

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto del Selenio (Se) Aplicado de Forma Foliar en el Cultivo de Coliflor (*Brassica oleracea* var. *Botrytis*) para Obtener Biomasa en Forma de Esquilmos

Por:

**IRAN CITLALY LEON ANDRADE**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México  
Agosto, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto del Selenio (Se) Aplicado de Forma Foliar en el Cultivo de Coliflor (*Brassica oleracea* var. *Botrytis*) para Obtener Biomasa en Forma de Esquilmos

Por:

**IRAN CITLALY LEON ANDRADE**


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

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Gerardo Rodríguez Galindo  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México  
Agosto, 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.

Citlaly León

Iran Citlaly León Andrade

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	7
DEDICATORIA.....	8
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Objetivos.....	12
1.1.1 General.....	12
1.1.2 Específicos.....	12
1.2 Hipótesis.....	12
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
2.1 Origen e historia.....	12
2.2 Clasificación taxonómica.....	13
2.3 Fenología del cultivo.....	13
2.3.1.- Fase juvenil.....	13
2.3.2.- Fase de inducción floral.....	14
2.3.3.- Fase de formación de la pella.....	14
2.3.4.- Fase de floración.....	15
2.3.5.- Fase de polinización y fructificación.....	15
2.4 Variedades.....	15
2.4.1.- Variedades de ciclo corto.....	15
2.4.2.- Variedades de ciclo medio.....	16
2.4.3.- Variedades de ciclo largo.....	16
2.5 Descripción morfológica.....	16
2.5.1.- Sistema radicular.....	16
2.5.2.- Tallo.....	16
2.5.3.- Hojas.....	17
2.5.4.- Pella.....	17
2.6 Requerimientos del cultivo.....	17
2.6.1.- Clima.....	17
2.6.2.- Suelo.....	18

2.6.3.- Iluminación .....	18
2.6.4.- Humedad.....	18
2.6.5.- Salinidad .....	19
2.6.6.- Fertilización .....	19
III. MANEJO DEL CULTIVO.....	19
3.1 Manejo del cultivo .....	19
3.1.1.- Preparación del terreno .....	19
3.1.2.- Almacigo .....	19
3.1.3.- Trasplante .....	20
3.1.4. - Marco de plantación .....	20
3.1.5.- Control de malezas y aporques .....	20
3.1.6.- Riego.....	20
3.1.7.- Cosecha .....	20
3.2 Fitosanidad .....	21
3.2.1.- Plagas .....	21
3.2.2.- Enfermedades .....	22
3.3 Manejo de residuos de cosecha .....	23
IV. LOS RESIDUOS DE BRASSICAS COMO BIOFUMIGANTES .....	24
4.1 Biofumigación .....	24
4.2 Influencia del selenio como bioestimulante en el desarrollo y crecimiento vegetal.....	25
4.3 Modos de acción y aportes agronómicos de la biofumigación utilizando residuos de <i>Brassicas</i> .....	26
4.4 Efectos negativos del selenio en las plantas debido a aplicaciones excesivas o constantes .....	27
4.5 Selenio.....	28
V. MATERIALES Y METODOS.....	29
5.1 Lugar del experimento .....	29
5.2 Material vegetal y establecimiento del experimento.....	29
5.3 Tratamientos .....	30
5.4 Labores durante el ciclo del cultivo .....	30
5.5 Variables evaluadas.....	31

5.6	Variables bioquímicas .....	31
VI.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	33
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
7.1	Variables agronómicas.....	33
	Cuadro 1. Comportamiento de variables agronómicas del cultivo de coliflor durante la fase vegetativa bajo aplicaciones foliares de selenio (Se).....	35
7.2	Rendimiento.....	37
	Cuadro 3. Comportamiento en el rendimiento del cultivo de coliflor bajo aplicaciones foliares de selenio (Se).....	38
7.3	Peso de esquilmos (g) .....	39
	Cuadro 4. Comportamiento en el peso de los esquilmos del cultivo de coliflor bajo aplicaciones foliares de selenio (Se).....	40
7.4	Biocompuestos .....	42
	Cuadro 5. Comportamiento de los biocompuestos en el cultivo de coliflor bajo aplicaciones foliares de selenio (Se).....	43
VIII.	CONCLUSIÓN.....	45
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

## AGRADECIMIENTOS

A Dios

Agradezco a Dios por ser mi guía en este camino, por darme sabiduría, fortaleza y paz. Su amor y misericordia me sostuvieron en los momentos difíciles. Este logro es reflejo de su voluntad en mi vida. A Él toda la gloria y gratitud.

A mi alma máter, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro,

Por brindarme una formación integral, un espacio de crecimiento académico y personal, y por forjar en mí el compromiso con la ciencia y el campo. Su legado vive en cada paso de mi camino profesional.

A mis padres,

Sus sacrificios, sus palabras de aliento y su fe en mí fueron el motor que me impulsó a no rendirme. En cada logro mío hay una parte de ustedes, porque siempre creyeron en mí. Este logro también es suyo, porque sin su apoyo, nada de esto habría sido posible. ¡Los amo profundamente!.

A mi mejor amiga

Yaretzy López Ortiz gracias por acompañarme en esta etapa, por ser apoyo en los días difíciles y alegría en los momentos de descanso. Tu amistad sincera, tu escucha paciente y tu compañía constante hicieron de esta experiencia algo más llevadera y valiosa.

A mis asesores Dra. Carmen Alicia Ayala Contreras y Dr. Alberto Sandoval Rangel

Por su valiosa guía, paciencia y compromiso a lo largo de este proyecto. Su experiencia y dedicación fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Gracias por compartir sus conocimientos y por impulsarme a dar siempre lo mejor de mí.

## DEDICATORIA

Para mis queridos padres, Jesús León García y Olga Griselda Andrade León, no hay palabras que expresen la inmensa gratitud y amor que siento por ustedes. Gracias por ser mi refugio en las tormentas, por sostenerme cuando mis fuerzas flaqueaban y creer en mí cuando dudaba. Cada sacrificio, abrazo y palabra de aliento ha sido el cimiento que me permitió llegar hasta aquí. Ustedes son mi mayor bendición y la razón por la que nunca dejé de luchar. Este logro es tan suyo como mío, y con todo mi corazón les dedico cada paso que doy.

A mis hermanos Manuel de Jesús León Andrade y Ximena Guadalupe León Andrade, gracias por su amor y alegría. Les dedico con todo mi cariño, esperando siempre ser para ustedes un ejemplo de esfuerzo y perseverancia. Los amo profundamente y siempre estarán en mi corazón. Sigán soñando en grande, que juntos seguiremos creciendo y conquistando metas.

A mis abuelos Rufina León Soria + , Gabriel León Méndez y Hortensia García Palma. Su cariño y enseñanzas me han guiado siempre y me han inspirado a seguir adelante con fuerza y esperanza. Los llevo siempre en mi corazón gracias por ser mi inspiración y mi bendición eterna.

A una persona en especial que ha sido uno de mis mayores apoyos, mi compañero, mi novio: Marco Antonio Sanjuan Yescas. Te agradezco haber confiado en mí, y el haber soportado lágrimas, largas distancias y muchas otras cosas más. Te amo más de lo que las palabras pueden expresar y estoy infinitamente agradecida por quedarte a mi lado en este viaje y en todos los que están por venir.

## RESUMEN

La coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) es una hortaliza de alto valor nutricional, aunque su desarrollo puede verse limitado por diversos factores abióticos y de manejo. En este estudio se evaluó el efecto de la aplicación foliar de selenito de sodio en variables agronómicas y en la acumulación de compuestos bioactivos en residuos de cosecha de coliflor (esquilmos), con el propósito de aprovecharlos para la obtención de extractos vegetales funcionales. Se aplicaron tratamientos con 20, 30 y 40 ppm de selenio, además de un testigo absoluto. Los resultados mostraron que no hubo diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de las variables agronómicas evaluadas, como altura de planta, número de hojas y diámetro del tallo, indicando que las concentraciones aplicadas no favorecieron el crecimiento vegetativo. Sin embargo, el tratamiento con 30 ppm presentó el mayor peso de pella y mayor biomasa foliar acumulada en ambas etapas fenológicas, aunque sin una tendencia clara entre los tratamientos. En cuanto a biomasa de residuos (peso seco y fresco), los tratamientos con 20 y 40 ppm provocaron reducciones marcadas, reflejando un posible efecto estresante, evidenciado también por la disminución en los contenidos de clorofila y carotenoides. A pesar de ello, se observó un incremento en la acumulación de compuestos bioactivos como flavonoides, fenoles, glutatión y proteínas totales. El tratamiento con 30 ppm se destacó por inducir la mayor concentración de glutatión y flavonoides, mientras que la dosis de 20 ppm favoreció el aumento de proteínas totales. Estos hallazgos indican que, aunque la aplicación de selenito de sodio no promovió el rendimiento agronómico de la coliflor, sí estimuló rutas metabólicas antioxidantes en los esquilmos, lo que representa un valor añadido para su utilización en la producción de extractos vegetales con propiedades funcionales o nutraceuticas.

**Palabras clave:** bioestimulación, residuos vegetales, antioxidantes, rendimiento, producción.

## ABSTRACT

Cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) is a vegetable with high nutritional value, although its development can be limited by various abiotic and management factors. This study evaluated the effect of foliar application of sodium selenite on agronomic variables and the accumulation of bioactive compounds in cauliflower harvest residues (crop waste), with the aim of utilizing them to obtain functional plant extracts. Treatments with 20, 30, and 40 ppm of selenium were applied, as well as an untreated control. The results showed no statistically significant differences in most of the agronomic variables evaluated, such as plant height, number of leaves, and stem diameter, indicating that the applied concentrations did not favor vegetative growth. However, the 30 ppm treatment showed the highest curd weight and greatest accumulated foliar biomass at both phenological stages, although no clear trend was observed among the treatments. Regarding residue biomass (fresh and dry weight), the 20 and 40 ppm treatments caused marked reductions, reflecting a possible stress effect, also evidenced by decreased chlorophyll and carotenoid contents. Despite this, increased levels of bioactive compounds such as flavonoids, phenols, glutathione, and total proteins were observed. The 30 ppm treatment stood out for inducing the highest concentrations of glutathione and flavonoids, while the 20 ppm dose favored the accumulation of total proteins. These findings indicate that, although sodium selenite application did not improve the agronomic performance of cauliflower, it did stimulate antioxidant metabolic pathways in the residues, which represents added value for their use in the production of plant extracts with functional or nutraceutical properties.

**Keywords:** biostimulation, plant residues, antioxidants, yield, production.

## I. INTRODUCCIÓN

La coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) es una crucífera hortícola destacada por su inflorescencia comestible, rica en vitaminas C y K, fibra, minerales y compuestos bioactivos como glucosinolatos y fenoles, que se han relacionado con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas (Ingallina *et al.*, 2023; Saeedi *et al.*, 2021). Originaria del Mediterráneo, esta especie ha sido mejorada genéticamente para optimizar su rendimiento agronómico y perfil nutracéutico (Shrestha *et al.*, 2024; Marino *et al.*, 2018).

Su demanda ha crecido debido al creciente interés por alimentos funcionales y saludables, lo que ha llevado a un aumento sostenido en su producción en regiones templadas y subtropicales, incluyendo varias zonas agrícolas clave en México y América Latina (Shrestha *et al.*, 2024).

Sin embargo, durante el proceso de cosecha de coliflor, aproximadamente el 60 % de la biomasa generada corresponde a residuos o esquilmos principalmente hojas, tallos y pedúnculos que son descartados, a pesar de su alto contenido de fibra, proteínas, compuestos fenólicos y glucosinolatos (Collado-González *et al.*, 2025; Shinali *et al.*, 2023). Estos residuos vegetales poseen potencial no solo como materia prima para alimentación animal o compostaje, sino también como fuente de extractos bioactivos con propiedades fungicidas, antioxidantes y antimicrobianas, lo que permite su incorporación en estrategias de biofumigación, economía circular y producción sustentable (Domínguez-Perles *et al.*, 2010; Hashem *et al.*, 2021).

Recientemente, se ha explorado la biofortificación con selenio en coliflor. Aplicaciones foliares de selenito o selenato (5-15 mg L<sup>-1</sup>) han demostrado aumentar la síntesis de clorofila, fenoles, glutatión, glucosinolatos y el rendimiento de las inflorescencias, sin comprometer calidad postcosecha (Saeedi *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2022). De esta manera, se favorece la creación de alimentos funcionales con propiedades antioxidantes y nutracéuticas (Marino *et al.*, 2018; Saeedi *et al.*, 2021).

