Na_2SeO_3). Además, la aplicación de selenito de sodio, generó un incremento en el contenido de carotenoides, con la aplicación de (150 $\mu\text{mol L}^{-1}$) que resultó ser la mejor concentración para esta variable. Esto se puede deber a que en altas concentraciones el selenito de sodio puede activar la planta, en procesos que estimulan la producción de carotenoides, para defenderse tras factores de estrés oxidativos. Sin embargo en nuestra investigación, el testigo (sin aplicaciones de selenio) obtuvo mejores resultados en el contenido de carotenoides lo que sugiere que el cultivo *Brassica napus L.* tiene mayor capacidad para tolerar el selenio y beneficiarse de él en sus procesos metabólicos antioxidantes, mientras que la *Brassica oleracea* tiende a ser más sensible y al tener ausencia de Se, favoreció la producción natural de carotenoides. Así mismo estos datos difieren con los resultados reportados por Gonzales y Gonzales *et al.*, (2022) en cultivo de pimiento, donde el valor más alto se obtuvo con la concentración de 5 μM que es la concentración de Se más baja, superando al testigo en un 26.44%, esta diferencia se puede deber a que cada especie tiene un metabolismo distinto. En pimiento, el selenio en bajas concentraciones actúa como un bioestimulante moderado, ayudando a que la planta genere más carotenoides, al activarse ciertas señales internas para protegerse ante factores de estrés.

Cuadro 4. Variables bioquímicas del cultivo de repollo con aplicaciones foliares de Selenio (Se).

Tratamiento	Clorofila a (mg g PS)		Clorofila b (mg g PS)		Carotenoides (mg g PS)	
testigo	1.15 $\pm$ 0.55	a	1.9 $\pm$ 1.03	a	0.74 $\pm$ 0.30	a

20 mg L⁻¹	0.81 ± 0.11	a	1.32 ± 0.16	a	0.19 ± 0.01	b
30 mg L⁻¹	0.82 ± 0.13	a	1.38 ± 0.22	a	0.28 ± 0.13	b
40 mg L⁻¹	0.92 ± 0.9	a	1.15 ± 0.09	a	0.08 ± 0.02	c
CV	32		38.48		14.01	

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes (LSD, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de ^{variación}.

En la variable de fenoles (cuadro 5) no se obtuvo diferencias significativas estadísticas, sin embargo el testigo presento el valor más alto en comparación a los demás tratamientos, por su lado en la variable de glutatión el tratamiento 40 mg L⁻¹ obtuvo el valor más alto, pero solo es estadísticamente diferente al testigo, se obtuvo diferencias significativas siendo el tratamiento 30 mg mg L⁻¹ el valor más alto superándolo. En el caso de proteínas totales el tratamiento de 20 mg mg L⁻¹ y 40 mg mg L⁻¹ tuvieron el mismo efecto en esta variable, observándose una disminución en el testigo y el tratamiento de 30 mg mg L⁻¹.

La presente investigación difiere con los resultados reportados por Yu *et al.*, (2023), donde al aplicar selenito aumento el contenido fenólico en etapas iniciales, y después disminuyo alcanzando un valor de 0,2 mmol·L⁻¹, esto se puede deber a que inicialmente al aplicar selenito la planta detecto estrés oxidativo, lo que eleva el contenido fenólico, y pasado el tiempo la planta se empieza adaptar al estrés, dejando de producir fenoles. Así mismo en la variable flavonoides (Cuadro 5), por otro lado en la variable de flavonoides los resultados que obtuvimos contrastan con esta investigación, debido a que se observó que en las aplicaciones de selenito de sodio en las concentraciones de 0.2 y 1.6 mmol/L aumento su contenido de flavonoides, sin embargo, se inhibió en los tratamientos de 0.1, 0.4, y 0.8 mmol/L, lo que sugiere que el selenio en concentraciones altas puede generar

estrés oxidativo, a causa de las especies reactivas de oxígeno (ROS) y para contrarrestar este daño, las plantas activan sus mecanismos de defensas como la síntesis de antioxidantes, en este caso los flavonoides, ya que ayudan a neutralizar las ROS para proteger las plantas de los daños oxidativos. Sin embargo en el contenido total de proteínas totales (Cuadro 5), los resultados difieren con esta investigación, debido a que hubo diferencia significativas donde la concentración de $0.2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ obtuvo el valor más alto, esto se puede deber que al aplicar dosis óptimas, el selenio estimula la síntesis de proteínas