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 General**

Evaluar el efecto de la aplicación foliar de selenio en el desarrollo y rendimiento de coliflor y en la producción de esquilmos tras la cosecha.

### **1.1.2 Específicos**

- Evaluar el efecto las aplicaciones de selenio en las características agronómicas del cultivo de coliflor.
- Evaluar el efecto del selenio aplicado vía foliar sobre el rendimiento de coliflor.
- Estimar la cantidad de biomasa generada, como esquilmos, por unidad de superficie
- Caracterizar el perfil bioquímico de los esquilmos en forma de extractos vegetales.

## **1.2 Hipótesis**

La aplicación foliar de selenio en plantas de coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) mejora el desarrollo y rendimiento del cultivo, además de incrementar la concentración de compuestos bioactivos en los esquilmos.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Origen e historia**

Valdez (1993), señala que la coliflor es originaria del mediterráneo, Inglaterra, Dinamarca y Holanda.

El cultivo de crucíferas tiene origen en los años 2000 y 2005 a.C., se piensa que los egipcios lo utilizaban de manera medicinal. (Valadez, 1994)

Durante el siglo XVI, la coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) se expandió desde Italia hacia Francia, y en el año 1586 se introdujo en Inglaterra bajo el nombre de

*Cyprus coleworts*, como lo documentan registros históricos de comercio y cultivo (Texas A&M Agrilife Extension, s. f.). En el siglo XVII, su distribución se extendió por toda Europa, y a finales del siglo XVIII comenzó su cultivo en España. Posteriormente, durante el siglo XIX, esta hortaliza fue difundida a nivel mundial a través de las rutas comerciales de las potencias coloniales europeas (Sun *et al.*, 2019; World Food History, 2021).

Distintos estudios concluyen que los diferentes cultivos de *Brassica oleracea* que son cultivados actualmente fueron originados de forma natural o fueron mutaciones de plantas silvestres, las cuales siguen creciendo silvestremente en costas del Mediterráneo, costas marítimas de Gran Bretaña y el sudoeste de Europa. (Jorge E. 2006)

## 2.2 Clasificación taxonómica

Umeriadstatter (2000) coloca la coliflor dentro de la siguiente clasificación taxonómica:

Reino	Plantae
Clase	Magnolipsida
Subclase	Dilleniidae
Orden	Capparales
Familia	Brassicaceas
Género	Brassica
Especie	Brassica Oleracea L.
Variedad	Brassica Oleracea L. var. Botrytis.

## 2.3 Fenología del cultivo

### 2.3.1.- Fase juvenil

Esta etapa comienza con la germinación, produciendo solamente hojas y raíces. La fase juvenil en coliflores de verano dura de 5 a 8 semanas y produce 5-7 hojas; en variedades de otoño dura 5 a 8 semanas y produce 12-15 hojas; y en coliflor de

invierno, tiene un tiempo de duración de 10 a 15 semanas y produciendo de 20 a 30 hojas. (cajamar, 2017)

### **2.3.2.- Fase de inducción floral.**

Durante esta etapa, la planta desarrolla la habilidad para reproducirse y de formar cogollos con yemas hipertrofiadas debido a las bajas temperaturas. Aunque la planta sigue formando hojas y no experimenta cambios morfológicos específicos, pero internamente experimenta cambios fisiológicos que la capacitan para formar órganos reproductivos. (Portilla, 2002)

Las temperaturas necesarias para la vernalización varían según el tipo de cultivar. Para cultivares de invierno, el rango óptimo oscila entre 5 y 10 °C; en cultivares de otoño, entre 7 y 14 °C; y en cultivares de verano, superiores a 15 °C (Anderson & Smith, 2018; Li *et al.*, 2019). Además, la duración de la exposición a estas temperaturas también influye en la efectividad del proceso. Las variedades precoces pueden requerir solo dos semanas de temperaturas vernalizantes, mientras que las tardías pueden necesitar hasta cinco semanas (Kaur *et al.*, 2020).

Temperaturas constantes y bajas, sin variaciones diurnas significativas, favorecen una vernalización uniforme (Wang *et al.*, 2020). Durante esta etapa, la formación de hojas se detiene y el número de hojas desarrolladas está directamente relacionado con el tamaño final del cogollo, por lo que es crucial programar la siembra para asegurar una inducción floral óptima (Li *et al.*, 2019). Por otro lado, la exposición a temperaturas altas en esta fase puede provocar una reversión parcial del proceso, conocida como desvernalización (Zhang & Chen, 2017).

### **2.3.3.- Fase de formación de la pella**

El lapso de tiempo se limita a entre diez y quince días. En ellos, la yema terminal sufre una modificación morfológica significativa, lo que significa que dejan de producir hojas y comienzan a formar una pella embrionaria; temperaturas altas al comienzo de esta etapa pueden producir una anulación parcial en la inducción

floral, parando el crecimiento de la pella y dando lugar a brácteas, lo que afecta negativamente la parte comercializable. (Cotrina, F., 2020).

#### **2.3.4.- Fase de floración**

La pella disminuye su firmeza y compactación tornándose de un color amarillento, haciendo que pierda valor comercial, después produce un alargamiento y floración siempre y cuando no se produzcan podredumbres ocasionadas por lluvias frecuentes y/o demora de la cosecha, que comúnmente ocurre a finales del otoño y durante el invierno. (Olmo., 2005)

#### **2.3.5.- Fase de polinización y fructificación**

La polinización es predominantemente cruzada y entomófila, es decir, facilitada principalmente por insectos, como abejas y otros polinizadores (Rao & Shivanna, 2014). En este género, los estigmas maduran antes que los estambres (protoginia), lo que favorece la polinización cruzada al evitar la autopolinización (Nasrallah & Nasrallah, 2014).

La floración se caracteriza porque los estambres no liberan polen hasta que los estigmas han perdido receptividad, promoviendo aún más la cruzabilidad (Singh, 2006). Una vez que ocurre la fecundación, la planta produce semillas viables que no presentan dormancia significativa y están listas para germinar poco después de la cosecha, bajo condiciones adecuadas (ISTA, 2020; Baskin & Baskin, 2014).

### **2.4 Variedades**

En el caso de la coliflor, los diferentes grupos varietales se categorizan según la duración de su ciclo, es decir, el número de días que pasan desde el trasplante hasta el comienzo de la cosecha. (Cajamar, 2017)

#### **2.4.1.- Variedades de ciclo corto**

Tienen un ciclo de menos de 90 días y son aptas para trasplantes tempranos en los meses de junio y julio, desarrollando la pella rápidamente; sin embargo, son muy sensibles a las variaciones de temperatura, y si se exponen a más frío del necesario pueden producir la inflorescencia de manera prematura, lo que afecta el

rendimiento; entre las variedades de ciclo corto para cosechar en septiembre u octubre se encuentran: *Mont Blanc, Siria, Arfak, Casper, Aitana, Serrano, Firstman, Fremont y Nautilas*. (Olmo.,2005)

#### **2.4.2.- Variedades de ciclo medio**

Estas variedades destacan por ofrecer una excelente calidad, con pellas que pesan entre 1 y 1.5 kilos. La cosecha se realiza desde mediados de octubre hasta mediados de diciembre. Son aptas tanto para el consumo en fresco como para la producción de alimentos congelados y en conserva. Algunas de las variedades más destacadas incluyen *Avans, Erfurt, Winner, Suprimax, Durato, Dominant, Bola de Nieve, Navidad, Lecerf*, entre otras. (Cotrina, F., 2020)

#### **2.4.3.- Variedades de ciclo largo**

Este grupo de cultivares se caracteriza por completar su ciclo de desarrollo en un periodo de 130 a 180 días, mostrando una excelente adaptación al trasplante durante el mes de septiembre, especialmente en regiones con clima mediterráneo. Esta práctica permite realizar la cosecha entre mediados de enero y marzo, aprovechando condiciones climáticas favorables para su desarrollo. En este tipo de ciclo, destacan variedades comerciales ampliamente utilizadas por su rendimiento y calidad, como *Belot, Cendis, Triumphant, Daydream, Terminillo, Talvena* y *Sonata* (Rubatzky & Yamaguchi, 2012).

### **2.5 Descripción morfológica**

#### **2.5.1.- Sistema radicular**

Cuenta con un sistema radicular reducido, con raíz pivotante de aproximadamente 50 cm. de largo y con raíces secundarias pequeñas con muchos pelos radicales. (Lozada, 1997)

#### **2.5.2.- Tallo**

Es de forma cilíndrica, corto, carnoso aproximadamente de 10 cm, grueso y sin ramificaciones, al alcanzar su tamaño máximo empieza a desarrollar hojas. Finaliza en una estructura voluminosa (conocida como cabeza o pella) compuesta por yemas florales con un pedúnculo corto y carnoso, normalmente color blanco o crema, que están compactamente unidas entre sí y que en realidad representan

un órgano reproductor. Cuando la planta tiene entre 20 y 30 hojas, se forma la pella o cabeza, aunque la cantidad de hojas necesarias depende principalmente del tipo de cultivo y las condiciones agroecológicas. (Jorge E. 2006)

### **2.5.3.- Hojas**

Tienen forma elíptica y lobulada, con peciolo cortos de color verde oscuro, nervios bien definidos y recubiertas de cera, su función principal es proteger la pella de la luz solar evitando así la formación de clorofila. (Encarnación & Briceño, 2020).

### **2.5.4.- Pella**

La cabeza de la coliflor, conocida también como "cuajada" o "pella", está formada por un conjunto de capullos florales compactos que no han madurado por completo. Es densa, apretada, esférica, de color blanco, y puede alcanzar hasta 30 cm de diámetro, con un peso promedio que oscila entre 300 y 1,200 gramos. (Rojas & Cárcamo, 2017)

La morfología de la pella en coliflor es una característica clave para la descripción y clasificación de variedades. Las pellas esféricas presentan una forma redonda, con una base reducida y parte superior curvada; las pellas abombadas tienen una base más ancha y mayor relación diámetro-altura, lo que produce una cúspide más amplia. En contraste, las pellas cónicas se forman por la agrupación parcial de los brotes florales en forma de cono, dando como resultado una estructura más puntiaguda. Las formas aplanadas se reconocen por tener una parte superior tan ancha como la base, lo que da una apariencia más plana, mientras que las pellas huecas se caracterizan por su estructura interior abierta o ramificada (Boquet & Ruiz, 2000).

## **2.6 Requerimientos del cultivo**

### **2.6.1.- Clima**

La coliflor presenta una ligera sensibilidad al frío, tolerando temperaturas cercanas a 0 °C, lo que favorece su desarrollo durante climas frescos. Sin embargo, sufre estrés cuando las temperaturas superan los 26 °C, afectando la formación adecuada de la pella. El rango óptimo de temperatura para su crecimiento se sitúa

entre 15.5 °C y 21.5 °C. En zonas propensas a heladas, se recomienda el uso de variedades con buena cobertura foliar, que protejan la pella, además de anticipar la cosecha antes de que las hojas se abran y se exponga la parte comestible (Swiader & Ware, 2002).

#### **2.6.2.- Suelo**

El cultivo se desarrolla en territorios ubicados a una altitud que oscila entre los 1,860 y 2,900 metros sobre el nivel del mar (Patel & Joshi, 2016). Prefiere suelos con un pH entre 5.5 y 7.0, siendo el rango óptimo entre 6.2 y 6.5, ya que en estos valores el cultivo presenta una mejor disponibilidad de nutrientes. Cuando el pH del suelo supera los 7.5, pueden presentarse deficiencias nutricionales, especialmente de micronutrientes como hierro, manganeso y boro, afectando el desarrollo y la formación de la pella (Rathore *et al.*, 2015). Le favorecen suelos porosos de buen drenaje, y buena retención de humedad, con una buena fertilidad y aporte de nitrógeno, (Maroto, 1995) con una composición de 30 y 50% de arena, y de limo entre 25 y el 60%. (Condori, 2019)

#### **2.6.3.- Iluminación**

La coliflor necesita una exposición diaria al sol que oscila entre 4 y 8 horas, especialmente en días con cielos despejados. La falta de luz adecuada puede afectar negativamente la calidad del cultivo, limitando el desarrollo correcto de las pellas. Por otro lado, una exposición excesiva a la luz solar puede causar daños visibles en ellas. Por esta razón, se aconseja cubrir las pellas en variedades que no tienen una protección natural suficiente median te hojas (Jones & Reiners, 2013).

#### **2.6.4.- Humedad**

Durante la formación de la pella es necesaria una alta humedad, ya que si esta es insuficiente, no se desarrollan hojas lo suficientemente grandes para proteger las cabezas. Por otro lado, un exceso de humedad superior al 90% de la capacidad de campo detiene el crecimiento, lo que resulta en pellas pequeñas. (Condori, 2019)

### **2.6.5.- Salinidad**

La coliflor presenta una sensibilidad moderada a la salinidad del suelo, lo que implica que su rendimiento puede reducirse hasta en un 10 % cuando la conductividad eléctrica (CE) del suelo alcanza los 2.5 dS m<sup>-1</sup>, y la pérdida puede ser de **hasta un 50 %** si la CE se eleva a valores cercanos a 7 dS m<sup>-1</sup> (Maas & Hoffman, 1977).

### **2.6.6.- Fertilización**

El nitrógeno se suministra al cultivo en dos o tres aplicaciones, acumulando una dosis total que varía entre 150 y 200 kg/a. En tanto, el fósforo y el potasio se aplican principalmente durante la etapa de establecimiento, con cantidades aproximadas de 90 y 100 kg/ha, respectivamente (Singh & Kumar, 2014).

## **III. MANEJO DEL CULTIVO**

### **3.1 Manejo del cultivo**

#### **3.1.1.- Preparación del terreno**

El proceso consiste en nivelar el terreno principalmente en áreas donde se utiliza riego por inundación o surcos, evitando desniveles que puedan causar encharcamientos y asegurar un riego uniforme; luego se realiza una labor profunda o subsolado, acompañado de la distribución de estiércol y fertilización para favorecer el crecimiento de las raíces del cultivo; posteriormente se desmenuza el suelo con una pasada de rastra; es recomendada la aplicación de un herbicida de preemergencia para malezas. (InfoAgro, 2024)

#### **3.1.2.- Almacigo**

La coliflor se propaga inicialmente en semilleros, donde las plántulas permanecen por un período de tres a cuatro semanas. Una vez que desarrollan al menos cuatro hojas verdaderas, están listas para ser trasplantadas al terreno definitivo (López & Rivera, 2011).

### **3.1.3.- Trasplante**

El trasplante se efectúa entre 45 y 50 días después de la siembra de los almácigos, cuando las plántulas alcanzan una altura aproximada de 15 a 20 cm; es recomendable llevar a cabo el trasplante en momentos de baja exposición solar y con el suelo húmedo. (Delgado, 2021)

### **3.1.4. - Marco de plantación**

La separación habitual entre las plantas es de 30 a 45 cm, generalmente en una sola hilera sobre camas de 1.10 m de ancho; también pueden ser plantadas en hileras a tres bolillo en camas de 1 a 1.10 m; con estas distancias, la densidad de plantas por hectárea varía entre 30,000 y 55,000. (Zamora, 2016)

### **3.1.5.- Control de malezas y aporques**

En las primeras fases del cultivo, es fundamental realizar deshierbe para evitar que las malas hierbas compitan por luz, agua y nutrientes; utilizando herramientas manuales de labranza, pequeños dispositivos mecánicos o cultivadoras especializadas; al mismo tiempo, entre los 40 y 60 días, se efectúa un aporque para asegurar una mejor fijación de las plantas al suelo y prevenir encharcamientos en terrenos con baja permeabilidad, especialmente ante lluvias prolongadas; el aporque consiste en acumular tierra alrededor de las plantas, ya sea manualmente o con maquinaria. (Buñay, 2010)

### **3.1.6.- Riego**

Durante las fases de crecimiento, inducción floral y formación de la pella el riego debe ser abundante y constante; sin embargo es importante evitar un exceso de humedad en el suelo, manteniéndolo en un estado de capacidad de campo adecuado. (Mayberry., 2005)

### **3.1.7.- Cosecha**

Las coliflores se seleccionan según el tamaño y la compactación de la cabeza o inflorescencia. Las cabezas maduras miden al menos 15 cm (6 pulgadas) de diámetro. Si las partes florales son sobresalientes o están sueltas, dando una textura granulosa, indican que la coliflor ha pasado su punto óptimo de maduración. (Leñado., 1973)

## 3.2 Fitosanidad

### 3.2.1.- Plagas

Nombre común	Nombre científico	Daños
Gusano falso medidor	<i>Trichoplusia ni</i>	Destruye completamente la hoja, dejando grandes agujeros. (InfoAgro, 2022)
Gusano soldado	<i>Spodoptera exigua</i>	Consumen el follaje, inflorescencias y frutos. (SENASICA, 2020)
Oruga de la col	<i>Pieris brassicae</i>	Se alimentan devorando las hojas del cultivo con gran voracidad. (Morató., 2000)
Polilla de las coles	<i>Plutella xylostella</i>	El daño lo producen las larvas, se encuentran principalmente en las hojas, consumiendo el tejido entre las nervaduras; en caso de plantas pequeñas, tienden a concentrarse en las yemas apicales, destruyéndolas, lo que puede afectar el desarrollo de la cabeza. (Curis, 2019)
Gusano barrenador del repollo	<i>Hellula undalis</i>	Las larvas de se alimentan del envés de las hojas, causando pequeñas perforaciones. A medida que crecen, tienen la capacidad de invadir brotes, tallos y hojas, alimentándose incluso de los puntos de crecimiento de la planta, lo que puede provocar daños severos en etapas jóvenes del cultivo, incluyendo la deformación o muerte del ápice (CABI, 2022).
Polilla de la col	<i>Mamestra brassicae</i>	Consumen las hojas y excavan túneles dentro de la pella. (Plantix, 2024)
		Afecta las hojas más jóvenes y en casos

Pulgón de las coles	<i>Brevicoryne brassicae</i>	de infestaciones severas, puede llegar a causar la muerte de las plantas; las secreciones de melaza del pulgón pueden reducir la calidad del producto al favorecer la aparición del hongo saprófito "negrilla" sobre las pellas blancas. (Cartea, 2002).
Mosca blanca	<i>Aleurodes brassicae</i> L	En el envés de las hojas se observan pequeñas "mosquitas" blancas, mientras que en el haz de las hojas se desarrolla una clorosis, con el tiempo la planta se cubre de una melaza que favorece la aparición de colonias de hongos que forman una capa negra conocida como "negrilla", inutilizando los cogollos para su comercialización. (PHYTOMA, 2022)

### 3.2.2.- Enfermedades

Nombre común	Nombre científico	Daños
Mildíu	<i>Peronospora parasitica</i>	En plantas jóvenes se observa una pulverulencia blanca en hojas que con el tiempo provoca su desecación y eventual muerte, en la coliflor, surgen decoloraciones y estrías en las inflorescencias. (PHYTOMA, 2021)
Podredumbre gris	<i>Botrytis cinerea</i>	Conocidas comúnmente como moho gris, suelen comenzar con tizones en inflorescencias y pudrición de frutos, además de causar podredumbre del tallo, marchitez en plántulas, manchas foliares

		y deterioro de raíces (Rupp <i>et al.</i> , 2017).
Alternaria	<i>Alternaria brassicicola</i>	Se caracteriza por la presencia de manchas circulares de 1 a 2 cm de diámetro. La enfermedad se propaga a través de las semillas. (Cotrina., 2020)
Mancha anular	<i>Mycosphaerella brassicicola</i>	Al principio, aparecen pequeñas manchas oscuras con un borde amarillo en la superficie de las hojas. Estas manchas pueden unirse, provocando que las hojas adquieran un tono amarillento, y en casos de infestación severa, pueden llevar a una caída prematura de las hojas. (Plantix, 2024)
Pudrición de la raíz	<i>Rhizoctonia solani</i>	En las plántulas provoca la muerte antes o después de la germinación, y en las plantas maduras ocasiona la pudrición de la raíz. (SENASICA, 2020)
Pudrición negra	<i>Xanthomonas campestris pv. campestris</i>	Causa el marchitamiento y la muerte de las plantas afectadas. (Morató., 2000)

### 3.3 Manejo de residuos de cosecha

El manejo convencional de estos residuos por parte del agricultor consiste en incorporarlos al suelo sin tratamiento previo, durante la preparación para nuevas siembras. Este proceso mejora la capacidad del suelo para retener agua, el drenaje, la aireación, y estimula la actividad de la microflora del suelo. Además, contribuye a la formación de sustancias protectoras, antibióticos, auxinas y otros compuestos biológicos que fortalecen las defensas de las plantas contra plagas y enfermedades, al mismo tiempo que optimiza la absorción de nutrientes minerales. (Jorge E. 2006)

El aprovechamiento de los residuos generados durante la cosecha de coliflor, como hojas, tallos y partes no comercializables de la inflorescencia, representa una alternativa sostenible para reducir pérdidas agrícolas y obtener productos de valor añadido. Estos residuos son ricos en compuestos bioactivos, entre ellos glucosinolatos, flavonoides, antioxidantes y fibra dietética (Kaur *et al.*, 2020).

Numerosos estudios han demostrado que los subproductos de la coliflor pueden emplearse para la obtención de extractos funcionales, biofertilizantes, alimentos para animales e incluso en la elaboración de bioplásticos y la generación de bioenergía (Shinali *et al.*, 2024).

## **IV. LOS RESIDUOS DE BRASSICAS COMO BIOFUMIGANTES**

### **4.1 Biofumigación**

La biofumigación aprovecha los gases y otros compuestos generados durante la descomposición de enmiendas orgánicas y residuos agroindustriales como fumigantes para controlar patógenos de las plantas. Además de combatir estos organismos, ayuda a mitigar los graves problemas ambientales que estos residuos podrían causar. (Bello, *et al.*, 2000)

Una gran variedad de residuos orgánicos pueden emplearse para la biofumigación, incluyendo diferentes tipos de estiércol y desechos de cultivos como el boniato, papa, sorgo, brassicas, maíz, entre otros. (Lorenzo, 2014)

La biofumigación involucra la liberación de compuestos biocidas volátiles en el suelo a través de la incorporación de ciertas plantas y sus residuos, siendo las especies de la familia Brassicaceae las más utilizadas para este fin, ya que contienen glucosinolatos que, tras la hidrólisis enzimática, generan compuestos como los isotiocianatos, los cuales han demostrado tener efectos fungicidas, y además de liberar estos compuestos en el suelo, se utilizan mecanismos

complementarios que incluyen el aporte de materia orgánica y nutrientes, así como la mejora de la estructura del suelo. (Carlos, *et al.*, 2020)

#### **4.2 Influencia del selenio como bioestimulante en el desarrollo y crecimiento vegetal.**

El selenio (Se) es un micronutriente esencial para humanos y animales, aunque no se considera vital para las plantas. No obstante, múltiples investigaciones han evidenciado que, en concentraciones reducidas, puede funcionar como un bioestimulante, favoreciendo el crecimiento, el desarrollo y la tolerancia al estrés en diferentes especies vegetales (Hawrylak-Nowak *et al.*, 2015).

La aplicación de selenio como agente bioestimulante, particularmente mediante tratamientos foliares, se ha vinculado con mejoras en la actividad fotosintética, el desarrollo del sistema radicular, una mayor eficiencia en el uso del agua y un incremento en la producción de biomasa. Estos efectos positivos se atribuyen a la capacidad del selenio para participar en el metabolismo de compuestos antioxidantes, lo que contribuye a la protección de las células vegetales frente al daño oxidativo provocado por el estrés abiótico (Djanaguiraman *et al.*, 2010; Hasanuzzaman *et al.*, 2011).

Asimismo, la incorporación de selenio en los cultivos puede inducir la producción de metabolitos secundarios, tales como fenoles, flavonoides y glucosinolatos, los cuales están relacionados con los mecanismos de defensa de las plantas y presentan beneficios funcionales para la salud humana. Este efecto se ha observado con especial claridad en especies del género *Brassica*, como el brócoli, la coliflor y el repollo, donde el selenio ha demostrado ser efectivo para mejorar tanto el valor nutricional como el rendimiento del cultivo. (Malagoli *et al.*, 2007).