Cuadro 5. Variables bioquímicas del cultivo de repollo con aplicaciones foliares de Selenio (Se).

<i>Tratamiento</i>	<i>Fenoles (ppm)</i>		<i>Glutación (ppm)</i>		<i>Proteínas totales (ppm)</i>		<i>Flavonoides (ppm)</i>	
testigo	40.14 ± 18.79	a	30.74 ± 3.82	c	38.9 ± 7.03	bc	0.56 ± 0.12	a
20 mg L⁻¹	40.42 ± 21.13	a	45.13 ± 9.87	b	56.54 ± 11.55	a	0.44 ± 0.11	b
30 mg L⁻¹	40.42 ± 3.82	a	50.15 ± 1.88	ab	26.26 ± 6.36	c	0.64 ± 0.20	a
40 mg L⁻¹	41.25 ± 22.19	a	56.51 ± 7.40	a	52.24 ± 4.59	ab	0.54 ± 0.04	ab
CV	18.14		10.06		19.65		11.19	

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes (LSD, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación.

Producción de residuos de cosecha por unidad de áreas

En el Cuadro 6 se presentan el peso fresco y peso seco, donde destaca en ambos casos el testigo, ya que estadísticamente obtuvo los valores más altos, sin encontrarse diferencias significativas entre los demás tratamientos. Este estudio contrasta con los resultados obtenidos por Gonzales *et al.*, (2022) puesto que no se observaron diferencias significativas en la aplicación foliar de Se en biomasa seca, sin embargo, la concentración de 5 μM fue la que favoreció los resultados de biomasa total seca, siendo la que obtuvo los valores más altos en comparación con los demás tratamientos. Esto se puede deber a que las plantas del testigo se desarrollaron mejor al no tener presencia de selenio ya que no siempre mejora el crecimiento vegetal, sin embargo actúa mejor como bioestimulante para la producción de compuestos antioxidantes.

En la variable de peso, se observaron diferencias estadísticamente significativas, al obtener un decrecimiento en la biomasa fresca y seca en las dosis aplicadas, siendo el testigo el que tuvo el valor más alto para ambos casos, lo que difiere con Yu *et al.* (2023), quienes demostraron que al aplicar selenito de sodio en una concentración de 0.4 (mmol/L) incrementaron la biomasa de (*Brassica oleracea var. Capitata L.*) Esto se debe a las condiciones ambientales de cada investigación ya que afectan los resultados significativamente, como en la modificación de la absorción y metabolismo del selenito en las plantas.

Cuadro 6. Variables de rendimiento de residuos de cosecha de repollo con aplicaciones foliares de Selenio (Se).

<i>Tratamiento</i>	<i>Peso fresco (g planta⁻¹)</i>		<i>Peso seco (g planta⁻¹)</i>	
testigo	5874.7 $\pm$ 1205.98	a	830.15 $\pm$ 153.03	a
20 mg L⁻¹	4671.3 $\pm$ 335.93	b	666.82 $\pm$ 34.95	b
30 mg L⁻¹	4573.3 $\pm$ 485.57	b	612.82 $\pm$ 66.20	b

<i>40 mg L⁻¹</i>	4129.4 ± 1026.90 b	558.5 ± 105.56 b
------------------------------------	-----------------------	---------------------

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes (LSD, $P \leq 0.05$).