### **4.3 Modos de acción y aportes agronómicos de la biofumigación utilizando residuos de *Brassicas*.**

Cuando se incorporan al suelo tejidos frescos o en descomposición de Brassicas los glucosinolatos presentes se descomponen, en presencia de la enzima mirosinasa, generando compuestos volátiles como los isotiocianatos, estos tienen propiedades biocidas comparables a las de los fumigantes químicos convencionales capaces de inhibir una amplia variedad de patógenos, nematodos y malezas. (Morra *et al.*, 2002; Matthiessen *et al.*, 2006).

Los hongos fitopatógenos, como *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Fusarium oxysporum*, *Pythium* spp. y *Verticillium dahliae*, se encuentran entre las más investigadas en el contexto del control mediante biofumigación con residuos de *Brassica*. Los isotiocianatos generados por la descomposición de los residuos de *Brassica* actúan reduciendo la viabilidad de esporas y micelios, limitando así la capacidad infectiva de estos organismos. Además, esta práctica puede inducir cambios en la microbiota del suelo que favorecen la competencia microbiana y promueven la supresión biológica de enfermedades. (Lazzeri, *et al.*, 2004; Gimsing *et al.*, 2009).

En el caso de los nematodos fitoparásitos, la biofumigación ha demostrado ser altamente efectiva para disminuir las poblaciones de *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp. y *Heterodera* spp. Los compuestos derivados de la descomposición de glucosinolatos pueden afectar la integridad de la cutícula y las estructuras internas de estos organismos, lo que conlleva a su inmovilización o muerte (Lord *et al.*, 2011; Zasada *et al.*, 2004).

En caso del control de ciertos insectos del suelo, como larvas de *Diabrotica* spp., *Delia radicum* y larvas de escarabajos también han demostrado efectos beneficiosos. Aunque el mecanismo de acción no está completamente dilucidado en insectos, se cree que los compuestos volátiles pueden interferir en sus ciclos de vida o actuar como repelentes naturales. Este tipo de control es complementario y puede

integrarse con otras prácticas de manejo integrado de plagas. (Mattner *et al.*, 2008; Furlan *et al.*, 2010).

#### **4.4 Efectos negativos del selenio en las plantas debido a aplicaciones excesivas o constantes**

Aunque el selenio puede desempeñar un rol bioestimulante al aplicarse en bajas concentraciones, su acumulación excesiva en el cultivo puede provocar fitotoxicidad. El margen entre una dosis benéfica y una perjudicial es muy reducido, por lo que aplicaciones continuas o concentraciones elevadas pueden afectar negativamente funciones fisiológicas esenciales (Gupta *et al.*, 2017). En coliflor, se ha demostrado que aplicaciones foliares con una concentración de selenato sódico entre 10 y 15 mg L<sup>-1</sup> son beneficiosas, mejorando pigmentación y acumulación de glucosinolatos y antioxidantes. Sin embargo, concentraciones de 20 mg L<sup>-1</sup> o más pueden iniciar síntomas de fitotoxicidad, como disminución en el crecimiento vegetativo (Khan, *et al.*, 2020). Estudios realizados en especies de *Lactuca sativa* y *Triticum aestivum* reportaron que niveles altos de selenio provocan clorosis, necrosis foliar, disminución del crecimiento y pérdida de biomasa (Gupta *et al.*, 2017).

Así mismo puede afectar la absorción de nutrientes esenciales como azufre (S), fósforo (P), hierro (Fe) y zinc (Zn), al competir por los mismos transportadores o modificar el equilibrio iónico en la zona radicular, ocasionando deficiencias nutricionales secundarias, especialmente en suelos con bajo contenido de micronutrientes. Investigaciones en *Brassica juncea* han evidenciado que una alta acumulación de selenio limita la absorción de azufre, lo que conlleva una reducción en la producción de aminoácidos azufrados clave, como la cisteína y la metionina (Sors *et al.*, 2005).

A nivel celular, el selenio en exceso puede inducir la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), como el peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y el ion

superóxido ( $O_2^-$ ), lo que desencadena estrés oxidativo. Este estrés afecta la integridad de membranas, proteínas y ácidos nucleicos, generando daño celular irreversible (Hernández *et al.*, 2010).

Además, el exceso de selenio puede afectar negativamente la fotosíntesis al reducir la concentración de clorofila y alterar la actividad de enzimas clave como la Rubisco. Esto se traduce en una menor tasa fotosintética neta, pérdida de eficiencia en el uso del agua y reducción del crecimiento total de la planta. (Feng *et al.*, 2013).

El uso excesivo de este elemento en cultivos puede provocar que se transmitan cantidades tóxicas a los seres humanos o animales que los consumen. Por ello, es esencial llevar a cabo un control riguroso de las dosis empleadas en procesos de biofortificación, particularmente en especies con alta capacidad de acumulación como *Allium sativum* y *Brassica oleracea*, cuyas partes comestibles pueden concentrar elevadas cantidades de selenio (Rayman, 2012).

#### 4.5 Selenio

El selenio (Se) es un elemento químico no metálico, clasificado en el grupo 16 de la tabla periódica, también conocido como el grupo de los calcógenos, junto con el oxígeno, azufre, telurio y polonio. Tiene el número atómico 34 y un peso atómico de aproximadamente 78.96. Fue descubierto en 1817 por el químico sueco Jöns Jakob Berzelius, quien inicialmente lo confundió con telurio debido a su similitud química. Posteriormente, lo identificó como un nuevo elemento, al que denominó "selenio", en referencia a la diosa griega de la Luna, Selene (Weeks, 1932).

Las plantas absorben selenio principalmente como selenato ( $SeO_4^{2-}$ ) y selenito ( $SeO_3^{2-}$ ). El selenato, al ser más móvil en el suelo, presenta un comportamiento similar al del sulfato ( $SO_4^{2-}$ ), lo que permite su ingreso a través de los mismos transportadores de sulfato ubicados en la membrana de las raíces. En cambio, el selenito es menos móvil, se adhiere a partículas del suelo y su absorción ocurre

por mecanismos aún poco conocidos, posiblemente por difusión pasiva o canales específicos bajo condiciones reductoras (White *et al.*, 2004).

Tras su absorción, el selenato se transporta con rapidez hacia las hojas mediante el xilema, donde puede transformarse en selenito, seleniuro o integrarse en aminoácidos como la selenocisteína y la selenometionina, reemplazando parcialmente al azufre. Estas formas orgánicas de selenio pueden acumularse en los tejidos de la planta o intervenir en mecanismos antioxidantes, contribuyendo a la protección celular frente al estrés oxidativo (El-Ramady *et al.*, 2015).

La disponibilidad de selenio en las plantas está influida por factores del suelo como el pH, la materia orgánica, el tipo de suelo y las condiciones redox. El selenato, más disponible, predomina en suelos bien oxigenados y alcalinos, mientras que en suelos ácidos o anegados se forma selenito o seleniuro, menos accesibles por su fijación al suelo. Además, su absorción se ve afectada por la presencia de otros nutrientes: el azufre compite con el selenato en la absorción radicular, mientras que el fósforo puede aumentar la solubilidad del selenio, mejorando su disponibilidad (Broadley *et al.*, 2006).

## **V. MATERIALES Y METODOS**

### **5.1 Lugar del experimento**

El estudio se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, dentro del área experimental del Departamento de Horticultura, en las coordenadas 25°21'21.2"N y 101°02'12.7"W, a una altitud de 1764 metros sobre el nivel del mar. El ciclo de cultivo se desarrolló entre octubre de 2023 y mayo de 2024.

### **5.2 Material vegetal y establecimiento del experimento**

En este experimento se utilizó plántula de coliflor del híbrido David®, estas fueron sembradas el 22 de octubre del 2023, en charolas de poliestireno con 200

cavidades utilizando como sustrato Peatmoss al 100%. El trasplante se realizó el 18 de diciembre del 2023 en tres bolillo a 30 cm entre plantas, con surcos de 40 m de largo y 1.4 m entre sucos, con una densidad poblacional de 6 plantas/m<sup>2</sup>.

### **5.3 Tratamientos**

Los tratamientos (T) consistieron en aplicar de forma foliar diferentes concentraciones de selenito de sodio (Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>).

T1: Sin aplicación.

T2: Aplicación de 20 ppm.

T3: Aplicación de 30 ppm.

T4: Aplicación de 40 ppm.

Se utilizaron bloques completos al azar contando con 5 bloques y 16 plantas por unidad experimental.

Los tratamientos fueron aplicados por vía foliar utilizando un atomizador manual. Se realizaron un total de cuatro aplicaciones durante el ciclo del cultivo, con una frecuencia de 30 días, comenzando un mes después del trasplante al campo. Para dichas aplicaciones, se preparó inicialmente una solución madre de selenito de sodio a una concentración de 400 ppm, a partir de la cual se diluyeron las soluciones requeridas para cada tratamiento.

### **5.4 Labores durante el ciclo del cultivo**

A lo largo del ciclo del cultivo se realizó un manejo agronómico completo, con riegos cada 48 horas durante tres horas y una fertilización basada en una solución nutritiva Steiner modificada, aplicada al 75 % en la etapa vegetativa y al 100 % en floración. El control de malezas se hizo manualmente, y el manejo de plagas y enfermedades incluyó aplicaciones puntuales de plaguicidas como METAMIDOFOS 600 y Metomilo 90% PS, siguiendo las dosis recomendadas.

## 5.5 Variables evaluadas

Las variables de crecimiento se evaluaron a los 61 y 100 días después del trasplante (DDT), mientras que el rendimiento, expresado en kilogramos por planta, se determinó al final del ciclo productivo, durante la cosecha que inició el 25 de marzo, 95 días DDT y se prolongó por aproximadamente 15 días, recolectando los frutos al alcanzar su madurez total.

- A) Diámetro del tallo: Fue utilizado un calibrador Vernier pie de rey digital -, 0-150 mm. Se tomó la medida en la sección central del tallo.
- B) Área foliar: Se seleccionaron 3 hojas al azar de plantas diferentes en cada tratamiento, determinando el área foliar con la aplicación Petiole LTD 5.0.
- C) Peso fresco y peso seco de la materia: Se utilizó una balanza analítica marca Ohaus (precisión 0.01g) y se determinó el peso en gramos (g).
- D) Altura de la planta: Fue obtenida con un flexómetro.
- E) Numero de hojas: Se contaban todas las hojas de la planta.
- F) Diámetro polar y diámetro ecuatorial de fruto: Con un vernier pie de rey digital -, 0-150 mm.; se tomó la medida del fruto de forma vertical y horizontal, registrando las medidas en milímetros (mm).
- G) Peso del fruto: Se usó una balanza analítica marca Ohaus (precisión 0.01g) y se obtuvo el peso en gramos (g).
- H) Biomasa de esquilmos: se pesó la materia fresca en una balanza y luego se procedió a secar para pesar la materia seca, para obtener peso de esquilmos por planta.

## 5.6 Variables bioquímicas

Se eligieron hojas de los esquilmos para analizar variables bioquímicas. Las muestras fueron conservadas en un ultracongelador Thermo Scientific-40086FA y posteriormente liofilizadas durante 8 días en un equipo Labconco FreeZone. Luego del secado, se maceraron en un mortero cerámico y se almacenaron en bolsas plásticas para la cuantificación.

- A) Clorofila: Se determinó siguiendo el método de Wellburn (1994). Para ello, se colocaron 30 mg de muestra en un tubo de ensayo con 2.5 mL de metanol puro y se incubó en oscuridad a temperatura ambiente durante 24 horas. Posteriormente, se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-Vis (Genesis 10s, Thermo Scientific) a 666, 653 y 470 nm. Los resultados se expresaron en miligramos por gramo de peso seco ( $\text{mg g}^{-1}$  PS).
- B) Fenoles: Se determinó mediante una versión modificada del método de Folin-Ciocalteu. Se mezcló 2 mg de muestra con agua destilada y 300  $\mu\text{L}$  de reactivo Folin a 0.2 N, seguido de la adición de 300  $\mu\text{L}$  de hidróxido de sodio a 0.35 M. La mezcla se incubó durante 5 minutos en oscuridad a temperatura ambiente. La absorbancia se midió a 760 nm usando un espectrofotómetro UV-Vis (Genesis 10s, Thermo Scientific). Los resultados se expresaron en partes por millón de peso seco (ppm PS).
- C) Glutación: Se realizó siguiendo la metodología de Xue *et al.* (2001), utilizando DTNB (ácido 5,5'-ditiobis(2-nitrobenzoico)) como reactivo colorimétrico. La reacción se preparó con 0.48 mL de muestra, 2.2 mL de fosfato de disódico y 0.33 mL de DTNB a 1 mM. Tras un reposo de 15 minutos, se midió la absorbancia a 412 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Genesis 10s, Thermo Scientific). Los resultados se expresaron en partes por millón de peso seco (ppm PS).
- D) Proteínas Totales: La concentración de proteínas se determinó mediante el método espectrofotométrico de Bradford (1976). Se mezclaron 1 mL del reactivo Bradford con 0.1 mL de muestra, se dejó reposar durante 5 minutos y luego se midió la absorbancia a 595 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Vis (Genesis 10s, Thermo Scientific). Los resultados se expresaron en partes por millón de peso seco (ppm PS).
- E) Flavonoides: se realizó siguiendo el método de Zhishen *et al.* (1999). Se extrajeron 100 mg de muestra con 2 mL de metanol al 80% mediante agitación en vórtex, seguida de una zonificación de 5 minutos y centrifugación a 4,000 rpm por 10 minutos a 4 °C. Para la cuantificación, la muestra se mezcló con 75  $\mu\text{L}$  de  $\text{NaNO}_2$  al 5% y se dejó reposar 5 minutos; luego se añadieron 1.5 mL

de  $\text{AlCl}_3$  al 10%, 2 mL de agua destilada y 0.5 mL de NaOH 1 M. La absorbancia se midió a 510 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Genesis 10s, Thermo Scientific), y los resultados se expresaron en partes por millón de equivalentes de catequina en peso seco (ppm EC PS).

- F) Compuestos antioxidantes: se evaluó siguiendo el método de Re *et al.* (1999), basado en la decoloración del catión radical ABTS. Para el radical, se mezclaron soluciones de ABTS a 7 mM y persulfato de potasio a 2.45 mM en proporción 1:1 (v/v), incubándose en oscuridad durante 16 horas hasta alcanzar una absorbancia de 0.7 a 754 nm. Luego, se colocaron 0.980 mL de esta solución con 20  $\mu\text{L}$  de muestra en tubos de 2 mL, agitando y dejando en reposo en oscuridad durante 7 minutos. La absorbancia se midió a 754 nm con un espectrofotómetro UV-Vis (Genesis 10s, Thermo Scientific), y los resultados se expresaron en partes por millón de equivalentes de ácido ascórbico en peso seco (ppm EAA PS).

## VI. DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento se llevó a cabo bajo un diseño de bloques completos al azar, con cinco repeticiones por tratamiento, utilizando unidades experimentales conformadas por 16 plantas. Se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, y tras su cumplimiento, se aplicó un análisis de varianza seguido de la prueba de comparación de medias LSD de Fisher ( $p \leq 0.05$ ). Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el software Infostat versión 2018.

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Variables agronómicas

En los Cuadros 1 y 2 se presentan las variables agronómicas evaluadas en el cultivo de coliflor, bajo distintos tratamientos con selenio (Se) aplicados en dos etapas del ciclo del cultivo: la fase vegetativa y la fase reproductiva. Durante la

etapa vegetativa se observaron efectos estadísticamente significativos en variables como área foliar, peso fresco y peso seco de hoja, mientras que en altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas, no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

En la variable área foliar en etapa vegetativa (Figura 1) se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos, el tratamiento T3 presentó el valor más alto, con un incremento del 8.1 % respecto al testigo. Por el contrario, T2 y T4 mostraron reducciones del 8.3 % y 20.7 %, respectivamente. En la variable de peso fresco de la hoja, se observó que los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas significativas. El T1 presentó el valor más alto. En comparación con este, se registró una disminución del 19.7 % en el T2, una reducción del 9.6 % en el T3 y una disminución del 21.9 % en el T4. En la variable de peso seco de la hoja, se observó que los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas significativas, El testigo (T1) fue quien presentó el mayor valor, se obtuvo una disminución del 18.1 %, 4.5 %, 18.9 % en T2, T3 Y T4 respectivamente. En la variable de altura de planta, se observó que los tratamientos con 20, 30 y 40 mg L<sup>-1</sup> de selenio (T2, T3 y T4) no presentaron diferencias estadísticas significativas con respecto al testigo (T1). Se obtuvo una disminución del 1.7 % en el T2, un ligero incremento del 0.9 % en el T3 y una reducción del 2.8 % en el T4, en comparación con el testigo. En la variable de diámetro del tallo, los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas significativas respecto al testigo (T1). No obstante, se registraron incrementos del 1.7 % y 4.9 % en T2 y T3, respectivamente, lo que sugiere una ligera respuesta positiva al incremento de la dosis de selenio. En contraste, el tratamiento T4 mostró una disminución del 21.8 %, sin representar una diferencia estadísticamente significativa. Para el número de hojas, de igual manera que las variables anteriores no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. El tratamiento con 40 mg L<sup>-1</sup> de Selenio (T4) presentó el mayor valor en número de hojas, con un aumento del 5.6% respecto al testigo, aunque sin diferencias estadísticamente marcadas. Asimismo, T2 mostró un incremento del 1.8%, mientras que T3 no presentó variación (0.0%) en comparación con el testigo.

**Cuadro 1.** Comportamiento de variables agronómicas del cultivo de coliflor durante la fase vegetativa bajo aplicaciones foliares de selenio (Se).

Tratamiento	Área foliar (m <sup>2</sup> )	Altura de la planta (cm)	Numero de hojas
0 ppm	155.33 ±11.78 <sup>ab</sup>	33.27 ±9.55 <sup>a</sup>	7.07 ±0.43 <sup>a</sup>
20 ppm	142.42 ±12.46 <sup>bc</sup>	32.7 ±9.40 <sup>a</sup>	7.2 ±0.69 <sup>a</sup>
30 ppm	167.92 ±9.58 <sup>a</sup>	33.57 ±8.46 <sup>a</sup>	7.07 ±0.60 <sup>a</sup>
40 ppm	123.22 ±8.95 <sup>c</sup>	32.33 ±8.22 <sup>a</sup>	7.47 ±0.51 <sup>a</sup>
CV	8.34	6.7	8.99
Tratamiento	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Diámetro del tallo (mm)
0 ppm	20.68 ±4.93 <sup>a</sup>	2.65 ±0.57 <sup>a</sup>	38.63 ±2.20 <sup>a</sup>
20 ppm	16.6 ±4.01 <sup>a</sup>	2.17 ±0.44 <sup>a</sup>	39.3 ±1.36 <sup>a</sup>
30 ppm	18.7 ±8.30 <sup>a</sup>	2.53 ±1.09 <sup>a</sup>	40.53 ±3.62 <sup>a</sup>
40 ppm	16.15 ±5.11 <sup>a</sup>	2.15 ±0.75 <sup>a</sup>	30.21 ±1.31 <sup>a</sup>
CV	23.26	27.46	6.21

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

En las variables de altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos con selenio. Este comportamiento sugiere que la aplicación foliar de selenio en las concentraciones evaluadas no ejerció un efecto contundente sobre la elongación del tallo o el crecimiento vertical de la planta.

La altura de planta, el diámetro del tallo y el número de hojas no son variables altamente sensibles a la bioestimulación con Se, particularmente cuando se aplica en forma foliar y en dosis moderadas. A diferencia de otras variables fisiológicas como el área foliar o la acumulación de biomasa, la altura de planta y el número de hojas están más influenciadas por factores genéticos, la disponibilidad de agua, la luz y reguladores endógenos como las giberelinas, que controlan la elongación celular (Raven, Evert & Eichhorn, 2005).

En tanto, en la etapa reproductiva (Cuadro 2), el área foliar el T1 (testigo) presentó el valor más alto. Aunque se observaron disminuciones progresivas en los T2, T3 y T4 del 6.8 %, 18.0 % y 19.9 %, respectivamente, en comparación con el testigo, únicamente el T4 mostró una diferencia estadísticamente significativa respecto al T1, con una reducción del 19.9 %. Para el peso seco y peso fresco de hoja se observaron comportamientos distintos a los registrados en la etapa vegetativa. En el caso del peso fresco, los tratamientos con 40 y 30 mg L<sup>-1</sup> de selenio (T4 y T3) fueron superiores al testigo, con incrementos del 27.7 % y 22.7 %, respectivamente, mientras que el tratamiento con 20 mg L<sup>-1</sup> (T2) presentó una disminución del 4.8 %. En cuanto al peso seco, no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos; sin embargo, T4 y T3 mostraron ligeros aumentos del 4.6 % y 1.8 %, respectivamente, mientras que T2 registró una reducción del 4.7 % en comparación con el testigo. En el número de hojas los tratamientos tampoco mostraron diferencias estadísticas significativas con respecto al testigo. T2 y T3 presentaron una disminución de 4.3% cada uno, mientras que T4 mostró una reducción de 2.9%, en comparación con el testigo.

**Cuadro 2.** Comportamiento de variables agronómicas del cultivo de coliflor durante la fase reproductiva bajo aplicaciones foliares de selenio (Se).

Tratamiento	Área foliar (m <sup>2</sup> )	Numero de hojas	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
0 ppm	705.79 ±57.03 <sup>a</sup>	9.20 ±0.84 <sup>a</sup>	90.51 ±20.54 <sup>bc</sup>	18.20 ±2.16 <sup>a</sup>
20 ppm	657.56 ±47.01 <sup>ab</sup>	8.80 ±0.45 <sup>a</sup>	86.13 ±10.34 <sup>c</sup>	17.34 ±3.23 <sup>a</sup>
30 ppm	578.58 ±58.30 <sup>bc</sup>	8.80 ±1.30 <sup>a</sup>	111.06 ±15.72 <sup>ab</sup>	18.53 ±1.55 <sup>a</sup>
40 ppm	565.48 ±46.80 <sup>c</sup>	8.93 ±1.09 <sup>a</sup>	115.57 ±15.54 <sup>a</sup>	19.03 ±1.83 <sup>a</sup>
CV	10.36	7.7	15.82	12.49

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

Durante la etapa reproductiva se observaron efectos diferenciados en las variables evaluadas, especialmente en el área foliar y el peso fresco de hojas. Como se ha señalado previamente, el selenito aplicado de manera foliar tiene baja movilidad

sistémica dentro de la planta, lo que puede generar acumulación localizada en los tejidos y, en concentraciones elevadas, inducir estrés oxidativo. Este estrés puede interferir con la expansión celular, limitando el desarrollo de la lámina foliar, aun cuando la estructura general de la planta no se vea comprometida (Golubkina *et al.*, 2018). Esto explicaría por qué en esta etapa, aunque el peso fresco de hoja se ve favorecido en ciertas dosis, la expansión foliar no muestra una mejora proporcional.

Respecto al peso seco y fresco de hoja, se ha demostrado que el selenio en concentraciones moderadas puede actuar como un bioestimulante, favoreciendo el crecimiento y la acumulación de biomasa a través de mecanismos como la activación de enzimas antioxidantes, la mejora en la eficiencia fotosintética y la protección contra el estrés abiótico. Sin embargo, cuando las concentraciones son elevadas, el efecto puede invertirse, generando toxicidad que inhibe el desarrollo celular y la síntesis de compuestos estructurales (Becvort-Azcurra *et al.*, 2012).

## **7.2 Rendimiento**

En el Cuadro 3 se muestran las variables de rendimiento analizadas en el cultivo de coliflor, sometido a diferentes concentraciones de selenio (Se). En la variable de peso, se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. El tratamiento con 30 mg L<sup>-1</sup> de Selenio (T3) presentó el mayor valor, lo que representa un incremento del 20.1% respecto al testigo (T1). T2 y T4 mostraron aumentos menores del 7.5% y 4.4%, respectivamente, en comparación con el testigo. En cuanto al diámetro polar, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. T2 registró el mayor, seguido de T4, T3 y T1, lo que representa incrementos de 6.9%, 5.6% y 2.3%, respectivamente, con relación al testigo. Respecto al diámetro ecuatorial, sí se presentaron diferencias estadísticas. El tratamiento T2 fue el que mostró el mayor valor, con un incremento del 11.1% frente al testigo (T1). T4 también presentó un aumento del 5.0%, mientras que T3 tuvo una leve disminución del 1.7% en comparación con el testigo. En conjunto, estos resultados reflejan un efecto favorable de la aplicación

de Selenio sobre el rendimiento, particularmente en el peso de la pella y el diámetro ecuatorial, con una mejor respuesta en dosis intermedias, especialmente en el tratamiento T3 para peso de la pella y T2 para dimensiones de la cabeza.