CONCLUSIÓN

El selenito de sodio no influyo en las variables agronómicas en el cultivo de repollo, debido a que la aplicación foliar de este compuesto en las dosis probadas generó estrés oxidativo, afectando el crecimiento, el testigo que no estuvo expuesto al selenito de sodio obtuvo mejores resultados. Lo anterior se relaciona con el contenido de compuestos bioactivos, se observó un incremento en compuestos con acción antioxidantes. La aplicación de 20 mg L⁻¹ aumentó significativamente el número de hojas durante ambas etapas fenológicas, y también por favorecer la acumulación de proteínas totales en el tejido vegetal, por su parte la dosis de 40 mg L⁻¹ incrementó el contenido de glutatión. Las aplicaciones foliares de selenio no tuvieron un efecto en biomasa de residuos de cosecha con respecto al testigo. Las concentraciones de selenito, propuesta en este experimento, genero un desequilibrio y estrés en las plantas, reflejándose en el contenido de compuestos bioactivos de defensa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Angelini, P. (2024). Plant-Derived Antimicrobials and Their Crucial Role in Combating Antimicrobial Resistance. *Antibiotics*, 13(8), 746. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13080746>

Angelotti, F., Hamada, E., & Bettiol, W. (2024). A Comprehensive Review of Climate Change and Plant Diseases in Brazil. *Plants*, 13(17), 2447. <https://doi.org/10.3390/plants13172447>

Arias, J. A. (2019). Biofumigación con *Brassica*, una alternativa agroecológica para el control de fusarium oxysporum en almácigos de cebolla (Bachelor's thesis, Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud).

Baglioni, M., Clemente, I., Tamasi, G., Bisozzi, F., Costantini, S., Fattori, G., Gentile, M., & Rossi, C. (2024). Isothiocyanate-Based Microemulsions Loaded into Biocompatible Hydrogels as Innovative Biofumigants for Agricultural Soils. *Molecules*, 29(16), 3935. <https://doi.org/10.3390/molecules29163935>

Buttarelli, M. S., Céccoli, G., Trod, B. S., Stoffel, M. M., Simonutti, M., Bouzo, C. A., Turowski, V. R., Perez, A. A., Llugany, M., Sánchez-Martín, M.-J., Daurelio, L. D., Guevara, M. G., & Muñoz, F. F. (2025). Enhancing Nutritional and Functional Properties of Broccoli Leaves Through Selenium Biofortification: Potential for Sustainable Agriculture and Bioactive Compound Valorization. *Agronomy*, 15(2), 389. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020389>

Buttarelli, M. S., Céccoli, G., Trod, B. S., Stoffel, M. M., Simonutti, M., Bouzo, C. A., Turowski, V. R., Perez, A. A., Llugany, M., Sánchez-Martín, M.-J., Daurelio, L. D., Guevara, M. G., & Muñoz, F. F. (2025). Enhancing Nutritional and Functional Properties of Broccoli Leaves Through Selenium Biofortification: Potential for Sustainable Agriculture and Bioactive Compound Valorization. *Agronomy*, 15(2), 389. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020389>

Caballero, B. L., Márquez, C. J. y Betancur, M. I. (2017). Efecto de la liofilización sobre las características físicas-químicas del ají rocoto (*Capsicum pubescens* R & P) con o sin semilla. *Bioagro*. 29(3):225-234.

Campanelli, A., Ruta, C., Tagarelli, A., Morone-Fortunato, I., y De Mastro, G. (2014). Efectividad de hongos micorrízicos en la micropropagación de alcachofa (*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus*). *Revista de Interacciones de Plantas*, 9 (1), 100-106.

Cantoral, A., Collado-López, S., Betanzos-Robledo, L., Lamadrid-Figueroa, H., García-Martínez, B. A., Ríos, C., Díaz-Ruiz, A., Mariscal-Moreno, R. M., & Téllez-Rojo, M. M. (2024). Dietary Risk Assessment of Cadmium Exposure Through Commonly Consumed Foodstuffs in Mexico. *Foods*, 13(22), 3649. <https://doi.org/10.3390/foods13223649>

CENTA (2003). "Cultivo del repollo". Guía técnica No. 16 Centro nacional de tecnología agropecuaria y forestal El Salvador. Pp. 8.

Chango-Palate, E. A. (2015). Efecto de la mostaza caliente en suelo hortícola infestado por nematodos. (Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Ambato). Recuperado de <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/18309/1/Tesis114%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20369.pdf>

Civieta-Bermejo, B. F., Fuente, M. C.-D. La, González-Morales, S., Benavides-Mendoza, A., & Sandoval-Rangel, A. (2021). Residuos de repollo para biocontrol de *Fusarium* spp. en el cultivo de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 26, 95–104. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i26.2940>

Cuacua-Temiz, C., Trejo-Téllez, L.I., Velasco-Velasco, J., Gómez-Merino, F.C. (2017). Efecto de los elementos benéficos Al, Co, Se y Si en la nutrición de heliconias (*Heliconia* sp.). *Agroproductividad* 10: 62-68.

Danso, O.P., Asante-Badu, B., Zhang, Z., Song, J., & Wang, Z. (2023). *Selenium Biofortification: Strategies, Progress and Challenges*. Agriculture. Recuperado de <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/2/416>

De Evan, T., Vintimilla, A., Marcos, C. N., Ranilla, M. J., & Carro, M. D. (2019). Evaluation of Brassica Vegetables as Potential Feed for Ruminants. *Animals*, 9(9), 588. <https://doi.org/10.3390/ani9090588>

Dulović, A., Usanović, K., Kukoč Modun, L., & Blažević, I. (2023). Selenium Biofortification Effect on Glucosinolate Content of *Brassica oleracea* var. *italic* and *Eruca vesicaria*. *Molecules*, 28(20), 7203. <https://doi.org/10.3390/molecules28207203>

El-Badri, A. M., Hashem, A. M., Batool, M., Sherif, A., Nishawy, E., Ayaad, M., ... & Zhou, G. (2022). Comparative efficacy of bio-selenium nanoparticles and sodium selenite on morpho-physiochemical attributes under normal and salt stress conditions, besides selenium detoxification pathways in *Brassica napus* L. *Journal of Nanobiotechnology*, 20(1), 163.

El-Ramady, H., Abdalla, N., Taha, H.S., Alshaal, T., El-Henawy, A., Faizy, S.E.D.A., Shams, M.S., Youssef, S.M., Shalaby, T., Bayoumi, Y., Elhawat, N., Shehata, S., Sztrik, A., Prokisch, J., Fári, M., Domokos-Szabolcsy, É., Pilon-Smits, E.A., Selmar, D., Haneklaus, S. & Schnug, E. (2016). Selenium and nano-selenium in plant nutrition. *Environmental Chemistry Letters* 14: 123¹47.

El-Remaly, E., Osman, A. A., El-Gawad, H. G. A., Althobaiti, F., Albogami, S., Dessoky, E. S., & El-Mogy, M. M. (2022). Bio-Management of Root-Knot Nematodes on Cucumber Using Biocidal Effects of Some *Brassicaceae* Crops. *Horticulturae*, 8(8), 699. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8080699>

Feng, R. W., & Wei, C. Y. (2012). Antioxidative mechanisms on selenium accumulation in *Pteris vittata* L., a potential selenium phytoremediation plant. *Plant Soil Enviromental*, 3, 105–110.

Ferreira, C. S. S., Soares, P. R., Guilherme, R., Vitali, G., Boulet, A., Harrison, M. T., Malamiri, H., Duarte, A. C., Kalantari, Z., & Ferreira, A. J. D. (2024). Sustainable Water Management in Horticulture: Problems, Premises, and Promises. *Horticulturae*, 10(9), 951. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10090951>

Fordyce, F. M. (2013). Selenium deficiency and toxicity in the environment. *Essentials of Medical Geology: Revised Edition*, 16, 375-416. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4375-5>

Fuentes, F. y Perez, J. (2003). Guia técnica cultivo del repollo. EdicionesCENTA. Mexico. 2-9 pp.