**Cuadro 3.** Comportamiento en el rendimiento del cultivo de coliflor bajo aplicaciones foliares de selenio (Se).

Tratamiento	Peso (g)	Diámetro polar (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)
0 ppm	575.55 ±62.72 <sup>b</sup>	8.51 ±0.70 <sup>a</sup>	15.72 ±1.35 <sup>b</sup>
20 ppm	619.00 ±56.98 <sup>ab</sup>	9.10 ±0.66 <sup>a</sup>	17.46 ±2.31 <sup>a</sup>
30 ppm	691.34 ±61.51 <sup>a</sup>	8.71 ±0.74 <sup>a</sup>	15.46 ±1.38 <sup>b</sup>
40 ppm	600.89 ±30.80 <sup>b</sup>	8.99 ±0.68 <sup>a</sup>	16.51 ±1.84 <sup>ab</sup>
CV	9.23	7.16	7.19

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

En las variables de rendimiento evaluadas en coliflor se observó un efecto positivo de la aplicación foliar de selenio, especialmente en el peso de la pella y en el diámetro ecuatorial. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Maleki *et al.* (2021), quienes encontraron que el Se aplicado foliarmente en dosis intermedias mejora el rendimiento y la calidad comercial de la pella, atribuido a una mayor eficiencia fotosintética, acumulación de biomasa y optimización del metabolismo del nitrógeno.

En cuanto al peso de la pella, la mejor respuesta obtenida con 30 mg L<sup>-1</sup> puede estar relacionada con la capacidad del Se para actuar como antioxidante en concentraciones moderadas, reduciendo el estrés oxidativo y favoreciendo la actividad enzimática asociada al crecimiento (Hawrylak-Nowak *et al.*, 2015). Esto permite un mayor desarrollo y compactación del tejido floral, sin comprometer el equilibrio fisiológico de la planta, como sí podría ocurrir en concentraciones más elevadas.

Por otro lado, el comportamiento observado en los diámetros polar y ecuatorial refleja que el Se también puede influir en la morfología de la pella, aunque no siempre de forma significativa en todas las dimensiones. Estudios previos han indicado que el selenio puede modular la expresión de genes relacionados con la expansión celular y la elongación de tejidos, afectando la forma del órgano cosechable (Golubkina *et al.*, 2017). No obstante, cuando la dosis excede la capacidad antioxidante de la planta, el Se puede convertirse en un agente tóxico, lo que explicaría las respuestas más limitadas en tratamientos de 40 mg L<sup>-1</sup>.

En conjunto, estos resultados refuerzan la idea de que el Se puede actuar como un bioestimulante en coliflor, pero su efecto es dosis-dependiente. Las concentraciones intermedias parecen ser más efectivas para mejorar tanto el peso como ciertas dimensiones de la pella, sin inducir efectos negativos. Además, estos hallazgos coinciden con estudios en otras brassicas, donde la respuesta a Se depende tanto de la dosis como de la forma química aplicada y la etapa fenológica del cultivo (Boldrin *et al.*, 2013).

### **7.3 Peso de esquilmos (g)**

En el Cuadro 4 se muestran los valores obtenidos para el peso fresco y seco del cultivo. En la variable de peso fresco de planta, se observaron diferencias significativas. El tratamiento T1 presentó el mayor valor, mientras que T2 tuvo una reducción del 38.4%. T3 y T4 mostraron valores intermedios, con disminuciones del 16.7% y 15.2%, respectivamente, aunque estadísticamente similares al testigo. En el peso fresco de hoja, se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos. El testigo (T1) obtuvo el mayor valor, el tratamiento T2 presentó una reducción significativa del 41.6%, mientras que T3 y T4 mostraron disminuciones del 17.2% y 18.1%, respectivamente, sin diferir estadísticamente del testigo. Respecto al peso fresco del tallo, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. El tratamiento con 40 mg L<sup>-1</sup> de Selenio (T4) presentó el mayor valor, equivalente a un incremento del 1.8% respecto al testigo

(T1), mientras que T2 y T3 registraron reducciones del 19.8% y 13.5%, respectivamente.

En cuanto al peso seco de planta, se observaron diferencias estadísticas. El tratamiento T2 mostró una reducción significativa del 37.0% respecto al testigo (T1), quien presentó el valor más alto. Los tratamientos T3 y T4 registraron valores intermedios con disminuciones del 14.7% y 13.1%, respectivamente, aunque sin diferir estadísticamente del testigo. En la variable de peso seco de hoja, también presenta diferencias estadísticas. El tratamiento T2 mostró una disminución significativa del 39.8% respecto al testigo (T1). T3 y T4 registraron valores intermedios con reducciones del 14.7% y 15.5%, respectivamente. Finalmente, en el peso seco del tallo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. T1 obtuvo el mayor valor, mientras que T2, T3 y T4 registraron reducciones del 22.3%, 16.3% y 1.4%, respectivamente.

**Cuadro 4.** Comportamiento en el peso de los esquilmos del cultivo de coliflor bajo aplicaciones foliares de selenio (Se).

<b>Peso fresco (g)</b>			
<b>Tratamiento</b>	<b>Planta</b>	<b>Hoja</b>	<b>Tallo</b>
0 ppm	1347.3 ±414.04 <sup>a</sup>	1149.87 ±325.31 <sup>a</sup>	197.45 ±50.52 <sup>a</sup>
20 ppm	829.7 ±320.35 <sup>b</sup>	671.36 ±291.2 <sup>b</sup>	158.34 ±39.47 <sup>a</sup>
30 ppm	1122.54 ±201.99 <sup>ab</sup>	951.72 ±186.65 <sup>ab</sup>	170.82 ±40.99 <sup>a</sup>
40 ppm	1142.82 ±306.11 <sup>ab</sup>	941.8 ±265.13 <sup>ab</sup>	201.02 ±43.98 <sup>a</sup>
CV	21.1	20.8	18.3
<b>Peso seco (g)</b>			
<b>Tratamiento</b>	<b>Planta</b>	<b>Hoja</b>	<b>Tallo</b>
0 ppm	±69.64 <sup>a</sup>	133.80 ±53.84 <sup>a</sup>	28.55 ±12.05 <sup>a</sup>
20 ppm	±41.65 <sup>b</sup>	80.56 ±34.94 <sup>b</sup>	22.17 ±5.53 <sup>a</sup>
30 ppm	±26.26 <sup>ab</sup>	114.21 ±22.4 <sup>ab</sup>	23.91 ±5.74 <sup>a</sup>
40 ppm	±39.79 <sup>ab</sup>	113.02 ±31.82 <sup>ab</sup>	28.14 ±6.16 <sup>a</sup>
CV	19.3	22.1	16.8

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

En las variables de peso fresco y seco analizadas en coliflor, se observó que la aplicación foliar de selenio no generó una mejora sustancial en comparación con el tratamiento testigo, particularmente en dosis bajas como 20 mg L<sup>-1</sup>. Este comportamiento puede deberse a que, en lugar de inducir un efecto bioestimulante, dicha concentración pudo haber activado mecanismos de estrés oxidativo que limitan la acumulación de biomasa, sobre todo en los órganos más metabólicamente activos como las hojas. En efecto, estudios previos señalan que el Se puede actuar como prooxidante cuando se supera el umbral de tolerancia fisiológica, afectando negativamente la fotosíntesis, la división celular y la síntesis de compuestos estructurales (Hawrylak-Nowak *et al.*, 2015).

A diferencia de lo observado en otras variables agronómicas, en este caso los tratamientos intermedios (30 y 40 mg L<sup>-1</sup>) no produjeron incrementos estadísticamente significativos, aunque sí se registraron valores menos afectados que en la dosis más baja. Esto sugiere que, además de la concentración, otros factores como la frecuencia de aplicación o la fase fenológica de la planta al momento de la bioestimulación podrían influir en la respuesta. De acuerdo con Maleki *et al.* (2021), el momento fisiológico en el que se aplica el selenio es clave para definir su efecto sobre la biomasa acumulada, ya que en fases tardías la planta prioriza el desarrollo reproductivo sobre la expansión foliar.

El hecho de que el peso del tallo no haya presentado diferencias estadísticas notables entre tratamientos puede explicarse porque este órgano tiene un crecimiento más lento y estructural, menos sensible a fluctuaciones causadas por micronutrientes como el Se. Esto coincide con lo reportado por Golubkina *et al.* (2017), quienes sugieren que la respuesta al selenio es más evidente en tejidos de alta actividad metabólica, como hojas jóvenes, y menos en estructuras lignificadas.

En conjunto, estos resultados confirman que el efecto del selenio sobre la biomasa en coliflor es altamente dosis-dependiente y órgano-específico. Mientras que una aplicación balanceada puede favorecer el crecimiento vegetativo, dosis

inapropiadas, aún dentro de rangos considerados moderados, pueden inhibir el desarrollo, especialmente en tejidos sensibles como las hojas. La falta de respuesta en peso seco del tallo también refuerza la idea de que la redistribución interna de Se dentro de la planta es limitada cuando se aplica foliarmente, lo que afecta de manera desigual a los diferentes órganos (Boldrin *et al.*, 2013).

#### **7.4 Biocompuestos**

En el cuadro 5 se presentan las variables bioquímicas evaluadas, con distintas concentraciones de Se. En la variable de clorofila, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. El testigo (T1) presentó el mayor valor, los tratamientos T2, T3 y T4 mostraron reducciones del 22.0%, 7.4% y 25.4%, respectivamente, sin diferencias estadísticas marcadas frente al testigo. En cuanto a carotenoides, se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos. El testigo (T1) presentó el mayor valor, los tratamientos T2, T3 y T4 registraron disminuciones del 73.0%, 42.6% y 87.4%, respectivamente. T3 fue el único tratamiento que mostró un valor intermedio, mientras que T2 y T4 presentaron reducciones estadísticamente significativas. Respecto a los fenoles, sí se observaron diferencias estadísticas. El tratamiento con 40 mg L<sup>-1</sup> de Selenio (T4) presentó el valor más alto, lo que representa un incremento del 18.5% respecto al testigo. T2 y T3 mostraron valores intermedios con aumentos del 9.9% y 10.8%, respectivamente, mientras que el testigo presentó el valor más bajo. En la variable de glutatión, también se presentaron diferencias estadísticas. El tratamiento T3 destacó con el valor más alto, equivalente a un incremento del 37.3% en comparación con el testigo (T1). T4 y T2 mostraron aumentos del 23.8% y 15.8%, respectivamente, mientras que el testigo tuvo el valor más bajo. En cuanto a las proteínas totales, se observaron diferencias estadísticas significativas. El tratamiento T2 alcanzó el valor más alto, lo que representa un incremento del 333.5% respecto al testigo. T3 y T4 también presentaron aumentos del 294.3% y 260.8%, respectivamente, siendo el testigo el tratamiento con menor acumulación de proteínas. Por último, en la variable de flavonoides, se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos. El tratamiento T3 mostró el valor más alto,

correspondiente a un aumento del 40 % respecto al testigo. T4 y T2 también mostraron incrementos del 20 % y 10 %, respectivamente. A pesar de estas diferencias, solo T3 mostró una separación estadística clara respecto al testigo.