Golubkina, N., Antoshkina, M., Bondareva, L., Sekara, A., Campagna, E., & Caruso, G. (2023). Effect of Foliar Application of Sodium Selenate on Mineral Relationships in Brassicaceae Crops. *Horticulturae*, 9(5), 535. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9050535>

Góngora, C. E., & Silva, M. d. C. (2024). Sustainable Strategies for the Control of Crop Diseases and Pests to Reduce Pesticides. *Agronomy*, 14(9), 2158. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092158>

González-Chávez, O., Alejo-Santiago, G., Bugarín-Montoya, R., Juárez-Rosete, C. R., Arrieta-Ramos, B. G., & Juárez-López, P. (2022). Concentración y método de aplicación de selenio en plántulas de pimiento. *Biotecnia*, 24(2), 112⁻¹19.

Guambo López, M. F. (2011). Estudio Bioagronómico de 20 Cultivares de Col (Brassica oleracea L. var. capitata), ESPOCH, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

Gudiño, I., Casquete, R., Martín, A., Wu, Y., & Benito, M. J. (2024). Comprehensive Analysis of Bioactive Compounds, Functional Properties, and Applications of Broccoli By-Products. *Foods*, 13(23), 3918. <https://doi.org/10.3390/foods13233918>

Gupta M, Gupta S (2017). An overview of selenium uptake, metabolism, and toxicity in plants. *Frontiers in Plant Science*. 7: 2074.

Halpern, KB, Caspi, I., Lemze, D., Levy, M., Landen, S., Elinav, E., y Itzkovitz, S. (2015). Retención nuclear de ARNm en tejidos de mamíferos. *Informes celulares*, 13 (12), 2653-2662.

Hanschen, F. S., & Winkelmann, T. (2020). Biofumigation for Fighting Replant Disease- A Review. *Agronomy*, 10(3), 425. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030425>

Hermosillo-Cereceres, M.A., Sánchez, E., Muñoz-Márquez, E., Guevara-Aguilar, A., García-Bañuelos, M., Ojeda-Barrios D. (2014). Impact of selenium fertilization on the activity of detoxifying enzymes of H₂O₂ in bean plants. *Phyton-International Journal of Experimental Botany* 83: 347-352.

Hidalgo L. (2007). "Guía técnica del cultivo de la col". Datos sin publicar.

Hu, C., Sun, D., Yu, J., Chen, M., Xue, Y., Wang, J., Su, W., Chen, R., Anwar, A., & Song, S. (2024). Transcriptome Analysis of Intermittent Light Induced Early Bolting in Flowering Chinese Cabbage. *Plants*, 13(6), 866. <https://doi.org/10.3390/plants13060866>

Hurres C. & Caballero N. (1998). Horticultura. Editorial Pueblo y Educación. La Habana- Cuba p. 54-p69.

Jaramillo, J., & Diaz , C. (2006). el cultivo de las crucíferas Brocoli, Coliflor, Repollo y Col china. Colombia: Litomadrid-Cra.

Jatuwong, K., Aiduang, W., Kiatsiriroat, T., Kamopas, W., & Lumyong, S. (2025). A Review of Biochar from Biomass and Its Interaction with Microbes: Enhancing Soil Quality and Crop Yield in *Brassica* Cultivation. *Life*, 15(2), 284. <https://doi.org/10.3390/life15020284>

Kacjan Maršić, N., Može, K. S., Mihelič, R., Nečemer, M., Hudina, M., & Jakopič, J. (2021). Nitrogen and Sulphur Fertilisation for Marketable Yields of Cabbage

(*Brassica oleracea* L. var. *Capitata*), Leaf Nitrate and Glucosinolates and Nitrogen Losses Studied in a Field Experiment in Central Slovenia. *Plants*, 10(7), 1304. <https://doi.org/10.3390/plants10071304>

Kacjan Maršić, N., Može, K. S., Mihelič, R., Nečemer, M., Hudina, M., & Jakopič, J. (2021). Nitrogen and Sulphur Fertilisation for Marketable Yields of Cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *Capitata*), Leaf Nitrate and Glucosinolates and Nitrogen Losses Studied in a Field Experiment in Central Slovenia. *Plants*, 10(7), 1304. <https://doi.org/10.3390/plants10071304>

Kirkegaard, J. (2009). Biofumigation for plant disease control - from the fundamentals to the farming system. In: WALTERS, D. Disease Control in Crops: Biological and Environmentally Friendly Approaches. Oxford: Wiley-Blackwell, Cap. 9, p. 172⁻¹95.

Lafi, J.G., A.M. Tarquini, M. Sanz Pérez & M.C. Puglia. (2017). Susceptibilidad in vitro de *Fusarium* spp, patógenas en tomate, a biofumigación con Brassicáceas. Procede de 4º Congreso Argentino de Fitopatología. Mendoza, Argentina. pp. 363.

Larkin, Robert P. & Timothy S. Griffin. (2007). Control of soilborne potato diseases using Brassica green manures. *Crop protection* 26.7: 1067⁻¹077.

Lazzeri, L., Curto, G., Leoni, O. and Dallavalle, E. (2004). Effects of glucosinolates and their enzymatic hydrolysis products via myrosinase on the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoed et White) Chitw. *J. Agric. Food Chem.* 52(22):6703-6707. <https://doi.org/10.1021/jf030776u>

Li L., Wu S., Wang S., Shi X., Cheng S. & Cheng H. (2023). Molecular Mechanism of Exogenous Selenium Affecting the Nutritional Quality, Species and Content of Organic Selenium in Mustard. *Agronomy*, 13(5), pp. 1425.

López-Gervacio, A., Hernández-Díaz, J. A., Qui-Zapata, J. A., Barrera-Martínez, I. C., Montero-Corte, M. I. & García-Morales, S. (2023). Nanopartículas de Selenio para la agricultura sostenible. *Crónica MX*.

Lu, P., Gilardi, G., Gullino, ML, y Garibaldi, A. (2010). Biofumigación con plantas de Brassica y su efecto sobre el potencial de inóculo de la amarillamiento por Fusarium en cultivos de Brassica. *Revista europea de patología vegetal* , 126 , 387-402.

Maffia, A., Marra, F., Battaglia, S., Oliva, M., Mallamaci, C., & Muscolo, A. (2024). Influence of Agro-Industrial Waste Composts on Soil Characteristics, Growth Dynamics, and Yield of Red Cabbage and Broccoli. *Soil Systems*, 8(2), 53. <https://doi.org/10.3390/soilsystems8020053>

Maggioni, L., Von Bothmer, R., Poulsen, G., & Branca, F. (2010). Origin and domestication of cole crops (*Brassica oleracea* L.): linguistic and literary considerations. *Economic botany*, 64, 109⁻¹²³. <https://doi.org/10.1007/s12231-010-9115-2>

Maggioni, L., Von Bothmer, R., Poulsen, G., & Branca, F. (2010). Origin and domestication of cole crops (*Brassica oleracea* L.): linguistic and literary considerations. *Economic botany*, 64, 109⁻¹²³. <https://doi.org/10.1007/s12231-010-9115-2>

Maroto- Borrego. J. V. (1994). *Horticultura herbácea especial* Madrid: Mundi-Prensa.

Martínez, V., Ros, C., Guerrero, M., Lacasa, C., & Fernández, P. (2014). Uso de brassicas verdes y pellets de *Brassica carinata* para la desinfección de suelos de pimiento. Obtenido de <http://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/publicacionesonline/2010/ix-congreso/cd-actas/p8-sanidad-vegetal-ii-PDF/8-4- uso de brasicas-martinez.pdf>

Matthiessen, J. N., Kirkegaard, J. A. (2006) Biofumigation and enhanced biodegradation: opportunity and challenge in soilborne pest and disease management. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v.25, p.235-65, <https://doi.org/10.1080/07352680600611543>