**Cuadro 5.** Comportamiento de los biocompuestos en el cultivo de coliflor bajo aplicaciones foliares de selenio (Se).

Tratamiento	Clorofila (mg g <sup>-1</sup> PS)	Carotenoides (mg g <sup>-1</sup> PS)	Fenoles (mg g <sup>-1</sup> PS)
0 ppm	2151.09 ±232.51 <sup>a</sup>	604.99 ±88.29 <sup>a</sup>	5.83 ±0.30 <sup>b</sup>
20 ppm	1677.53 ±124.99 <sup>a</sup>	163.08 ±10.28 <sup>c</sup>	6.41 ±0.13 <sup>ab</sup>
30 ppm	1991.07 ±554.22 <sup>a</sup>	347.40 ±61.04 <sup>b</sup>	6.46 ±0.49 <sup>ab</sup>
40 ppm	1605.91 ±143.71 <sup>a</sup>	76.26 ±8.06 <sup>c</sup>	6.91 ±0.39 <sup>a</sup>
CV	16.96	18.15	5.48
Tratamiento	Glutación (mg g <sup>-1</sup> PS)	Proteínas totales (mg g <sup>-1</sup> PS)	Flavonoids (mg EC g <sup>-1</sup> PS)
0 ppm	4.12 ±0.37 <sup>c</sup>	1.58 ±0.30 <sup>c</sup>	0.10 ±0.00 <sup>b</sup>
20 ppm	4.77 ±0.61 <sup>bc</sup>	6.84 ±0.82 <sup>a</sup>	0.11 ±0.02 <sup>ab</sup>
30 ppm	5.66 ±0.25 <sup>a</sup>	6.23 ±0.21 <sup>ab</sup>	0.14 ±0.02 <sup>a</sup>
40 ppm	5.10 ±0.29 <sup>ab</sup>	5.70 ±0.74 <sup>b</sup>	0.12 ±0.01 <sup>ab</sup>
CV	8.19	11.43	13.11

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

En el caso de la clorofila, la ausencia de diferencias estadísticas significativas entre tratamientos sugiere que las concentraciones evaluadas de Se no afectaron directamente la síntesis de pigmentos fotosintéticos. Esta estabilidad puede estar relacionada con el hecho de que, a niveles moderados, el Se no interfiere significativamente en la expresión de genes asociados a la biosíntesis de clorofilas, aunque sí podría modular su contenido bajo condiciones de estrés más severo (Ríos *et al.*, 2008).

En contraste, los carotenoides mostraron una reducción significativa, especialmente en los tratamientos T2 y T4. Esta disminución podría deberse a un

efecto prooxidante del Se en concentraciones elevadas, que podría inducir la degradación de estos compuestos o inhibir las rutas de biosíntesis. Tal como lo señala Djanaguiraman *et al.* (2010), la acumulación de carotenoides puede verse afectada negativamente cuando el selenio supera el umbral fisiológico de tolerancia en la planta, reduciendo su función como mecanismo fotoprotector.

Por otro lado, la acumulación de fenoles mostró un patrón opuesto, con incrementos significativos en todos los tratamientos con Se respecto al testigo, siendo mayor en el tratamiento con 40 mg L<sup>-1</sup>. Este resultado coincide con lo reportado por Filek *et al.* (2008), quienes observaron que el selenio induce la actividad de rutas del metabolismo secundario asociadas a la defensa oxidativa, promoviendo la acumulación de compuestos fenólicos. Los fenoles, al ser potentes antioxidantes, suelen acumularse en respuesta a estresores moderados como el Se aplicado foliarmente.

En cuanto a la acumulación de glutatión, los tratamientos con Se provocaron incrementos notables respecto al testigo, lo cual es un claro indicio de activación del sistema de defensa antioxidante. Como reportan Hasanuzzaman *et al.* (2012), el glutatión es un componente clave del sistema redox celular y su síntesis suele incrementarse bajo exposición a micronutrientes como el Se, que actúan como inductores de estrés controlado.

El efecto del Se en la síntesis de proteínas totales también fue altamente positivo, con aumentos en todos los tratamientos respecto al testigo. Estos resultados pueden estar relacionados con una mayor actividad metabólica celular, en particular con la síntesis de enzimas antioxidantes como glutatión peroxidasa y tiorredoxinas, que se activan en presencia de Se (Pilon-Smits *et al.*, 2009).

Finalmente, la acumulación de flavonoides, que también se incrementó en los tratamientos con Se, refleja un estímulo en la producción de metabolitos secundarios con función antioxidante y protectora. La respuesta observada, con T3 como el tratamiento más efectivo, sugiere que la concentración intermedia de

Se logra un balance entre estrés leve y activación de rutas bioquímicas de defensa, sin inducir toxicidad (Zhang *et al.*, 2014).

## VIII. CONCLUSIÓN

La aplicación foliar de selenito de sodio en coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) no mostró efectos estadísticamente significativos en la mayoría de las variables agronómicas evaluadas, como la altura de planta, el número de hojas y el diámetro del tallo, lo que sugiere que las concentraciones utilizadas no favorecieron el crecimiento vegetativo. En términos de área foliar, peso foliar y rendimiento, se observaron respuestas puntuales favorables, especialmente en el tratamiento con 30 ppm de selenio, que registró el mayor valor en área foliar en la etapa vegetativa y el mayor peso de pella, reflejando una mejor acumulación de biomasa y productividad, aunque sin una tendencia clara y consistente en todos los tratamientos.

Por otro lado, los tratamientos con 20 y 40 ppm mostraron reducciones marcadas en biomasa residual (esquilmos), particularmente en peso fresco y seco de planta y hoja, lo que sugiere un posible efecto estresante a nivel fisiológico. Este estrés también se reflejó en una reducción en el contenido de carotenoides, especialmente en los tratamientos extremos, donde se observaron disminuciones estadísticamente significativas.

Sin embargo, este desequilibrio fisiológico indujo una respuesta metabólica de defensa, evidenciada por un aumento significativo en la concentración de compuestos bioactivos como fenoles, flavonoides, glutatión y proteínas totales. Destacaron el tratamiento con 30 ppm por su mayor contenido de flavonoides y glutatión, así como el tratamiento con 20 ppm, que mostró la mayor acumulación de proteínas totales.

En conjunto, los resultados indican que el selenito de sodio aplicado foliarmente a estas concentraciones no promovió el crecimiento agronómico de la coliflor de forma generalizada, pero sí estimuló la síntesis de compuestos bioactivos con potencial antioxidante. Esto sugiere que el selenio puede tener un uso más prometedor en la mejora nutracéutica del cultivo que en la maximización de su rendimiento productivo.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, J. D., & Smith, R. L. (2018). Temperature responses during floral induction in Brassica species. *Journal of Plant Physiology*, 223, 20-29.
- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2014). *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination* (2nd ed.). Academic Press.
- Becvort-Azcurra, Y., García-Mateos, R., Robledo-Torres, V., & Cruz-Jiménez, G. (2012). Efecto del selenio en la producción y calidad del jitomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18(3), 347-356.
- Bello, A., López-Pérez, J. A., & Díaz-Viruliche, L. (2000). Biofumigación y solarización como alternativas al bromuro de metilo. En *Memorias del Simposium Internacional de la Fresa* (pp. 24-50). Zamora, México.
- Boldrin, P. F., Faquin, V., Ramos, S. J., Guilherme, L. R. G., Ferreira, E., Nogueira, T. A. R., & Cakmak, I. (2013). Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. *Plant and Soil*, 362(1-2), 165-174.
- Boquet, M., & Ruiz, J. M. (2000). *La coliflor: morfología, cultivo y variedades*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Broadley, M. R., White, P. J., Bryson, R. J., Meacham, M. C., Bowen, H. C., Johnson, S. E., Hawkesford, M. J., McGrath, S. P., Zhao, F. J., Breward, N., Harriman, M.,

& Tucker, M. (2006). Biofortification of UK food crops with selenium. *Proceedings of the Nutrition Society*, 65(2), 169-181.

Buñay, D. F. (2010). *Evaluación de la eficacia de tres fertilizantes orgánicos con tres diferentes dosis en el rendimiento y rentabilidad del cultivo de coliflor (Brassica oleracea var. botrytis)* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Riobamba]. Repositorio institucional.

CABI. (2022). *Hellula undalis (cabbage webworm)*. In *Invasive Species Compendium*.

cajamar. (2017). Aspectos clave para diseñar un programa de producción en coliflor. *ADNagro*. <https://www.grupocooperativocajamar.es/storage/documents/022-coliflor-1501591680-07da2.pdf>

Carlos, A. dos S., Antônio, C. de S. Abboud, & Margarida, G. F. do C. (2020). Biofumigation with species of the Brassicaceae family: A review.

Cartea González, M. E., & Ordás Pérez, A. (2002). *El cultivo de la coliflor en España y perspectivas de futuro*. [Informe técnico].

Collado González, J. E., Mora Garrido, J., Gallo, P., & Luo, F. (2025). Valoración de subproductos de coliflor para uso cosmético y nutracéutico. *Frontiers in Plant Science*.

Condori, W. (2019). Impacto del abonamiento orgánico con niveles de compost y ácidos húmicos en el rendimiento de pellas de coliflor (*Brassica oleracea* L. Var. *botrytis*) CV. "Bola de Nieve" [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9312>

Cotrina, F. (2020). Cultivo de la coliflor. *Ministerio de Agricultura y Pesca*, 21(81), 1-28.

- Curis, M. C., Bertolaccini, I., Lutz, A., & Favaro, J. C. (2019). Estado del MIP de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) en Argentina. [Artículo técnico].
- Delgado, B. S. (2021). Extracto de algas marinas en el rendimiento y [Título incompleto]. Lima, Perú.
- Djanaguiraman, M., Devi, D. D., & Sheeba, J. A. (2010). Selenium influence on growth and antioxidant metabolism in mungbean (*Vigna radiata* L.) under drought stress. *Biological Trace Element Research*, 133(3), 263-278.
- Djanaguiraman, M., Devi, D. D., Shanker, A. K., Sheeba, J. A., & Bangarusamy, U. (2010). Selenium—An antioxidative protectant in soybean during senescence. *Plant and Soil*, 272(1-2), 77-86.
- Domínguez Perles, R., Moreno, D. A., Carvajal, M., & García Viguera, C. (2010). Bioactive compounds of broccoli by-products as potential ingredients for functional food. *Journal of Food Science*, 75(4), C383-C390.
- El-Ramady, H., Abdalla, N., Taha, H. S., Alshaal, T., El-Henawy, A., Faizy, S. E. D. A., Shams, M. S., & Fári, M. (2015). Selenium and nano-selenium in plant nutrition. *Environmental Chemistry Letters*, 13(1), 49-67.
- Encarnación, I., & Briceño, H. (2020). Introducción de cultivares híbridas de coliflor (*Brassica oleracea* var. botrytis), en condiciones edafoclimáticas de Cayhuayna [Tesis, Universidad Nacional Hermilio Valdizan Huánuco]. <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/6154/TAG00858E56.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Feng, R., Wei, C., & Tu, S. (2013). The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. *Environmental and Experimental Botany*, 87, 58-68. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.09.006>

- Filek, M., Gzyl-Malcher, B., Zembala, M., Bednarska, E., & Krzepilko, A. (2008). Effect of selenium on membrane properties in wheat roots. *Biologia Plantarum*, 52(3), 537-540.
- Furlan, L., Kreutzweiser, D. P., & Dabrowska, A. (2009). The efficacy of biofumigant meals and plants to control wireworm populations. *Industrial Crops and Products*, 31(1), 245-251.
- Gimsing, A. L., & Kirkegaard, J. A. (2009). Glucosinolates and biofumigation: Fate of glucosinolates and their hydrolysis products in soil. *Phytochemistry Reviews*, 8(3), 299-310.
- Golubkina, N., Caruso, G., & Vasileva, V. (2017). Effect of selenium on biochemical traits and quality of agricultural crops. *Journal of Elementology*, 22(1), 45-56.
- Golubkina, N., Kekina, H., & Caruso, G. (2018). Yield, quality and antioxidant properties of vegetable crops as affected by selenium-enriched fertilizers. *Plants*, 7(1), 5.
- Gupta, M., & Gupta, S. (2017). Selenium toxicity in plants and environment: Biogeochemistry and remediation possibilities. *Plant and Cell Physiology*, 58(8), 1468-1484.
- Hasanuzzaman, M., Hossain, M. A., & Fujita, M. (2011). Selenium-induced up-regulation of the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system reduces salinity-induced damage in rapeseed seedlings. *Biological Trace Element Research*, 143(2), 1704-1721.
- Hasanuzzaman, M., Hossain, M. A., & Fujita, M. (2012). Selenium-induced up-regulation of the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system reduces salinity-induced damage in rapeseed seedlings. *Biological Trace Element Research*, 149(2), 248-261.