Mechora, Š., Germ, M., & Stibilj, V. (2012). Selenium compounds in selenium-enriched cabbage*. *Pure and Applied Chemistry*, 84(2), 259–268. <https://doi.org/10.1351/PAC-CON¹1-07¹9>

Min, K., Cho, Y., Kim, E., Lee, M., & Lee, S.-R. (2021). Exogenous Glycine Betaine Application Improves Freezing Tolerance of Cabbage (*Brassica oleracea* L.) Leaves. *Plants*, 10(12), 2821. <https://doi.org/10.3390/plants10122821>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2024). FAOSTAT: Producción agrícola mundial. FAO. Recuperado el 3 de febrero de 2025, de <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>

Ožbolt, L., Kreft, S., Kreft, I., Germ, M., & Stibilj, V. (2008). Distribution of selenium and phenolics in buckwheat plants grown from seeds soaked in Se solution and under different levels of UV-B radiation. *Food Chemistry*, 110, 691–696. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.073>

Paniagua-Pardo, G., Hernández-Aguilar, C., Rico-Martínez, F., Domínguez-Pacheco, F. A., Martínez-Ortiz, E., & Martínez-González, C. L. (2015). Efecto de la luz led de alta intensidad sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de brócoli (*Brassica oleracea* L.). *Polibotánica*, (40), 199-212. Recuperado en 03 de febrero de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682015000200013&lng=es&tlng=es

Pei, G., Li, Y., & Li, H. (2024). Impacts of Selenium Supplementation on Soil Mercury Speciation, Soil Properties and Mercury-Resistant Microorganisms and Resistant Genes. *Agronomy*, 14(9), 1928. <https://doi.org/10.3390/agronomy14091928>

Perniola, O., Chorzempa, S., & Staltari, S. (2016). Biofumigación in vitro con *Brassica juncea* y *Sinapis alba*. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/54173>

Perniola, O.S., S.E. Chorzempa, S. Staltari, H. Rodriguez & M. del C. Molina. (2011). Incidencia de la biofumigación sobre el control de malezas. Procede de VIII Simposio Nacional de Biotecnología REDBIO. C.A.B.A., Argentina. Sección 3. 54.

Plaszkó, T., Szűcs, Z., Vasas, G., & Gonda, S. (2021). Effects of Glucosinolate-Derived Isothiocyanates on Fungi: A Comprehensive Review on Direct Effects, Mechanisms, Structure-Activity Relationship Data and Possible Agricultural Applications. *Journal of Fungi*, 7(7), 539. <https://doi.org/10.3390/jof7070539>

Pletsch, R. (2006). Instituto nacional de tecnología agropecuaria. Ediciones INTA. México. Pp. 3-4.

Reyes-Pérez, J. J., Rivero-Herrada, M., Solórzano-Cedeño, A. E., Carballo-Méndez, F. D. J., Lucero-Vega, G., & Ruiz-Espinoza, F. H. (2021). Aplicación de ácidos húmicos, quitosano y hongos micorrízicos como influyen en el crecimiento y desarrollo de pimiento. *Terra Latinoamericana*, 39.

Salunke, D. K. et al. (2004). Tratado de Ciencia y Tecnología de las Hortalizas. Editorial, Acribia, S. A. Pág. 173 – 180.

Šamec, D., Pavlović, I., & Salopek-Sondi, B. (2017). White cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *alba*): botanical, phytochemical and pharmacological overview. *Phytochemistry reviews*, 16, 117¹35. <https://doi.org/10.1007/s11101-016-9454-4>

Sánchez Montero, J. M. (2009). Compuestos orgánicos volátiles en el medio ambiente. Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia.

Sarita, V. V. (1993). “Cultivo de repollo”. Fundación de desarrollo agropecuario Inc. Serie cultivo. Boletín técnico no. 18. Santo Domingo, República Dominicana.

Sarwar, M.; Kirkegaard, J. A., Wong, P. T. W. & Desmarchelier, J. M. (1998). Biofumigation potential of brassicas III. In vitro toxicity of isothiocyanates to soil borne fungal pathogens. *Plant and Soil*. 201(1):103¹12. <https://doi.org/10.1023/A:1004381129991>

Schiavon, M., & Pilon-Smits, E. A. H. (2017). Selenium Biofortification and Phytoremediation Phytotechnologies: A Review. *Journal of Environmental Quality*, 46(1), 10–19. <https://doi.org/10.2134/JEQ2016.09.0342>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). Producción agrícola por entidad federativa. Gobierno de México. Recuperado el 3 de febrero de 2025, de https://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap/ientidad/index.jsp

Skalickova, S., Milosavljevic, V., Cihalova, K., Horky, P., Richtera, L., & Adam, V. (2017). Selenium nanoparticles as a nutritional supplement. *Nutrition*, 33, 83-90.

Šola, I., Poljuha, D., Pavičić, I., Jurinjak Tušek, A., & Šamec, D. (2025). Climate Change and Plant Foods: The Influence of Environmental Stressors on Plant Metabolites and Future Food Sources. *Foods*, 14(3), 416. <https://doi.org/10.3390/foods14030416>

Terry, N., Zayed, A. M., P, D. S. M., & S., T. A. (2000). Selenium in higer plants. *Plant Physiology*, 51, 401–432.

Trejo-Téllez, LI., Gómez-Merino, F.C., Alcántar-González, G. (2012). Elementos benéficos. En: Nutrición de cultivos (Eds. Alcántar-González, G. y Trejo-Téllez, LI.), pp. 49-91. México. Colegio de Post graduados.

Tziros, G. T., Samaras, A., & Karaoglanidis, G. S. (2024). Soil Solarization Efficiently Reduces Fungal Soilborne Pathogen Populations, Promotes Lettuce Plant Growth, and Affects the Soil Bacterial Community. *Biology*, 13(8), 624. <https://doi.org/10.3390/biology13080624>

Valadez, L. A. (1992). Producción de hortalizas. Editorial Limusa SA de CV. Segunda reimpresión. México, D.F. 298 pp.

Valadez. L. A. (1998). Producción de hortalizas. Editorial Limusa. Octava reimpresión. México.

Wang, X., Lee, Y., Kang, T., & Park, J. (2025). Optimizing Cabbage Cultivation in Paddy-Converted Fields Using Discarded Coir Substrates and Controlled Irrigation. *Agronomy*, 15(1), 8. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010008>

Western Forum. (s.f.). *Diseases of vegetable crops*. Western Committee on Plant Diseases. Recuperado el 8 de febrero de 2025 de https://westernforum.org/Documents/WCPD/WCPD_documents/Current%20GuideLine%20Files/Ch%2010%20Diseases%20of%20Vegetables.pdf

Wieczorek, R., Zydlik, Z., Wolna-Maruwka, A., Kubiak, A., Bocianowski, J., & Niewiadomska, A. (2024). The Response of the Mycobiome to the Biofumigation of Replanted Soil in a Fruit Tree Nursery. *Agronomy*, 14(9), 1961. <https://doi.org/10.3390/agronomy14091961>

Yu, L., Chen, Q., Liao, X., Yang, X., Chao, W., Cong, X., ... & Xu, F. (2023). Exploring effects of exogenous selenium on the growth and nutritional quality of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). *Horticulturae*, 9(3), 330.

Yu, L., Chen, Q., Liao, X., Yang, X., Chao, W., Cong, X., Zhang, W., Liao, Y., Ye, J., Qian, H., Zhao, Y., Cheng, S., & Xu, F. (2023). Exploring Effects of Exogenous Selenium on the Growth and Nutritional Quality of Cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). *Horticulturae*, 9(3), 330. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030330>

Zhang, F., Li, X., & Wei, Y. (2023). Selenium and Selenoproteins in Health. *Biomolecules*, 13(5), 799. <https://doi.org/10.3390/biom13050799>