- Hashem, A., Mousa, E., & Adawy, E. (2021). The use of cauliflower waste extracts as a natural antioxidant to improve quality of beef sausage. *Egyptian Journal of Food Science*, 49(2), 199-211.
- Hawrylak-Nowak, B., Matraszek, R., & Popko, J. (2015). Selenium affects physiological parameters and phytochelatins accumulation in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants exposed to cadmium stress. *Scientia Horticulturae*, 191, 113-122.
- Hawrylak-Nowak, B., Matraszek-Gawron, R., & Dresler, S. (2015). Selenium biofortification of vegetable crops through foliar fertilization—Benefits and risks. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(13), 2684-2692.
- Hernández, L. E., Garzón, G. A., & Cánovas, F. M. (2010). Selenium-induced oxidative stress and its effect on antioxidant enzymes in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(1), 38-45.
- InfoAgro. (2022). Cultivo de coliflor en México (p. 21).
- InfoAgro. (2024). El cultivo de la coliflor. Recuperado de <https://www.infoagro.com/hortalizas/coliflor.htm>
- Ingallina, C., Di Matteo, G., Spano, M., Acciaro, E., Campiglia, E., Mannina, L., & Sobolev, A. P. (2023). Byproducts of globe artichoke and cauliflower production as a new source of bioactive compounds in the green economy perspective: An NMR study. *Molecules*, 28(3), 1363.
- ISTA. (2020). *International rules for seed testing*. International Seed Testing Association.
- Jaramillo, J. E., & A., C. (2006). *El cultivo de las crucíferas: Brócoli, coliflor, repollo, col china*.
- Jones, J. B., & Reiners, S. (2013). Plant nutrition and light requirements in vegetable crops. *Horticultural Reviews*, 41, 65-98.

- Kaur, J., Sharma, A., & Gill, R. I. S. (2020). Influence of vernalization and genotype on flowering and curd development in cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.). *Journal of Applied and Natural Science*, 12(3), 354-361.
- Kaur, R., Purewal, S. S., Sandhu, K. S., & Kaur, A. (2020). Utilization of cauliflower by-products for sustainable development: Nutritional, functional and therapeutic potential. *Journal of Food Science and Technology*, 57(12), 4425-4433.
- Khan, M., Akhtar, N., & Hussain, F. (2022). Sustainable management of cauliflower by products: Functional extracts, biofertilizer, animal feed and bioenergy applications. *Journal of Cleaner Production*, 350, 131492.
- Khan, T. A., Kang, H. S., Gogoi, N., & Jha, S. (2020). Selenium fortification alters the growth, antioxidant characteristics and secondary metabolite profiles of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) cultivars in hydroponic culture. *Plants*, 10(8), 1537.
- Lazzeri, L., Leoni, O., & Manici, L. M. (2004). Biocidal plant dried pellets for biofumigation. *Industrial Crops and Products*, 20(1), 59-65.
- Leñado, F. (1973). *Como se cultivan las hortalizas de la hoja* (p. 251). Edit. Devichi S.A.
- Li, H., Zhao, X., & Liu, Y. (2019). Effects of vernalization duration on flowering time and development in winter Brassica crops. *Crop Science*, 59(4), 1352-1361.
- López, J. A., & Rivera, C. M. (2011). *Manual técnico para el cultivo de coliflor (Brassica oleracea var. botrytis)*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Venezuela.
- Lord, J. M., Ryan, P. R., & Currah, L. (2011). Biofumigation using brassica leaves and seed meals: Effects on plant parasitic nematodes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(19), 10605-10612.

- Lorenzo, D. R. V. (2014). La biofumigación y la solarización como alternativas al manejo de plagas del suelo. *Ciencia en su PC*, (1), 15-26.
- Lozada, P. (1997). *Comparativo de siete cultivares de coliflor (Brassica oleracea var. botrytis)* [Tesis, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú].
- Maas, E. V., & Hoffman, G. J. (1977). Crop salt tolerance—Current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 103(2), 115-134.
- Malagoli, M., Schiavon, M., Vecchia, F. D., & Pilon-Smits, E. A. H. (2007). Effects of selenium biofortification on crop nutritional quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(7), 2637-2643.
- Maleki, K., Jalilian, J., & Faraji, M. (2021). Selenium foliar application improves yield and quality traits of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) under field conditions. *Scientia Horticulturae*, 285, 110187.
- Marino, G., et al. (2018). Yield, antioxidant activity and shelf life of cauliflower inflorescences under selenium application and regulated deficit irrigation. *Ciencia Agrotecnológica*, 43(2), 123-135.
- Matthiessen, J. N., & Kirkegaard, J. A. (2006). Biofumigation and enhanced biodegradation: Opportunity and challenge in soil borne pest and disease management. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25(3), 235-265.
- Mattner, S. W., Porter, I. J., & Gounder, R. K. (2008). Factors that impact on the ability of biofumigants to suppress fungal pathogens and weeds of strawberry. *Crop Protection*, 27(8), 1165-1173.
- Mayberry, V. (2005). Factores que influyen en la absorción de nutrientes por la raíz.
- Morató, M. G. (2000). Plagas y enfermedades del cultivo de coliflor. Descripción e control. *Vida Rural*, 8, 1-5.

- Morra, M. J., & Kirkegaard, J. A. (2002). Biofumigation—Using Brassica species to control soil borne pests and diseases in horticulture and agriculture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 42(6), 603-614.
- Nasrallah, M. E., & Nasrallah, J. B. (2014). Self-incompatibility in the Brassicaceae: Regulation and mechanism of self/non-self recognition. *Trends in Genetics*, 30(7), 372-380.
- Olmo, M. A. (2005). La coliflor. Un cultivo rentable para la horticultura asturiana. *Tecnología Agroalimentaria*, 10.
- Patel, S., & Joshi, A. (2016). Cultivation practices and altitude adaptation of Brassica crops. *Journal of Horticultural Science*, 11(3), 155-161.
- Phytoma-España. (2021, marzo). Crucíferas: plagas y enfermedades (n.º 327) [Artículo de revista]. *Phytoma España*.
- Phytoma-España. (2022). Brócoli, col y coliflor: plagas y enfermedades. Obtenido de <https://www.phytoma.com/sanidad-vegetal/avisos-de-plagas/brocoli-col-y-coliflor-plagas-y-enfermedades-noviembre-2022>
- Pilon-Smits, E. A. H., & Quinn, C. F. (2009). Selenium metabolism in plants. In *Cell Biology of Metals and Nutrients* (pp. 225-241). Springer.
- Plantix. (2024). Plagas y enfermedades. Obtenido de <https://plantix.net/es/library/plant-diseases/>
- Plantix. (2024). Polilla de la col. Obtenido de <https://plantix.net/es/library/plant-diseases/600026/cabbage-moth/>
- Portilla, M. (2002). Respuesta de dos genotipos de coliflor (*Brassica oleracea* var. botrytis) a ocho fertilizaciones órgano-minerales y dos láminas de riego [Tesis de Ingeniería Agronómica, Universidad Central del Ecuador].

- Rao, G. Y., & Shivanna, K. R. (2014). Pollination ecology of Brassicaceae: A review. *International Journal of Plant Reproductive Biology*, 6(1), 1-12.
- Rathore, S. V. S., Shekhawat, S. S., & Sharma, S. K. (2015). Soil and nutrient management in cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis). In D. K. Singh (Ed.), *Advances in Vegetable Agronomy* (pp. 83-95). New India Publishing Agency.
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2005). *Biología vegetal* (7.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Rayman, M. P. (2012). Selenium and human health. *The Lancet*, 379(9822), 1256- 1268.
- Rayman, M. P. (2012). Selenium and human health. *The Lancet*, 379(9822), 1256- 1268.
- Ríos, J. J., Rosales, M. A., Blasco, B., Cervilla, L. M., Romero, L., & Ruiz, J. M. (2008). Biofortification of Se and induction of the antioxidant capacity in lettuce plants. *Scientia Horticulturae*, 116(3), 248-255.
- Rojas, F., & Cárcamo, V. (2017). Comportamiento de un cultivar de coliflor var. incline (*Brassica oleracea* var. botrytis) a la aplicación de cuatro productos agroecológicos [Tesis, Universidad Adventista de Chile]. <http://bibliorepositorio.unach.cl/handle/BibUnACh/1510>
- Rubatzky, V. E., & Yamaguchi, M. (2012). *World vegetables: Principles, production, and nutritive values* (2nd ed.). Springer Science & Business Media.
- Rupp, S., Weber, R. W. S., Rieger, D., Detzel, P., & Hahn, M. (2017). Spread of *Botrytis cinerea* strains with multiple fungicide resistance in German horticulture. *Frontiers in Microbiology*, 7, 2075.

- Saeedi, M., Abdolshahi, R., & Hashemi, M. (2021). Effect of selenium and genotype on phytochemical content and flowering physiology in cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis). *Scientia Horticulturae*, 280, 109924.
- Saeedi, M., Soltani, F., Babalar, M., Izadpanah, F., Wiesner Reinhold, M., & Baldermann, S. (2021). Selenium fortification alters the growth, antioxidant characteristics and secondary metabolite profiles of cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis) cultivars in hydroponic culture. *Plants*, 10(8), 1537.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). (2020). Folleto técnico: *Spodoptera exigua* (Hübner, 1808). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, México.
- Shinali, F. G., Adeyeye, S. A., & Ijabadeniyi, O. A. (2023). Utilization of cauliflower leaves as dietary fibre and antioxidant-rich ingredient in bakery products. *Food Science & Nutrition*, 11(3), 1234-1242.
- Shinali, T. S., Zhang, Y., Altaf, M., Nsabiyeze, A., Han, Z., Shi, S., & Shang, N. (2024). The valorization of wastes and byproducts from cruciferous vegetables: A review on the potential utilization of cabbage, cauliflower, and broccoli byproducts. *Foods*, 13(8), 1163.
- Shrestha, S., et al. (2024). Botanical characteristics of cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis). *Journal of Horticultural Science*, 12(1), 45-56.
- Singh, R. J. (2006). *Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement: Vegetable crops*. CRC Press.
- Singh, R., & Kumar, S. (2014). Nutrient management in cole crops: Focus on cauliflower production. *International Journal of Agricultural Sciences*, 10(2), 120-126.
- Sors, T. G., Ellis, D. R., & Salt, D. E. (2005). Selenium uptake, transport, assimilation and metabolic fate in plants. *Photosynthesis Research*, 86(3), 373-389.

- Sun, D., Wang, C., Zhang, X., Zhang, W., Jiang, H., Yao, X., et al. (2019). Draft genome sequence of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) provides new insights into the C genome in *Brassica* species. *Horticulture Research*, 6, 82.
- Swiader, J. M., & Ware, G. W. (2002). *Producción de hortalizas*. Editorial Acribia.
- Texas A&M Agrilife Extension. (s. f.). Cauliflower in Turkey and England in 1586. En *World Food History*. Recuperado el 28 de junio de 2025.
- UMTERLADSTATTER, K. R. (2000). *La horticultura en el subtropico húmedo y subhúmedo de Bolivia* (Primera Edición). Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno Facultad de Ciencias Agrícolas.
- Valadez, L. A. (1994). *Producción hortalizas* (5ta reimpresión). Edit. Limusa S.A.
- Valdez, L. A. (1993). *Producción de hortalizas* (Primera edición). Editorial Limusa.
- Wang, Y., Zhou, Z., & Yang, G. (2020). Impact of temperature fluctuations on vernalization and floral development in *Brassica oleracea*. *Plant Science*, 294, 110425.
- Weeks, M. E. (1932). *The discovery of the elements* (3rd ed.). Journal of Chemical Education.
- White, P. J., Bowen, H. C., Parmaguru, P., Fritz, M., Spracklen, W. P., Spiby, R. E., Meacham, M. C., Mead, A., Harriman, M., Trueman, L. J., Smith, B. M., Thomas, B., & Broadley, M. R. (2004). Interactions between selenium and sulphur nutrition in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany*, 55(404), 1927-1937.
- Xu, J., et al. (2022). Selenium and plant antioxidant metabolism: A review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 182, 231-241.

Zamora, J. A. (2016). El cultivo de la coliflor (*Brassica oleracea* var. botrytis). Universidad de Sonora, Departamento de Agricultura y Ganadería. Recuperado de <https://dagus.unison.mx/Zamora/COLIFLOR-DAG-HORT-013.pdf>

Zasada, I. A., & Ferris, H. (2004). Nematode suppression with brassicaceous amendments. *Soil Biology & Biochemistry*, 36(6), 1017-1024.

Zhang, L., & Chen, F. (2017). Molecular basis of vernalization and its reversal in plants. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1657.

Zhang, L., Wang, H., Zhou, Q., Chen, C., & Wang, Y. (2014). Effect of different selenium forms on the growth and selenium accumulation of *Brassica rapa*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 100, 184-190.